

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
OTÁVIO HENRIQUE DE MELO BORGES

**REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DEVIDO AO USO
DE ENERGIA EÓLICA**

FORMIGA – MG

2018

OTÁVIO HENRIQUE DE MELO BORGES

A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES EFEITO ESTUFA DEVIDO AO USO DE
ENERGIA EÓLICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, com requisito parcial para obtenção de
título bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Emerson Paulino dos Reis

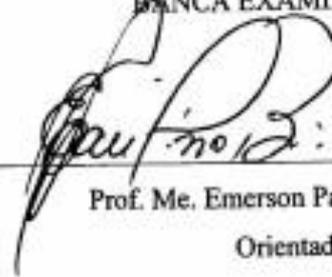
FORMIGA – MG
2018

Otávio Henrique de Melo Borges

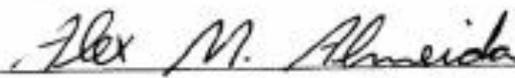
A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES EFEITO ESTUFA DEVIDO AO USO
DE ENERGIA EÓLICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.

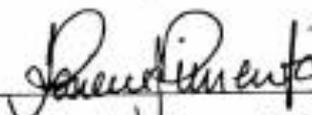
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Emerson Paulino dos Reis
Orientador



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida
UNIFOR-MG



Prof. Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta
UNIFOR-MG

Formiga, 9 de novembro de 2018.

Otávio Henrique de Melo Borges

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

B732 Borges, Otávio Henrique de Melo.
Redução das emissões de gases efeito estufa devido ao uso de energia
eólica / Otávio Henrique de Melo Borges. – 2018.
61 f.

Orientador: Emerson Paulino dos Reis.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Aquecimento global. 2. Energia sustentável. 3. Geração de energia.
I. Título.

CDD 621.47

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Rosana Guimarães Silva – CRB6-3064

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo apoio, incentivo pela constante presença. A Nossa Senhora pelas inúmeras intercessões junto ao seu Filho para que este trabalho pudesse ser concluído de maneira honrosa.

Aos meus queridos pais Antônio Libério e Joana Maria, e meus irmãos Gustavo Arthur, Matheus Antônio e Jéssica Carolina, que sempre me apoio e não mediu esforços nem orações para meu sucesso.

As amizades feitas durante a graduação em especial aos amigos de sala: Neylor, Verônica, Letícia, Lucas, Diego e Alex bons momentos e me ajudar a esquecer um pouco das dificuldades.

Aos professores que contribuíram com minha formação durante os cinco anos de graduação, em especial ao Prof. Antônio pelas experiências compartilhadas.

A coordenadora do curso Cristiane pelo suporte durante a graduação.

Aos meus orientadores Prof. Emerson e minha colega Mariza que me ajudaram a concluir este trabalho com maestria.

Agradeço a todos os amigos e profissionais que através de incentivos e experiências contribuíram para que este trabalho ficasse mais enriquecido e mais completo.

RESUMO

Atualmente produção de energia elétrica vem sendo afetada pela crise hídrica, causando preocupações aos brasileiros. A geração energética por fontes não renováveis ganham maiores representatividade na matriz elétrica em períodos de forte estiagem, porém emitindo uma grande quantidade de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Porém o setor eólico vem atraindo bastantes investimentos, pelo seu grande potencial eólico e pode ser uma fonte de geração limpa. Assim o estudo selecionado apresenta uma estimativa da emissão de GEE relacionado à produção de energia elétrica pelas fontes ingressadas no Sistema Interligado Nacional (SIN). O potencial de emissões GEE (tonCO₂/GW) e custos de geração (R\$/MW) foi comparado em função da geração de energia, de cada fonte analisada. Resultando em uma análise que indica energia eólica, é a fonte que menos emite GEE no ciclo ACV, comparada as outras fontes, tendo um potencia eólico de produzir 67% da energia que foi gerada em 2017 e tendo o menor custo de compra do empreendimento. Assim possuindo qualificações, que a coloca como uma fonte, caracterizada para ser responsabilizada por uma maior geração energia na matriz energética brasileira. Assim diminuindo o uso de fontes como as termelétricas, desta maneira, haverá redução nas emissões de GEE auxiliando de forma expressiva no cumprimento das metas de redução de emissões de GEE assumidas pelo Acordo internacional de Paris nº Decisão 21, de 11 de dezembro de 2015.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Energia Sustentável. Geração de Energia.

ABSTRACT

Currently electricity production has been affected by the water crisis, causing concerns for Brazilians. The energy generation by non-renewable sources gain greater representativity in the electric matrix in periods of severe drought, but emitting a large amount of greenhouse gas emissions. However, the wind sector has attracted enough investments because of its great wind potential and can be a source of clean generation. Thus, the selected study presents an estimation of the GHG emission related to the production of electric energy by the sources connected to the National Interconnected System (SIN). The potential of GHG emissions (tonCO₂ / GW) and generation costs (R \$ / MW) was compared according to the generation of energy, from each source analyzed. Resulting in an analysis that indicates wind power, it is the source that least emits GHG in the ACV cycle, compared to other sources, I try a wind power to produce 67% of the energy that was generated in 2017 and I try the lowest cost of purchase of the venture. Thus possessing qualifications, which places it as a source, characterized to be held responsible for a greater generation of energy in the Brazilian energy matrix. Thus, reducing the use of sources such as thermoelectric plants, in this way, there will be a reduction in GHG emissions, helping in an expressive way the fulfillment of the GHG emission reduction goals assumed by the Paris International Agreement No. Decision 21, of December 11, 2015.

Keywords: Global Warming. Sustainable energy. Power generation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BEN	Balanco Nacional de Energia
CFC	Clorofluorcarbonos
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de Capacidade
GEE	Gases Efeito Estufa
GtonCO ₂	Giga Tonelada de Dióxido de Carbono
GWh	GigaWatt Hora
GWh/ano	GigaWatt Hora por ano
GWP	<i>Global Warming Power</i>
HFC-23	Trifluorometano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
iNDC	Intended Nationally Determined Contribution
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
Km ²	Quilometro quadrado
m/s	Metros por Segundo
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
Mtep	Milhões Toneladas Equivalentes de Petróleo
MW/km ²	MegaWatt por Quilometro quadrado
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₃	Ozônio
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organizações das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto

PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
R\$/kW	Real por Quilo Watts
RCEs	Reduções Certificadas de Emissão
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases
SIN	Sistema Interligado Nacional
TON	Toneladas
tonCO ₂	Toneladas de Dióxido de Carbono
tonCO ₂ /GW	Tonelada de Dióxido de Carbono por Giga Watts
TWh	TeraWatt Hora
TWh/ano	TeraWatt Hora por ano
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Contribuições dos países para o aquecimento global até 2013.....	17
Figura 2 - Potencial eólico brasileiro para ventos com velocidade média anual igual ou superior a 7,0 m/s.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Variação das concentrações de GEE ao passar dos anos.....	17
Gráfico 2 - Evolução da participação das fontes primárias na geração de energia elétrica (1990-2014).....	23
Gráfico 3 - Evolução anual das emissões de GEE associadas à geração de eletricidade no SIN	26
Gráfico 4- Demanda por fonte da matriz energética brasileira em 2016.	30
Gráfico 5 - Evolução da capacidade instalada de energia eólica	34
Gráfico 6 - Emissão de CO ₂ evitadas por mês em 2017 (Milhões de TON.)	35
Gráfico 7 - Geração de Energia Elétrica no Brasil entre 2011 – 2017 (GWh)	39
Gráfico 8- Emissões de CO ₂ e Geração de energia hidroelétrica (GWh)de 2011-2017	42
Gráfico 9 - Emissões de CO ₂ por fonte termelétrica.....	43
Gráfico 10 - Emissões de CO ₂ e Geração de energia Nuclear (GWh)de 2011-2017	44
Gráfico 11 - Emissões de CO ₂ e Geração de energia Eólica (GWh)de 2011-2017	45
Gráfico 12- Emissões de CO ₂ evitadas 2012 – 2017 (Mton).....	47
Gráfico 13- Projeção da matriz energética brasileira para o ano de 2030	48
Gráfico 15- Prováveis emissões de GEE para as projeções.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Potencial de aquecimento global para alguns GEE em relação ao CO ₂	21
Tabela 2: Fatores de emissão de energia elétrica.....	25
Tabela 3 Geração elétrica por fonte (GWh).....	32
Tabela 4 - Fatores de emissão de CO ₂ para cada tipo de fonte geradora	38
Tabela 5 - Potencial eólico estimado do Brasil.....	47
Tabela 6- Valor do empreendimento vendido por fonte.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Produção de Energia e a Emissão de GEE	15
3.1.1 Os gases de efeito estufa.....	18
3.1.2 O potencial de aquecimento global	19
3.1.3 Fatores de emissão de Gases Efeito Estufa.....	21
3.1.4 Emissões de GEE na produção de energia elétrica.....	23
3.1.5 Metas de Redução de Emissões.....	26
3.2 Matriz energética	27
3.2.1 Energia Eólica.....	29
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 Obtenção de dados de geração de energia elétrica	34
4.2 Procedimento da análise.....	36
5 RESULTADOS.....	37
5.1 Geração de energia elétrica no Brasil entre 2011 – 2017.....	37
5.2 Emissões de GEE na geração de energia composta pelo SIN entre 2011-2017	39
5.2.1 Emissões de GEE provenientes da geração Hidroelétricas.....	40
5.2.2 Emissões de GEE provenientes da geração Termelétricas	41
5.2.3 Emissões de GEE provenientes da geração Nuclear.....	42
5.2.4 Emissões de GEE provenientes da geração Eólica	43
5.3 Potencial eólico no Brasil	44
5.4 Emissões evitadas pela energia eólica na geração de energia	45
5.5 Projeção da composição futura da matriz elétrica brasileira	46
5.6 Projeções das emissões de GEE	47
5.7 Custos de geração de energia elétrica	48
6 DISCUSSÕES	50
7 CONCLUSÃO.....	53

1 INTRODUÇÃO

É possível encontrar vida na Terra devido a vários fatores, que nem os GEE, como CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), O₃ (ozônio), clorofluorcarbonos (CFC) e vapor de água, sendo, especialmente, o CO₂, o CH₄ e o N₂O os principais gases produzidos pela ação humana (SILVA, de PAULA, 2009).

Sabe-se que as alterações climáticas estão relacionadas ao acréscimo dos GEE na atmosfera, provocando alterações na temperatura e na precipitação, aumento do nível do mar e à intensificação dos eventos extremos, como secas, ondas de calor e ciclones tropicais (IPCC, 2007).

As concentrações de GEE atingiram níveis jamais antes medidos. De 1750 até 2014, as proporções de N₂O, CO₂ e CH₄ na atmosfera cresceram 20%, 40% e 150%, respectivamente. Apesar do acúmulo de CH₄ ter aumentado mais que a de CO₂ nos últimos anos, a maior apreensão mundial com relação ao CO₂ é pelo fato de que sua concentração total na atmosfera ser, cerca de, 220 vezes maior. No momento presente, há 95% de certeza afirmar que o deterioramento do efeito estufa é basicamente realizado por interferência antropológica (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), 2014)).

Ainda que fundamental, a emissão contínua de GEE encaminha-se a causa de alterações severas e impactos irreversíveis no clima mundial, acontecimento conhecido como aquecimento global. Em 2010, 63% das colaborações ao aquecimento global se centralizavam em 7 países, tendo como maior emissor os Estados Unidos, seguido por China, Rússia, Brasil, Índia, Alemanha e Reino Unido (MATTHEWS et al., 2014).

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases (SEEG), o Setor de Energia foi o que apresentou a maior taxa média de crescimento anual no período entre 1990 e 2014. As emissões do setor partiram de um patamar de 189,7 MtonCO₂ em 1990 para 479,1 MtonCO₂ em 2014, superando as emissões da agropecuária e se consolidando como o segundo setor mais emissor, atrás apenas de mudança de uso da terra (SEEG, 2015).

O IPCC mostra uma metodologia para analisar as emissões de GEE na geração de energia publicada no seu guia 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 2: Energy* (IPCC, 2010). A metodologia recomendada pelo IPCC é utilizada no Brasil com a composição do Inventário Nacional das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoção por Sumidouros de GEE não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Nesse estudo serão analisadas as emissões de GEE na produção de energia elétrica na matriz

energética brasileira. O estudo feito pelo IPCC para o cálculo de emissões é diretamente dependente do tipo de combustível utilizado (BRASIL, 2010).

A matriz energética brasileira caracteriza-se pela grande participação das fontes renováveis, o que se deve, em parte, ao seu estado atual de desenvolvimento e à carência, até a década de 1970, de recursos energéticos fósseis. A forte dependência do petróleo importado tornou o país vulnerável a choques de petróleo. Isto aliado à disponibilidade de terras propiciou alguns usos comerciais da biomassa, principalmente álcool no transporte rodoviário e carvão vegetal na siderurgia, fazendo com que o Brasil se destacasse na busca por alternativas às fontes de combustíveis fósseis. (BRASIL, 2010).

A energia contida no vento vem demonstrando grande potencial para fornecer atendimento necessário quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental. Deve-se destacar que, no Brasil, a quantidade instalada ainda é abaixo quando relacionada aos países líderes em geração eólica. Contudo, políticas de encorajamento estão iniciando a gerar alguns resultados e espera-se um aumento da exploração desse recurso nos próximos anos. Para dar apoio a esse crescimento, torna-se fundamental a elaboração de recursos humanos e o desenvolvimento de pesquisas científicas de âmbito nacional com objetivo de elaborar e disponibilizar informações confiáveis sobre os recursos eólicos no território brasileiro. (NUNES, MANHÃES, 2010).

O “Atlas de Energia Elétrica do Brasil” (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008)) indica a existência de um potencial de rendimento eólico-elétrico em todo o país, totalizando uma potência de 143GW (ou 272TWh/ano).

O objetivo desse trabalho é avaliar a redução de GEE com o aumento da demanda do uso de energia eólica, analisando a produção energética brasileira por fonte de energia, examinando o quanto cada uma emite GEE a atmosfera, a fim de fazer uma comparação se a energia contida nos ventos é capaz de suprir a demanda energética brasileira com eficiência e diminuindo as emissões de gases efeito estufa.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a redução de emissões de GEE, com um aumento da utilização da energia eólica na matriz brasileira.

Como objetivo específico decorrente tem-se:

- Analisar os cálculos de emissões GEE, baseadas na demanda de energia necessária para o Brasil;
- Analisar a demanda energética brasileira e o potencial energético eólico, a fim de demonstrar a viabilidade do aumento da utilização da força motriz dos ventos na produção de energia;
- Examinar potencial de emissões de GEE (tonCO₂/GW) e segurança de atendimento à demanda e custos de geração (R\$/kW) da fonte eólica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico irá abordar sobre a produção de energia elétrica e as emissões de GEE. Como os impactos dos GEE agredem ao meio ambiente e o aquecimento global, gerando uma necessidade de mudanças na geração de energia elétrica.

Serão abordados os principais gases do efeito estufa e como cada um impacta no aquecimento global. Evidenciando as emissões dos GEE e metas e redução das emissões dos mesmos.

Irá ser apresentado a Matriz Energética Nacional, destacando cada fonte que a compõe e como ela vem sendo utilizada para fornecer energia ao Brasil. Será abordado sobre a energia eólica, apontando sua potência energética, sua produção energética atual, estimativa para próximos anos e como ela poderá contribuir para diminuir os GEE, que são produzidos a partir de geração de energia elétrica atual.

3.1 Produção de Energia e a Emissão de GEE

Energia, ar e água são ingredientes essenciais à vida humana. Nas sociedades primitivas seu custo era praticamente zero. A energia era obtida da lenha das florestas, para aquecimento e atividades domésticas, como cozinhar. Aos poucos, porém, o consumo de energia foi crescendo tanto que outras fontes se tornaram necessárias. Durante a Idade Média, as energias de cursos d'água e dos ventos foram utilizadas, mas em quantidades insuficientes para suprir as necessidades de populações crescentes, sobretudo nas cidades. Após a Revolução Industrial, foi preciso usar mais carvão, petróleo e gás. (GOLDEMBERG, 2003).

A geração de energia elétrica sempre provoca algum efeito na natureza, como: deterioramento do solo devido à exploração dos combustíveis e construção das usinas; os impactos estéticos relacionados à infraestrutura da usina de energia, a poluição térmica advinda da queima dos combustíveis, de ondas eletromagnéticas e de radiação ionizante; o risco de acidentes na exploração dos combustíveis e na geração da energia; a geração de efluentes sólidos, líquidos e gasosos que provocam danos à saúde humana e ao ecossistema (DINCER, 1998 ; TESTER et. al., 2005).

A alteração climática global é o impacto relacionado a energia que tem se mostrado mais preocupante (DINCER, 1998; DINCER; ROSEN, 1999; BALAT, 2005).

O aquecimento global em pelo menos dois aspectos. Primeiro, dióxido de carbono e

os outros gases libertados ou retidos em qualquer se dispersam rapidamente no inventário global. A localização da origem não faz diferença. Em segundo lugar, o efeito será uma mudança na circulação global de ar e água. Embora o aumento médio da temperatura atmosférica seja comumente usado como um índice de mudança climática, a mudança no diferencial de temperatura entre regiões equatoriais e polares podem ser uma medida que melhor indica a aquecimento global. (SCHELLING, 1990). Em 2007, 68% da energia elétrica gerada no mundo utilizava combustíveis fósseis (*International Energy Agency (IEA)*, 2009) e a estimativa feita para o ano de 2030 é que essa porcentagem deva permanecer nesse patamar (IEA, 2008). De acordo com a *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* os efeitos adversos da mudança climática significa, “mudanças no ambiente físico resultantes das alterações climáticas que têm efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados ou na operação de socioeconômicos ou na saúde e bem-estar humanos”. (UNITED NATIONS, 1992, p. 3).

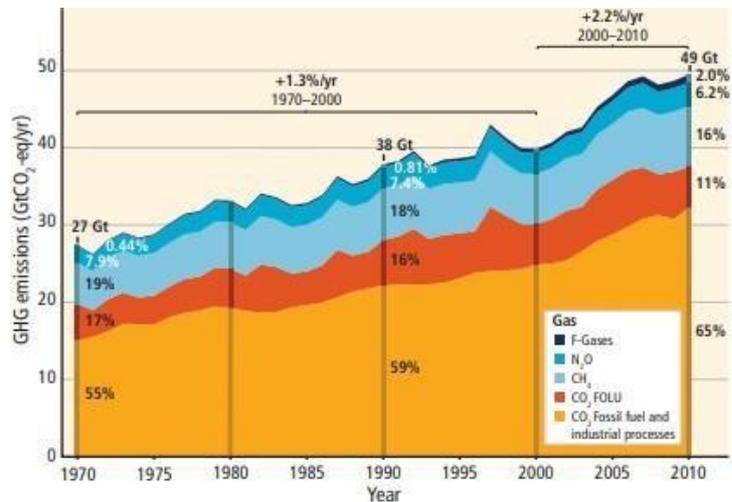
Conforme com IPCC (2014), o aquecimento da Terra é incontestável e algumas das principais mudanças observadas são apresentadas em seu 4º relatório, que são:

- Dias frios, as noites frias e as geadas tenham se tornado menos frequentes na maioria das áreas terrestres, enquanto os dias quentes e as noites quentes se tornaram mais frequentes;
- As ondas de calor se tenham tornado mais frequentes na maioria das áreas terrestres;
- Eventos de precipitação pesada (ou proporção do total de chuvas de fortes quedas) tenham aumentado na maioria das áreas;
- Incidência do nível extremo do mar tenha aumentado em uma ampla gama de locais em todo o mundo desde 1975.

As emissões antropogênicas de GEE desde a era pré-industrial provocaram grandes aumentos nas concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Entre 1750 e 2011 as emissões cumulativas de CO₂ para a atmosfera foram de 2040 ± 310 GtonCO₂. Cerca de 40% dessas emissões permaneceu na atmosfera (880 ± 35 GtonCO₂); o resto foi removido da atmosfera e armazenado em terra (em plantas e solos) e no oceano. O oceano absorveu cerca de 30% do CO₂ antropogênico emitido, causando a acidificação dos oceanos. Cerca de metade das emissões antropogênicas de CO₂ entre 1750 e 2011 ocorreram nos últimos 40 anos. (IPCC, 2014).

A GRAF.1 nos mostras o aumento de concentrações ao passar dos anos.

Gráfico 1-Varição das concentrações de GEE ao passar dos anos



Fonte: Adaptado do IPCC, 2014.

O gráfico representa o aumento das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O desde a revolução industrial. As emissões antropogênicas totais de GEE continuaram a aumentar de 1970 a 2010, com maiores aumentos absolutos entre 2000 e 2010, apesar de um número crescente de políticas de mitigação das mudanças climáticas. Emissões de GEE pela ação do homem alcançou em 2010 $49 \pm 4,5$ GtonCO₂.

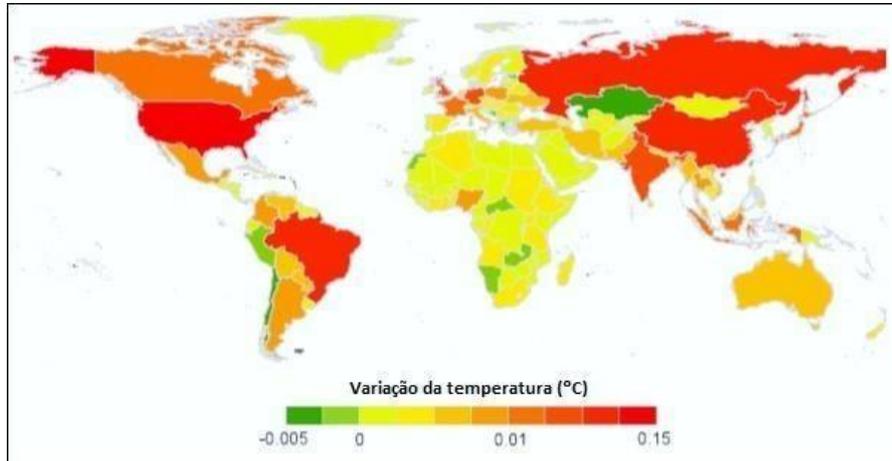
As temperaturas globais aumentaram quase um grau desde os tempos pré-industriais, e é claro que as emissões humanas de gases de efeito estufa têm sido a principal força motriz por trás desse aumento de temperatura (GILLETT *et al.*, 2012).

A elevada contribuição humana nas emissões de GEE esta causando o aquecimento global do planeta. O acúmulo desses estão retendo e refletindo energia novamente para o planeta, deixando assim a temperatura do planeta elevada por mais tempo (THOMAS; PRASAD, 2003).

A contribuição de cada país nas emissões de GEE, podem ser verificadas pelo aumento de temperatura média do planeta (Matthews *et al.* 2014), demonstra esse aumento através de emissões de GEE pelos países até o ano de 2013.

A FIG. 1 representa o resultado da simulação.

Figura 1-Contribuições dos países para o aquecimento global até 2013.



Fonte: Adaptado de MATHEWS et al., 2014.

Dentre todos os países, os maiores responsáveis são: Estados Unidos, Rússia, China e Brasil. Enquanto alguns países contribuem negativamente para o aquecimento global, como por exemplo, o Cazaquistão e o Chile.

Uma análise do consenso científico sobre o aquecimento global antropogênico na revisão da literatura científica, examinando 11 944 resumos climáticos de 1991 a 2011, que correspondem aos tópicos “clima global”. “Mudança” ou “aquecimento global” indica um consenso de que os seres humanos estão causando o aquecimento global. (Cook *et al.* 2013),

O aquecimento global, mesmo que pouco significativo em termos numéricos, tem provocado enormes transformações no arranjo climática global, variando os padrões conhecidos de cada região. Como resultado, os biomas naturais estão sendo atingidos por essas alterações de forma negativa, atingindo também a evolução socioeconômica dos países (LAU *et al.*, 2012).

Entre os efeitos mais notórios das alterações climáticas podem ser destacados os que atingem os segmentos: atmosfera, ecossistema e agricultura, oceanos, geleiras, vida e saúde.

3.1.1 Os gases de efeito estufa

Efeito estufa é o processo responsável pelo aquecimento da superfície do planeta devido à presença de uma atmosfera contendo gases que absorvem e emitem radiação infravermelha. Trata-se de um fenômeno natural que garante que a dispersão da energia solar pelo planeta seja mais lenta que a absorção, mantendo a Terra aquecida e garantindo a vida no

planeta As variáveis que regulam os níveis em que essa energia incidente seja adequado a vida são três: o fluxo de energia solar que atinge o solo após ser filtrada pela camada de ozônio; a cobertura de nuvens; e a concentração de moléculas, principalmente de CO₂, e H₂O. Uma mudança em qualquer uma delas produz efeitos que ainda são desconhecidos, em grande parte, mas que certamente apontam para um aquecimento do globo. E é precisamente esse ocorrido que tem provocado tanta apreensão pelos impactos que as mudanças climáticas causam, conforme já argumentado anteriormente (BUCKERIDGE, 2013).

A parte da luz solar que alcança a superfície da terra atinge todas as suas diferentes paisagens: florestas, oceanos, desertos, savana, cidades, gelo e neve. A superfície emite diretamente de volta para o espaço, num fenômeno conhecido como reflexão, uma pequena parcela dessa luz. Em particular, superfícies muito brilhantes, como gelo e neve, são ótimos refletores. A luz que não é refletida aquece acima a superfície terrestre e então a mesma passa a emitir esse calor de volta para o espaço através de uma radiação térmica chamada infravermelha. (BORSARI, 2010).

Os principais gases associados ao efeito estufa por participação humana são (UNITED NATIONS, 1998):

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Metano (CH₄);
- Óxido nitroso (N₂O);
- Hidrofluorcarbonos (HFCs);
- Perfluorcarbonos (PFCs);
- Hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Em 2010, o setor energético correspondeu por 49% de todas as emissões de GEE, um aumento de 30% em relação a 1970, tornando-se o maior setor contribuinte para as emissões globais. Apesar da UNFCCC e do Protocolo de Kyoto, as emissões de GEE cresceram mais rapidamente entre 2000 e 2010 do que na anterior década. Crescimento no setor de fornecimento de energia, emissões de GEE aceleradas de 1,7% ao ano de 1990 a 2000 para 3,1% ao ano a partir de 2000-2010. Em 2012, o setor emitiu 6% a mais que em 2010, ou mais de 18 GtCO₂eq. (IPCC, 2014). Em 2010, 43% das emissões de CO₂ foram produzidas a partir do carvão, 36% do petróleo e 20% de gás (IEA, 2012).

3.1.2 O potencial de aquecimento global

Os GEE não atuam da mesma forma no aquecimento do sistema climático, e isso acontece por possuírem procedimento de extração desertificado, estabelecendo uma variação nos tempos de permanência na atmosfera. Para que aja uma análise entre os diferentes GEE, sua geração necessita ser calculada em uma unidade universal: tonCO₂ (toneladas de dióxido de carbono equivalente).(IPCC,2007).

Cada gás de efeito estufa possui propriedades ativas radiativas ou de retenção de calor. Para comparar os gases de efeito estufa, eles são indexados de acordo com seu Potencial de Aquecimento Global. O *Global Warming Power* (GWP) é a capacidade de um GEE de capturar calor na atmosfera em relação a uma quantidade igual de dióxido de carbono. O CO₂ assume o valor um 1. Ou seja, mostra a contribuição relativa da emissão na atmosfera de 1t de um determinado GEE comparada com a emissão de 1t de CO₂ CO₂, embora seja o mais prevalente, é o menos potente dos GEE. (IPCC, 2007; GOLDEMBERG, 2003).

O GWP compara o forçamento radiativo integrado durante um período especificado a partir de uma emissão de pulso de massa unitária e é uma maneira de comparar a mudança climática potencial associada às emissões de diferentes gases de efeito estufa. (IPCC, 2007).

Na TAB.1 são apresentados os GWPs para alguns gases para os horizontes de tempo de 5, 50 e 100 anos, bem como o tempo de permanência dos gases na atmosfera. A escolha do horizonte de tempo dependerá do processo que está sendo avaliado, se ele possui efeitos de curto ou longo prazo.

Tabela 1- Potencial de aquecimento global para alguns GEE em relação ao CO₂

Gás	Fórmula Química	Forçamento Radioativo	Tempo de Vida (anos)	GWP Horizonte de Tempo (Anos)		
				5	50	100
Dióxido de Carbono	CO ₂	1,66	*	1	1	1
Metano	CH ₄	0,48	12	72	25	7,6
Óxido Nitroso	N ₂ O	0,16	114	289	298	153
HFC-23	CHF ₃	0,0033	270	12000	14800	12200
Tetrafluometano	CF ₄	0,0034	50000	5210	7380	11200
Hexafluoreto	SF ₆	0,0029	3200	16300	22800	32600

Fonte: IPCC (2007)

Nota: * O CO₂ não possui só um determinado tempo de vida estabelecido, pois é removido da atmosfera por diversos processos que operam em diferentes escalas de tempo, sendo transferido para diversos reservatórios, que podem retornar, eventualmente, o CO₂ para a atmosfera.

No Brasil para o ano de 2015, a emissão total de GEE foi de 2,5· 10⁶tCO₂ (SEEG, 2017), sendo que o setor energético foi a segunda atividade que mais contribuiu para a

emissão desses gases, ficando atrás só do desmatamento. Sendo assim, o controle da mudança climática passa necessariamente por ações e políticas públicas que minimizem a emissão de GEE nas atividades humanas.

3.1.3 Fatores de emissão de Gases Efeito Estufa

Para controlar as emissões de GEE, é necessário analisar as estimativas de suas gerações para o desenvolvimento estratégico com finalidade de reduzir as emissões. (Brasil, 2010).

O Brasil como país signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima doravante referenciada como Convenção, tem como uma de suas principais obrigações a elaboração e atualização periódica do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal, doravante referenciado como Inventário. O objetivo do inventário é avaliar as emissões de GEE entre os setores econômicos do país, buscando a diminuição das emissões através de programas que possibilitam o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

No ano de 2010, o Brasil publicou o seu 2º Inventário contendo estimativas de emissões de CO₂, CH₄, N₂O (BRASIL, 2010):

- Energia;
- Processos industriais;
- Uso de solventes e outros produtos;
- Agropecuária;
- Mudança do uso da terra e florestas e;
- Tratamento de resíduos.

A fim de assegurar a consistência das estimativas no Terceiro Inventário, deu-se continuidade à identificação definidas pelo IPCC, em que todas as categorias e mudanças ocorridas entre os inventários são espacialmente identificadas em todo o território nacional. Essa abordagem requer observações espacialmente explícitas das transições e, no caso do Brasil, envolveu tanto as áreas manejadas como as áreas não manejadas. (BRASIL, 2010).

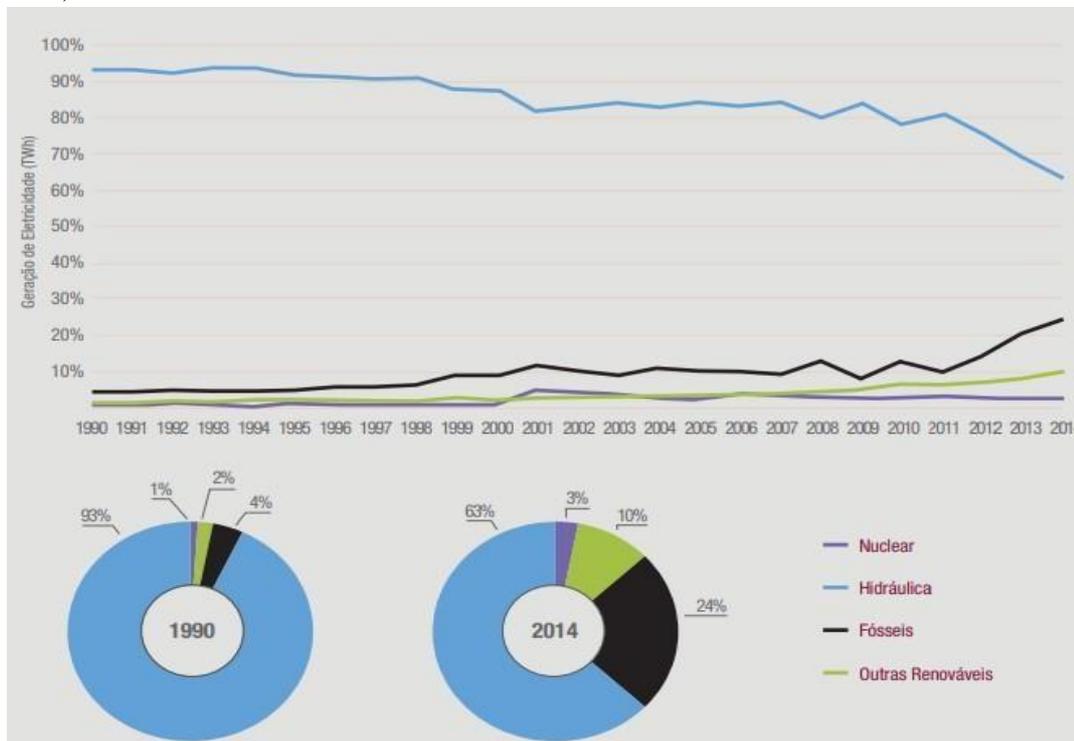
No setor energético, todas as emissões antrópicas devido à produção, à transformação e ao consumo de energia. Incluindo tanto as emissões resultantes da queima de combustíveis, quanto as emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e

consumo. No caso dos combustíveis de biomassa, as emissões de CO₂ são informadas, porém não contabilizadas no total de emissões do setor energético. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões de CO₂ líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. As emissões fugitivas de gases de efeito estufa provenientes do processo de mineração e beneficiamento do carvão mineral, além das emissões devido ao processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural. No caso das hidrelétricas o inventário reconhece a existência de emissões de CH₄ pelos seus reservatórios, mas não as inclui por inexistência de metodologia acordada pelo IPCC (BRASIL, 2010).

O setor de energia, incluindo produção e consumo de combustíveis e energia elétrica, representa a segunda maior fonte de emissões brutas de GEE no Brasil, com 26% das emissões em 2016, atrás apenas de mudança de uso do solo. Quando consideradas as emissões líquidas, energia já é a principal fonte, com 36% das emissões. A participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, que nos 1980 chegou a superar 50%, caiu para 41% em 2013 e em 2014 ficou em 39,4%, ficando abaixo de 40% pela primeira vez desde que o Ministério de Minas e Energia começou a fazer os levantamentos. (SEEG, 2014).

Vê-se através do GRAF. 2 a queda da geração de energia em hidrelétricas e o aumento da geração em termelétricas.

Gráfico 2 - Evolução da participação das fontes primárias na geração de energia elétrica (1990-2014)



Fonte: Elaborado a partir do Balanço Nacional e Energia 2015, Ano-Base 2013 (EPE, 2015)

As emissões pela geração de energia elétrica mais que dobraram entre 2011 e 2014.

Este aumento em três anos equivale a mais que as emissões de todos os ônibus e motos do país (23 e 6 MtCO₂e) em 2014. No ritmo atual de crescimento das emissões de energia, a tendência é que o setor se torne a maior fonte de emissões do Brasil nos próximos anos se os níveis de desmatamento forem mantidos ou reduzidos.(SEEG, 2014).

Segundo o Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), foi divulgado em seu site fator de emissão de CO₂. Os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica, tem como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. Ele calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Se todos os consumidores de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN. (MCTIC, 2012).

Observa-se na TAB. 2 os fatores médios anuais, com a quantidade de eletricidade gerada a partir de combustíveis fósseis.

Tabela 2: Fatores de emissão de energia elétrica

Ano	2010	2011	2012	2013	2014
Fator de emissão (tonCO₂MW⁻¹)	0,0512	0,0292	0,0653	0,096	0,1355
Participação dos fósseis	11,18	8,24	12,92	18,55	22,21

Fonte: Adaptado de EPE (2015) e MCTI (2016).

E o que se observa é que nos anos de 2010 a 2014 a geração termelétrica foi mais representativa, os fatores de emissão foram maiores.

3.1.4 Emissões de GEE na produção de energia elétrica

Grande parte das emissões de gases de efeito estufa originárias das atividades humanas está relacionada às atividades de produção, transformação e uso da energia. Para avaliar estas emissões, é necessário conhecer a produção, transformação e consumo de energéticos nos diversos setores do País. Estes dados constam do Balanço Energético Nacional (BEN), editado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). (BEN, 2011).

Racionalizar o uso de energia é uma necessidade econômica e ambiental. No caso da energia elétrica em particular, a crise hídrica ocorrida nos últimos anos revela a fragilidade do sistema de abastecimento de água em algumas regiões e também os riscos de queda no suprimento de energia elétrica ou o aumento das tarifas com a injeção de energia mais intensa em carbono no SIN. Apesar de muitos não crerem, existe um horizonte finito na capacidade

de geração de energia hidráulica que precisa ser respeitada, pois os impactos ambientais da construção de reservatórios hidrelétricos são elevados (CORTE, 2017).

Os impactos ambientais da construção de barragens de água na geração de hidroeletricidade são reconhecidos pela sociedade, mas os decorrentes das emissões de GEE pelo consumo de energia elétrica não o são. Isso resulta da imagem que se tem de que essa forma de energia, largamente empregada no Brasil, é renovável e limpa. Porém, quando contabilizadas as emissões de metano advinda dos reservatórios a boa imagem ambiental da eletricidade passou a ser questionada. Isso ficou ainda mais evidente em virtude do aumento das emissões de GEE pela geração de eletricidade devido à crescente adição de insumos fósseis na matriz elétrica brasileira, principalmente pela crise hídrica ocorrida recentemente e a maior atividade das usinas termelétricas (CORTE, 2017).

No período de 2005 a 2011 houve um crescimento na geração de energia hidroelétrica, isso se deve ao fato de que o país vinha se recuperando de uma crise no setor energético. No ano de 2001, o Brasil sofreu com a Crise do Apagão, entre as causas da mesma está a falta de chuvas suficientes para abastecimento dos reservatórios das usinas hidroelétricas e problemas estruturais associados ao processo de privatização do setor elétrico o que resultou em uma oferta de energia não suficiente para suprir a demanda de consumo. A partir de 2003 foi iniciado um processo de reestruturação do setor, no qual o governo buscou construir novas bases para um modelo de parceria público-privado e com aprimoramentos da regulação do setor (MARRA, 2017).

Após significativa recuperação do setor, em 2012, iniciou-se um período de redução na geração hidroelétrica e, conseqüentemente, em suas emissões de GEE, em razão do governo ter privilegiado o uso de termelétricas, para preservar o nível dos reservatórios desde o final de 2012 com a falta de chuvas (MIRANDA, 2016).

Apesar de as usinas hidrelétricas serem as maiores responsáveis, de longe, pelo atendimento desta demanda, a geração termelétrica a partir de combustíveis fósseis tem, desde 2000, aumentada sua participação principalmente, no uso de combustíveis fósseis (gás natural, derivados de petróleo e carvão mineral) os quais, em 2015, representaram 61,5% de toda a geração não hídrica, seguidos pela biomassa (22,1%), pela energia eólica (9,8%) e pela nuclear (6,6%). Entre 2012 e 2015, a geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis passou de 80,6 TWh para 136,3 TWh, um crescimento de 69,1%. (SEEG, 2017).

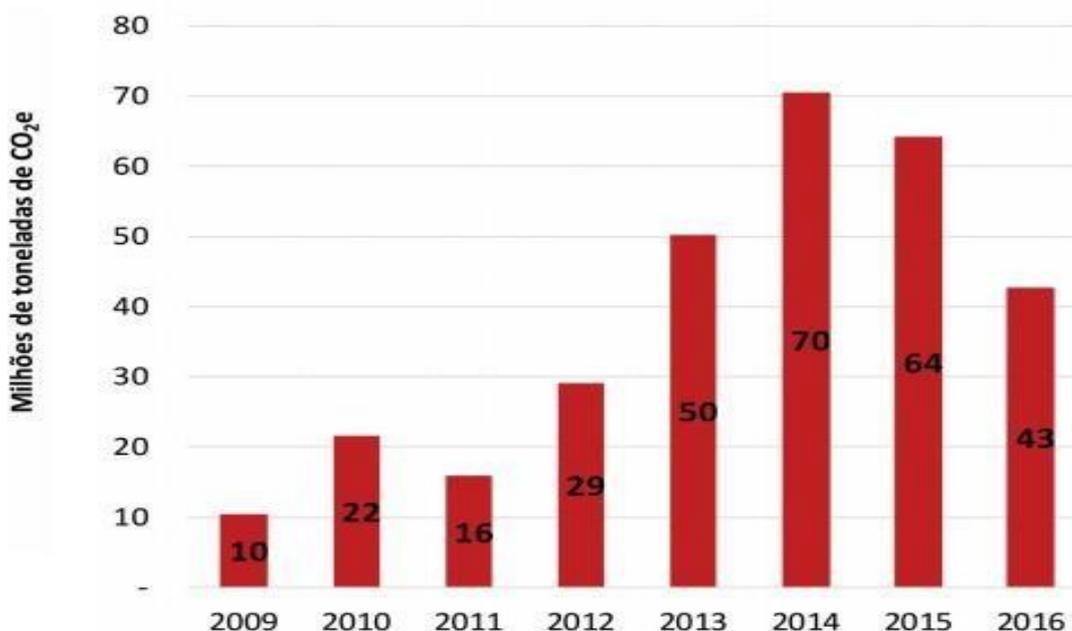
A grande maioria dos reatores nucleares em operação no mundo (85% a partir de 2015) são reatores de água leve e é muito provável que essa porcentagem seja mantida nas próximas décadas. De acordo com as estimativas da Ecoinvent, as emissões médias das usinas nucleares são de 15 g CO₂ / KWh. Estes resultados obtidos a partir de diferentes fontes demonstram a robustez das estimativas existentes e mostram que a energia nuclear é uma

fonte de emissão de carbono. (MANSILLA, 2016)

Entre 2014 e 2015, a geração em usinas hidráulicas e térmicas a combustível fóssil no SIN se manteve praticamente constante, com ligeiras retrações (-2,7% e -5,9%, respectivamente), enquanto a geração eólica cresceu 120,4% no mesmo período (de 9,4 para 20,8 TWh). Comparando 2016 com 2015, nota-se que a geração em usinas térmicas a combustível fóssil diminuiu em 35,9%. Por outro lado, a geração hidráulica cresceu 6,7% e a eólica cresceu 45,4%.

Percebe-se no GRAF. 3 a evolução anual consolidada das emissões de GEE no SIN até o fim de 2016.

Gráfico 3 - Evolução anual das emissões de GEE associadas à geração de eletricidade no SIN



Fonte: SEEG, 2017

É possível constatar a ligeira retração das emissões entre 2014 e 2015 e a significativa redução das emissões quando comparados os anos de 2015 e 2016. Isso ocorreu devido ao aumento do uso de energia eólica e elevação dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

3.1.5 Metas de Redução de Emissões

Reconhecendo os perigos da mudança do clima, os países participantes do Acordo Internacional de Paris nº Decisão 21, de 11 de dezembro de 2015, deverão adotar medidas para enfrentar a mudança do clima, numa resposta internacional eficaz visando acelerar a redução das emissões globais de gases de efeito estufa (Organizações das Nações Unidas (ONU), 2015)).

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Ela foi instituída em 2009 pela, buscando garantir que o desenvolvimento econômico e social contribua para a proteção do sistema climático global. (BRASIL, 2016).

A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da UNFCCC, que reúne anualmente os países em conferências mundiais. Suas decisões, coletivas e consensuais, só podem ser

tomadas se forem aceitas unanimemente, sendo soberanas e valendo para todos os países signatários. (ONU, 2015) (BRASIL, 2016).

Em outubro de 2015, o governo brasileiro comunicou ao secretariado UNFCCC sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (intended Nationally Determined Contribution – iNDC), no contexto das negociações de um protocolo, outro instrumento jurídico ou resultado acordado com força legal sob a Convenção, aplicável a todas as Partes. A iNDC do Brasil tem escopo amplo, que inclui mitigação, adaptação e meios de implementação, de maneira consistente com o propósito das contribuições de alcançar reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. O Brasil, em assumindo esse compromisso, deve monitorar apropriadamente as suas emissões de GEE decorrentes da geração de energia elétrica, o mesmo devendo acontecer com cada estado federativo. (BRASIL, 2016).

O Brasil enfrenta grandes dificuldades para atingir metas de redução de emissões de gases de efeito estufa uma vez que estas acontecem no contexto de um aumento contínuo da população e do Produto interno Bruto (PIB), bem como da renda *per capita*, cenário típico de um país com necessidade de desenvolvimento socioeconômico, e conseqüente elevado índice de emissões o que torna suas metas estabelecidas bastante ambiciosas. (BRASIL, 2013).

Ao assumir uma meta de mitigação absoluta para o conjunto da economia, o Brasil adotará uma modalidade de contribuição mais rigorosa, se comparada com suas ações voluntárias pré-2020. Esta contribuição é consistente com níveis de emissão de 1,3 GtonCO₂ em 2025 e 1,2 GtonCO₂e 2030, correspondendo, respectivamente, as reduções de 37% e 43%, com base no nível de emissões em 2005 de 2,1 GtonCO₂e (BRASIL, 2016).

O Brasil, portanto, reduzirá emissões de gases de efeito estufa no contexto de um aumento contínuo da população e do PIB, bem como da renda *per capita*, o que torna esta contribuição, sem dúvida, bastante ambiciosa (BRASIL, 2015).

Como forma de atingir as metas preestabelecida, no setor da energia, o Brasil busca expansão do uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar, além de alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030 (BRASIL, 2015).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único mecanismo por meio de quais países desenvolvidos, e com compromissos quantificados de redução e limitação de emissões estabelecidas pelo Protocolo de Quioto (comumente denominados “metas”),

podem abater parte dessas metas mediante aquisição de Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) geradas por projetos de MDL em países em desenvolvimento. O objetivo do MDL é assistir, às Partes para que contribuam com o objetivo final da Convenção, ou seja, alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. O objetivo é um projeto que gere, ao ser implantado, um benefício ambiental redução de emissões de GEE ou remoção de CO₂ na forma de um ativo financeiro, transacionável, denominado Reduções Certificadas de Emissões. (BRASIL, 2009).

3.2 Matriz energética

A Matriz Energética Nacional é o conjunto de recursos utilizados para provimento energético a um país. Dentro deste contexto, estão inseridos todos os prováveis elementos de origem, transformação e uso final da energia existente. Os recursos iniciais encontrados na natureza que podem ser usados diretamente ou servem como fonte dos secundários são conhecidos como primários, exemplo: petróleo, energia eólica, carvão mineral e cana. Aqueles gerados ou produzidos a partir da utilização de uma matéria-prima ou recurso físico são denominados secundários, exemplo: gasolina, álcool etílico e eletricidade. No Brasil, todos os dados de produção, transformação e consumo energético são analisados e computados segundo metodologia que propõe uma estrutura energética, suficientemente geral, de forma a permitir a obtenção de adequada configuração das variáveis físicas próprias do setor energético e são apresentados no BEN. Realizado sob os cuidados do MME, este balanço tem por finalidade a verificação dos diversos usos da energia, suas necessidades e evolução com o tempo. (MARCOCCIA, 2007).

O processo de diversificação da matriz, como forma de manter a segurança e autossuficiência energética de um país, tornou-se mais evidente nos últimos anos. Até 1970, apenas duas fontes, lenha e petróleo, eram responsáveis por 78% de toda a demanda brasileira. Em 2005, o cenário já apresentava uma maior pluralidade e os produtos da cana e a hidroeletricidade passaram a figurar como fontes energéticas de destaque, em conjunto com o petróleo e a lenha. Estas quatro representavam 80,3% do consumo energético total em 2005 (MME, 2007a).

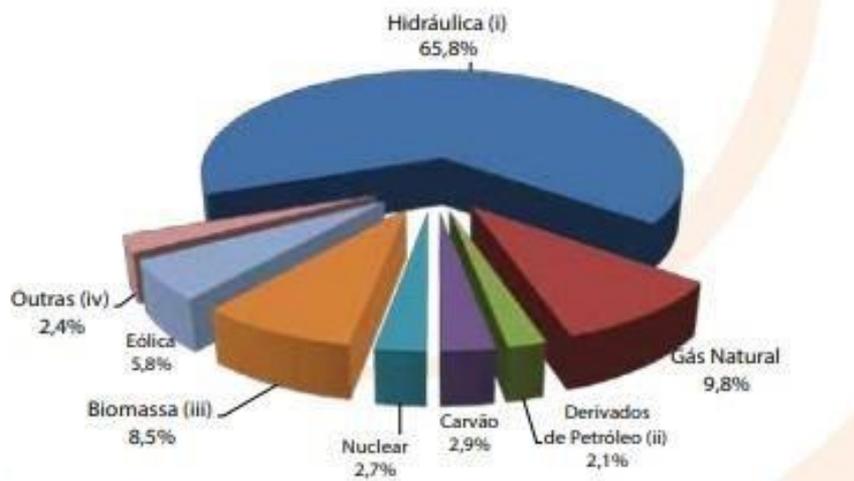
O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna. As fontes

renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. ((Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2017)).

Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 578,9 TWh em 2016. (EPE. 2017).

O GRAF. 4 apresenta a demanda de energia elétrica por fonte.

Gráfico 4- Demanda por fonte da matriz energética brasileira em 2016.



Fonte: EPE (2017)

Em 2016, a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 288,3 Mtep, redução de 3,8% em relação a 2015, acompanhando, assim, o enfraquecimento da atividade econômica, ano em que o PIB nacional contraiu 3,6%, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As condições hidrológicas, após quatro anos de estresse, foram favoráveis, o que acarretou em um aumento da energia hidráulica disponibilizada. Em 2016, o acréscimo foi de 7,0% comparado ao ano anterior. A maior oferta hídrica, aliada à expansão da geração eólica, contribuiu para o avanço da participação de renováveis na matriz elétrica de 75,5% para 81,7%. Registrou-se ainda neste período forte queda da geração térmica a base de derivados de petróleo e gás natural. A geração eólica atingiu 33,5 TWh - crescimento de 54,9%. A potência eólica atingiu 10.124 MW, expansão de 32,6%. (EPE, 2015).

A TAB. 3 exibe a produção de energia por fonte em GWh.

Tabela 3 Geração elétrica por fonte (GWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)	Part.% (2016)
Total	552.49	570.83	590.54	581.22	578.89	-0,4	100
	8	5	2	8	8		
Hidráulica (i)	415.34	390.99	373.43	359.74	380.91	5,9	65,8
	2	2	9	3	1		
Gás Natural	46.760	69.003	81.073	79.490	56.485	-28,9	9,8
Derivados de							
Petróleo (ii)	16.214	22.090	31.529	25.657	12.103	-52,8	2,1
Carvão	8.422	14.801	18.385	18.856	17.001	-9,8	2,9
Nuclear	16.038	15.450	15.378	14.734	15.864	7,7	2,7
Biomassa (iii)	34.662	39.679	44.987	47.394	49.236	3,9	8,5
Eólica	5.050	6.578	12.210	21.626	33.489	54,9	5,8
Outras (iv)	10.010	12.241	13.540	13.728	13.809	0,6	2,4

Fonte: Balanço Energético Nacional 2017; Elaboração EPE (2017)

Notas: i) Inclui autoprodução; ii) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível; iii) Biomassa; lenha, bagaço de cana e lixeira; iv) Outras; gás de coqueria, outras secundárias, outras não renováveis, outras renováveis e solar.

Considerando o crescimento recente demanda de energia eólica e a grande representatividade pelo fato de contribuir para a redução de GEE, optou-se por realizar uma metodologia na avaliação do desempenho da produção energética a partir da fonte eólica.

3.2.1 Energia Eólica

O vento, no sentido de força motriz, está associado à energia cinética presente nas massas de ar em movimento. As formas de aproveitamento dessa energia estão associadas à conversão da mesma em energia mecânica e elétrica. A radiação solar e a rotação da Terra influem diretamente na formação dos ventos que decorre do aquecimento desigual da superfície terrestre, tanto em escala global (diferentes latitudes, estações do ano e ciclo dia-noite), quanto local (mar-terra, montanha-vale). A diferença de temperatura e pressão determina as velocidades e direções das massas de ar que apresentam tendências sazonais e diurnas bem definidas (MARRA, 2016).

O vento pode variar bastante no intervalo de horas ou dias, porém, em termos estatísticos, tenderá a um regime diurno predominante, regido por influências locais (microescala) e regionais (mesoescala). No intervalo de meses ou anos, os regimes de vento passam a apresentar notável regularidade, tendo um regime sazonal bem definido. Ao longo de décadas, em geral, as velocidades médias anuais apresentam variações inferiores a 10% da média de longo prazo. Assim, podem-se determinar regiões onde o aproveitamento da energia dos ventos será de grande eficiência, tornando mais viável do ponto de vista socioeconômico.

(AMARANTE, 2010).

A Segunda Guerra Mundial contribuiu para o desenvolvimento dos aerogeradores de médio e grande porte, uma vez que os países em geral empenhavam grandes esforços no sentido de economizar combustíveis fósseis. Entretanto, o petróleo e grandes usinas hidrelétricas se tornaram extremamente competitivos economicamente, e os aerogeradores foram construídos apenas para fins de pesquisa, freando o desenvolvimento da tecnologia de geração de energia eólica. Com a crise internacional do petróleo, na década de 1970, é que houve interesse em investimentos para o desenvolvimento e a aplicação de equipamentos com grande potencial eólico-elétrico e somente a partir da década de 1990 nota-se um crescimento da produção de energia eólica, com usinas de grande porte e produção comercial em consequência da criação de políticas ambientais mais rígidas (DUTRA, 2008).

Os argumentos favoráveis à utilização da energia eólica são, além de ser uma fonte renovável, perene e de grande disponibilidade, o fato dela não produzir resíduos, possuir independência de importações e gerar custo zero para obtenção de suprimento (ao contrário do que ocorre com as fontes fósseis). O principal argumento contrário é o custo relacionado à obtenção de equipamentos de alta tecnologia e construção das usinas que, embora seja decrescente, ainda é elevado na comparação com outras fontes (MARRA, 2016).

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m, em apenas 13% da superfície terrestre. (SOUZA et al. 2015).

O fator de capacidade da fonte eólica representa a proporção entre a geração efetiva da usina em um intervalo de tempo e a capacidade total no mesmo íterim. O valor médio para 2017 foi 42,9%, tendo atingido maior fator de capacidade mensal médio em setembro, 60,6%. Esse resultado é extremamente positivo, pois demonstra a consolidação da fonte, que, mesmo contemplando todos os parques eólicos instalados no Brasil. Fator de Capacidade médio igual à 25,2%, mantém um valor de desempenho ímpar, superior a diversos países no mundo. De 2000 para 2016 o Brasil passou de um Fator de Capacidade (FC) médio de 20% para 41,6%. No mundo, esses indicadores foram de 22% e 24,7%, respectivamente. Observa-se que de um FC abaixo do mundial em 2000, o Brasil evoluiu para um indicador 68% superior. (ABEEÓLICA, 2016b).

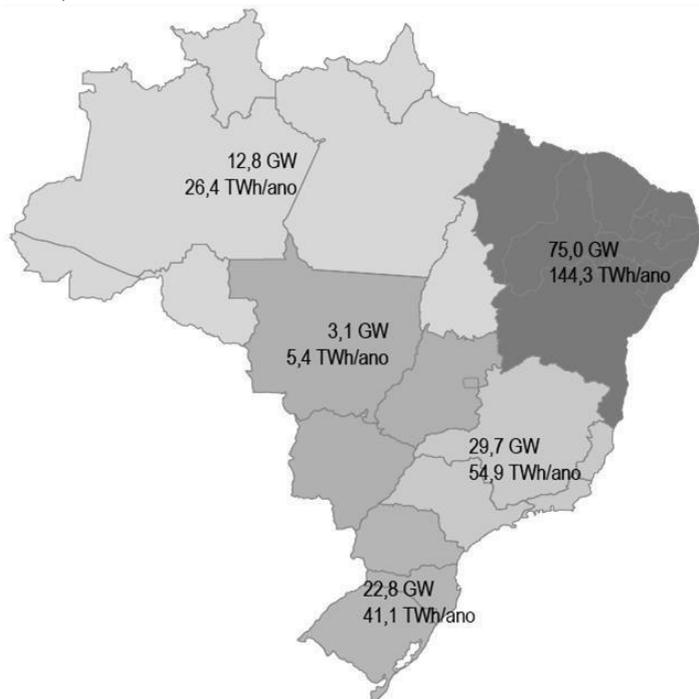
Em 2017, o potencial de geração de energia eólica no Brasil foi estimado em 10.740

MW.

Entretanto, o aumento da altura das torres eólicas comerciais têm influenciado no crescimento do potencial, pois possibilita alcançar maiores velocidades e melhor qualidade de vento, gerando maior potência instalada por unidade de área, sendo assim realizou-se a atualização do potencial eólico brasileiro, considerando torres mais altas (de mais de 120 m) e hoje se estima que esse potencial esteja próximo de 350 GW (ENERGIA EÓLICA, 2014).

Observa-se na FIG. 2 o fluxo de potencial eólico anual, com as medias da velocidade anual dos ventos a uma altura de 50 m (ANEEL, 2016).

Figura 2 - Potencial eólico brasileiro para ventos com velocidade média anual igual ou superior a 7,0 m/s.



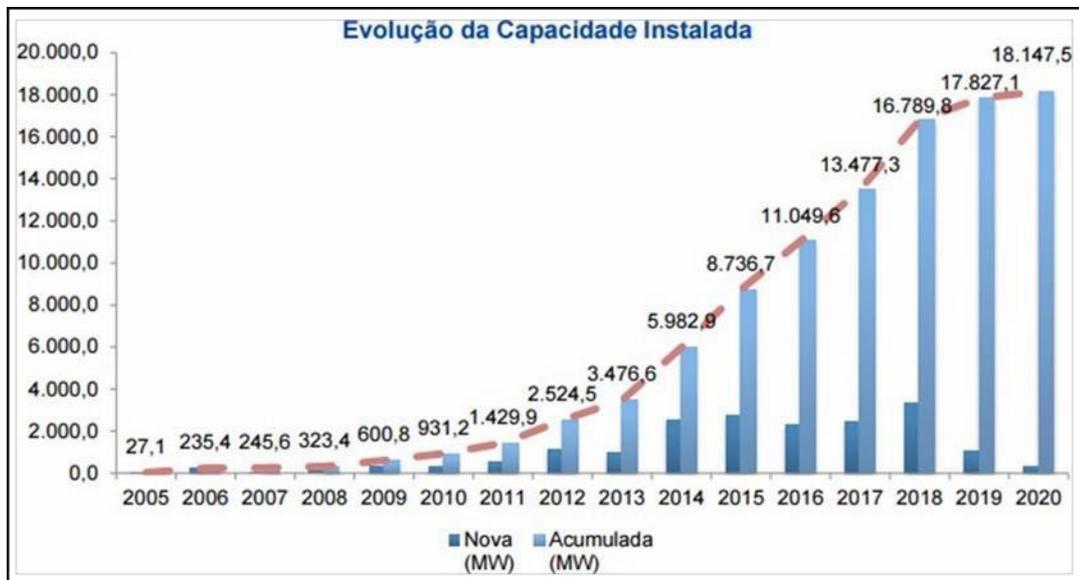
Fonte: EPE, 2007 apud. ANEEL, 2008.

O Brasil possuía 538 usinas voltadas à produção de energia eólica em junho de 2018, o que totalizava um potencial outorgada de 13.217.439 kW. Além disso, estão previstos 114 novos projetos eólicos que estão em construção o que proporcionará um incremento de 2.528.650 kW na geração de energia quando completos, representando 25% dos empreendimentos em construções (ANEEL, 2018).

Caso os projetos citados sejam concluídos, é provável que o cenário a seguir represente a situação do Brasil no setor de energia eólica no ano de 2020.

O GRAF. 5 apresenta o aumento esperado da capacidade instalada de energia eólica até 2020 (ABEEÓLICA, 2016b).

Gráfico 5 - Evolução da capacidade instalada de energia eólica.



Fonte: ABEEÓLICA, 2016b.

Em tese, espera-se um crescimento de 54% ao ano desde 2005 até 2020. Os novos projetos estão principalmente concentrados no período de 2014 à 2018, fazendo com que a capacidade instalada total de energia eólica atinja 18,1 GW em 2020.

Além de ser uma fonte com baixíssimo impacto de implantação, a eólica não emite CO₂ em sua operação, substituindo, portanto, outras fontes de geração de energia elétrica com emissão.

Nota-se no GRAF. 6 a quantidade de emissões de CO₂ evitada pela fonte eólica a cada mês de 2017.

Gráfico 6 - Emissão de CO₂ evitadas por mês em 2017 (Milhões de TON.)

Fonte: MCTI/ABEEólica (2017).

Segundo o boletim de dados edição outubro 2016b da ABEEólica, o somatório de emissões evitadas de janeiro a dezembro nos anos de 2017 foi de 20,97 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente à emissão anual de cerca de 16 milhões de automóveis. Para base de comparação, vale informar que a cidade de São Paulo tem uma frota de mais de 6 milhões de automóveis e o estado de São Paulo possui mais de 18 milhões de automóveis. (ABEEÓLICA, 2017).

O aumento dos recursos em energia eólica nesse período não tem relação somente com a tentativa de redução das emissões de GEE, mas também com o preço relativamente baixo comparado às outras fontes renováveis de energia e com o grande potencial brasileiro de produção eólica por causa do regime dos ventos.

Em 2011, os preços da energia eólica atingiram um patamar médio de preços de R\$ 100,00/MWh, tornando-se a segunda fonte energética mais competitiva. Atualmente, o patamar médio está em aproximadamente R\$ 130,00/MWh e apenas as hidrelétricas de grande porte tem uma competitividade maior que a eólica (MARRA, 2018).

A fim de analisar as emissões de GEE na produção de energia elétrica em cooperação a energia eólica, foi realizada uma metodologia dos dados de geração de energia elétrica na matriz brasileira e emissão de GEE por fonte energética conforme descrito a seguir.

4 METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho se baseia em uma análise da emissão de GEE com base na energia elétrica brasileira e no fator de emissão de cada fonte que compõem a matriz energética brasileira. E baseado nessa análise, fazer um comparativo, com o objetivo de pesquisar, se com o aumento da demanda da energia eólica, teria se uma queda nas emissões de GEE pelo setor energético.

4.1 Obtenção de dados de geração de energia elétrica

Os dados de geração elétrica foram adquiridos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN. Pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da ANEEL. Dentre as atribuições do ONS, encontra-se a publicação dos resultados da operação do SIN, consolidados pela área de pós-operação, por meio de Boletins e Informes (ONS, 2018).

O SIN é responsável por cerca de 98% da energia requerida pelo país, somente não são considerados os pequenos sistemas isolados de geração de energia elétricas localizadas principalmente na região amazônica, portanto, os dados de geração de energia elétrica fornecidos pelo ONS possuem expressiva representatividade da atual matriz energética brasileira (ONS, 2018).

Os GEE foram calculados pelo fator de emissão, com dados de geração de energia elétrica no período analisado. Para o cálculo são feitas duas abordagens:

O fator de emissão foi calculado usando a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O método de ACV consiste na compilação e avaliação de dados de entrada e saída que permite uma visão global de toda a cadeia produtiva, permitindo a identificação de potenciais impactos e verificação de pontos onde se pode realizar o uso otimizado de energia e de materiais, através do uso de processos de reciclagem e de resíduo. Os resultados desta análise podem ainda ser utilizados para escolher dentre diferentes alternativas a mais favorável para uma aplicação específica. (MIRANDA, 2012).

Para estimativa de emissão de CO₂ na geração de energia hidroelétrica foi considerado estudos de ACV que englobassem etapas de construção e geração e emissões de reservatórios, uma vez que estes possuem emissões significativas e caracterizam a fase de operação da

usina. Segundo Miranda (2012), há uma grande variação nos estudos de estimativa das emissões de reservatório, devido às variações em parâmetros como clima, quantidade e tipo de biomassa inundada, profundidade do reservatório e a relação entre a produção de energia e a área do reservatório. Esta elevada variação elevou consideravelmente o fator de emissão para a geração hidrelétrica. (MARRA, 2016).

Miranda (2012) considerou diferentes fatores de emissão de acordo com as principais fontes de combustível adotadas na matriz termoeletrica brasileira. Diante disso, avaliaram-se dois diferentes cenários para a matriz termoeletrica, o primeiro (Cenário A) considera a expansão da matriz utilizando óleo diesel como fonte principal. Já o segundo cenário (Cenário B) considerou a combinação das três principais fontes utilizadas, o óleo diesel, o bagaço de cana-de-açúcar e o gás natural. Assim estimando-se então o fator de emissão combinado para a geração termoeletrica (MARRA, 2016).

Para o cálculo do fator de emissão da energia eólica, foi dividido em três grandes fases:

- *Upstream* – que inclui extração de matéria-prima, manufatura e transporte de materiais, e construção da usina;
- *Operação* – Operação e manutenção da usina;
- *Downstream* – Descomissionamento e Disposição de resíduos.

De uma forma geral, todos os estudos incluíam a fase *upstream*. Assim, a harmonização foi realizada pelo acréscimo das emissões referentes às fases de operação *downstream* (MIRANDA, 2012).

Para a energia nuclear, os cálculos do fator de emissão foram harmonizados pelas fronteiras de sistema, tempo de vida útil e fator de capacidade. (MIRANDA, 2012).

A TAB. 4 exibe os fatores de emissão calculados por Miranda (2012), onde realizou estudos para estimar os valores para as fontes hidrelétrica, termoeletrica, eólica e nuclear.

Tabela 4 - Fatores de emissão de CO₂ para cada tipo de fonte geradora

Fonte Geração	Fator de Emissão
Hidrelétrica	86,21 CO ₂ /KWh
Termoeletrica*	624,23 CO ₂ /KWh
Eólica	16,15 CO ₂ /KWh
Nuclear	15,01 CO ₂ /KWh

Fonte: MIRANDA (2012) adaptado pelo autor.

Nota: Valor estimado pela combinação de geração pelas principais fontes utilizadas para geração de calor nas usinas termoeletricas no Brasil.

Para quantificar as emissões de GEE, provenientes da geração de energia elétrica consumida no Brasil nos últimos anos, foi utilizada a Equação 1, adaptada pelo IPCC (2006)

conforme a base nacional de dados, pois utiliza fatores de emissões específicos para o Brasil (AMBROGI, 2012).

$$ECO_2 = Cons \cdot FE$$

(1)

onde

ECO₂ Emissões de GEE

Cons Consumo de Eletricidade

FE Fator de Emissão

4.2 Procedimento da análise

Será feita uma pesquisa, para se ter os dados da demanda energética brasileira nos últimos anos e da estimativa de geração nos próximos anos, a fim de fazer uma análise das emissões de GEE. Também será feita uma pesquisa, da demanda energética eólica no país, e como poderá estar o cenário nos próximos anos, com finalidade de ter um estudo se a energia eólica tem capacidade de suprir o consumo energético brasileiro.

Pelo cálculo do fator de emissão, com os dados da geração de energia elétrica no país, será feita análise das emissões de GEE nos próximos anos, com base nos dados citados no paragrafo anterior, para se ter um estudo, se com aumento da demanda de produção de energia elétrica, por fonte eólica, qual seria o possível cenário nas emissões de GEE para os próximos anos.

Por fim, um estudo do custo de geração (R\$/kW) eólica, com o aumento da sua demanda.

Através dos dados de geração de energia elétrica fornecidos pelo ONS, pelo cálculo do fator de emissão, pelo estudo do custo de geração de energia eólica e pelo potencial eólico brasileiro, será feita uma estimativa da demanda energia brasileira nos próximos anos, a fim de averiguar, se seria viável o aumento da produção energia elétrica, vinda da fonte eólica, fornecer energia elétrica para o território brasileiro.

5 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados para cada ano de 2011 a 2017, mostrando o quanto cada fonte de energia composta na matriz energética brasileira contribuiu na produção de energia, pois faz parte do objetivo avaliar as emissões de GEE baseadas na demanda energética.

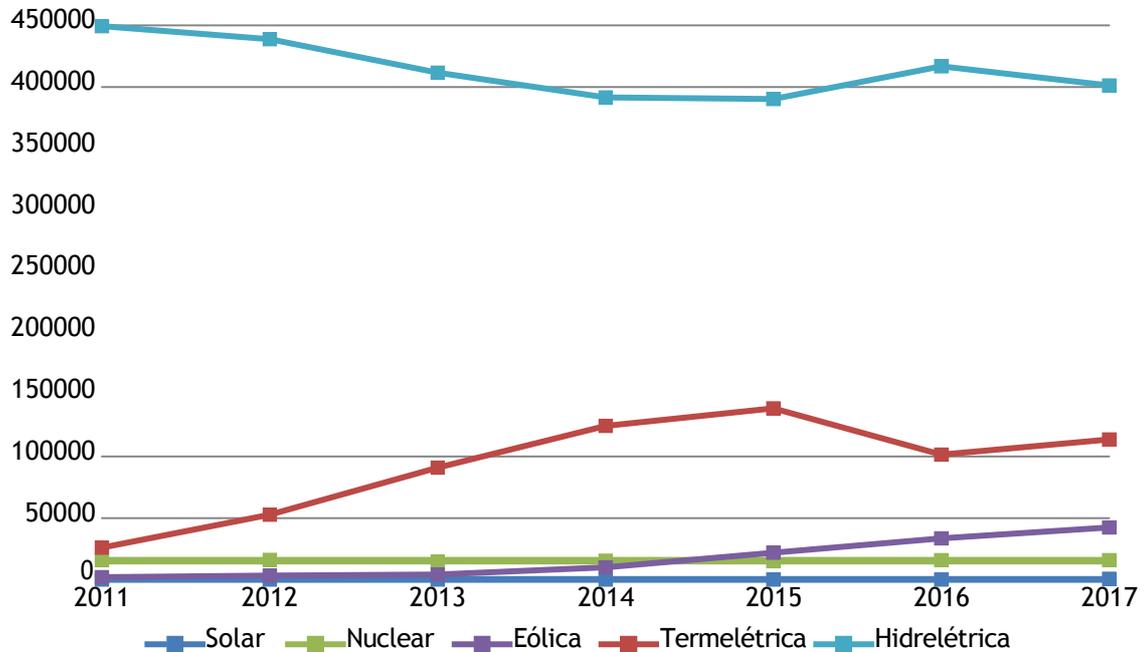
Em outro tópico, serão exibidos as emissões de GEE, provenientes da geração de energia por fonte, com intuito de analisar o quanto de GEE são emitidos, com ajuda dos dados fornecidos por Mariana (2012) e pelo ONS.

O custo de geração de energia elétrica, potencial eólico, as emissões evitadas pela energia eólica e as projeções de GEE são apresentados como justificativa da energia eólica possuir características, que a coloca como uma fonte, qualificada para se assumir um papel de maior destaque na matriz energética brasileira.

5.1 Geração de energia elétrica no Brasil entre 2011 – 2017

Com falta de chuvas ocorrida no período analisado e incentivo financeiro, a energia eólica teve um aumento muito significativo durante o intervalo de tempo considerado. A fonte nuclear se manteve constante durante todo o tempo e a solar teve-se início de sua geração apenas em 2015, com uma escala muito pequena em relação às demais. Observa-se no GRAF. 7 um aumento muito significativo na produção de energia a partir das termelétricas e uma redução na geração hídrica.

Gráfico 7 - Geração de Energia Elétrica no Brasil entre 2011 – 2017 (GWh)



Fonte: ONS, 2018.

Em 2011 teve-se uma predominância da geração elétrica por hidrelétricas e quase nenhum uso da fonte eólica e solar. Segundo o BEN, houve redução na produção de bioeletricidade (a partir da biomassa da cana). Por outro lado, o ano apresentou condições hidrológicas favoráveis, o que assegurou aumento de 6,2% na produção hidroelétrica. Destaque-se ainda a relevante expansão da geração eólica, +24,3%, prenunciando o que deve ocorrer de forma ainda mais expressiva nos próximos anos. (BEN, 2012). Conforme apresentado no GRAF. 7 em 2011 a geração elétrica foi de 492.831 GWh, onde 91,2% da energia foi produzida por hidrelétricas.

No ano de 2012 apenas do aumento do potencial instalado a geração de energia foi de 510.440 GWh, um pequeno aumento em relação ao ano anterior. Isso ocorreu pelas condições hidrológicas observadas no período. Por essa razão teve-se um aumento na geração termelétrica que dobrou sua demanda. A energia eólica teve um pequeno aumento na sua geração.

Em 2013 pelo segundo ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período (EPE, 2014), houve redução da oferta de energia hidráulica. A menor oferta hídrica explica o aumento da participação das termelétricas com aumento de 73% na geração em relação ao ano anterior, apesar do incremento de 1.724 MW na potência instalada do parque hidrelétrico e um aumento de 33% na produção de

energia elétrica pela fonte eólica. Assim a geração de energia em 2013 foi 521,268 GWh.

Assim como 2012 e 2013, às condições hidrológicas desfavoráveis, acarretaram em uma redução da oferta de energia hidráulica. Em 2014 o decréscimo foi de 5,6%. A menor oferta hídrica explica o aumento de 37% da participação das termelétricas apesar da extensão de 5.827 GWh na geração eólica. A geração total de energia elétrica no SIN em 2014 foi de 541.464 GWh.

No ano de 2015 houve um aumento na geração de energia elétrica de 24.613 GWh em relação a 2014. Pelo quarto ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução da energia hidráulica disponibilizada. Em 2015 o decréscimo foi de 3,2% comparado ao ano anterior. Apesar da menor oferta hídrica, ocorreu um avanço da participação de renováveis na matriz elétrica explicado pelo incremento da geração a base de biomassa e eólica que passou a ser a terceira fonte que mais produz eletricidade da matriz energética brasileira, passando a fonte nuclear. E pela primeira vez teve geração fotovoltaica pelo SIN.

As condições hidrológicas, após quatro anos de estresse, foram favoráveis, o que acarretou em um aumento da energia hidráulica disponibilizada. Em 2016, o acréscimo foi de 7,0% comparado ao ano anterior. Registrou-se ainda neste período forte queda da geração térmica a base de derivados de petróleo e gás natural. E um expressivo aumento de 50% na geração eólica. Com isso a geração elétrica no ano de 2016 foi de 657.665 GWh.

No ano de 2017 houve uma redução de geração de energia de 15.619 GWh, isso ocorreu devido às condições hidrológicas desfavoráveis, que ocasionou uma redução de 3,4% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior. Houve um aumento da geração termelétrica, que pode ser observado, que sempre ocorreu uma diminuição na geração hidroelétrica, se buscou energia em derivados de petróleo, abaixo comparadas aos últimos anos, devido ao aumento eólico que se teve na última década.

Houve um crescimento exponencial da geração de energia eólica nos últimos anos, em que em 2011 ocupava 0,6 % na matriz energética e em 2017 teve um aumento para 7%, número muito baixo em vista do potencial eólico brasileiro, mostrando ser um ótimo complemento para fonte hídrica em que estudos comprovam que os meses de chuvas menos intensas são os de ventos mais intensos (GAVANIO, 2011).

5.2 Emissões de GEE na geração de energia composta pelo SIN entre 2011-2017

Todas as fontes geradoras de energia elétrica emitem GEE as atmosferas, assim consequentemente, colaboram com o efeito estufa.

As emissões de GEE são expressas em função da unidade de CO₂ (dióxido de carbono equivalente), uma vez que as emissões energéticas diretas consideram as emissões de CO₂ bem como de CH₄, CO e N₂O, que são convertidas em CO₂ pelo critério GWP, que utiliza um fator de ponderação para se chegar à unidade comum, o CO₂.

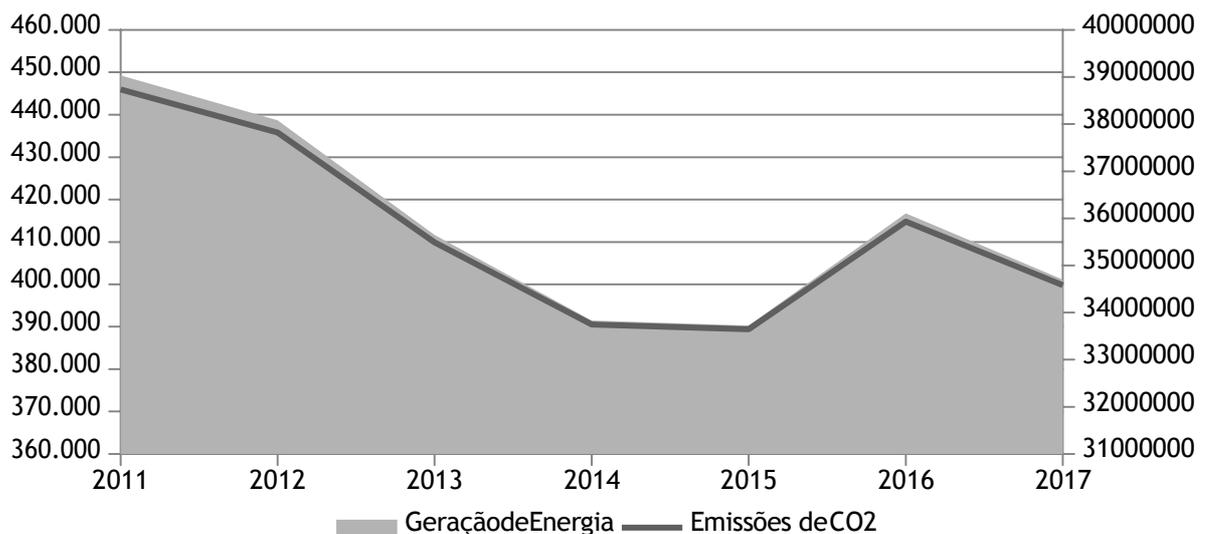
Os cálculos das emissões de GEE para geração de energia elétrica são feitos através de fatores de emissão definidos por massa de poluente emitido em termos de potência disponível e tempo de trabalho (tCO₂/GWh).

Para se obter os resultados das emissões de GEE da matriz energética brasileira, utilizou-se a Equação 1. Considerando o fator de emissão disponibilizado por Miranda (2012), na Tabela 4. os dados de geração de energia, disponibilizados pelo ONS (2018). Assim os resultados serão apresentados abaixo.

5.2.1 Emissões de GEE provenientes da geração Hidroelétricas

Com intuito de avaliar as emissões de GEE originárias da geração hidroelétrica, considerou os dados de geração de energia nos últimos sete anos. Os resultados expressos no GRAF. 8 nota-se uma proporcionalidade entre as emissões e geração de energia, uma vez que o fator de emissão age de forma linear.

Gráfico 8- Emissões de CO₂ e Geração de energia hidroelétrica (GWh) de 2011-2017



Fonte: Mariana (2012), ONS (2018), adaptado.

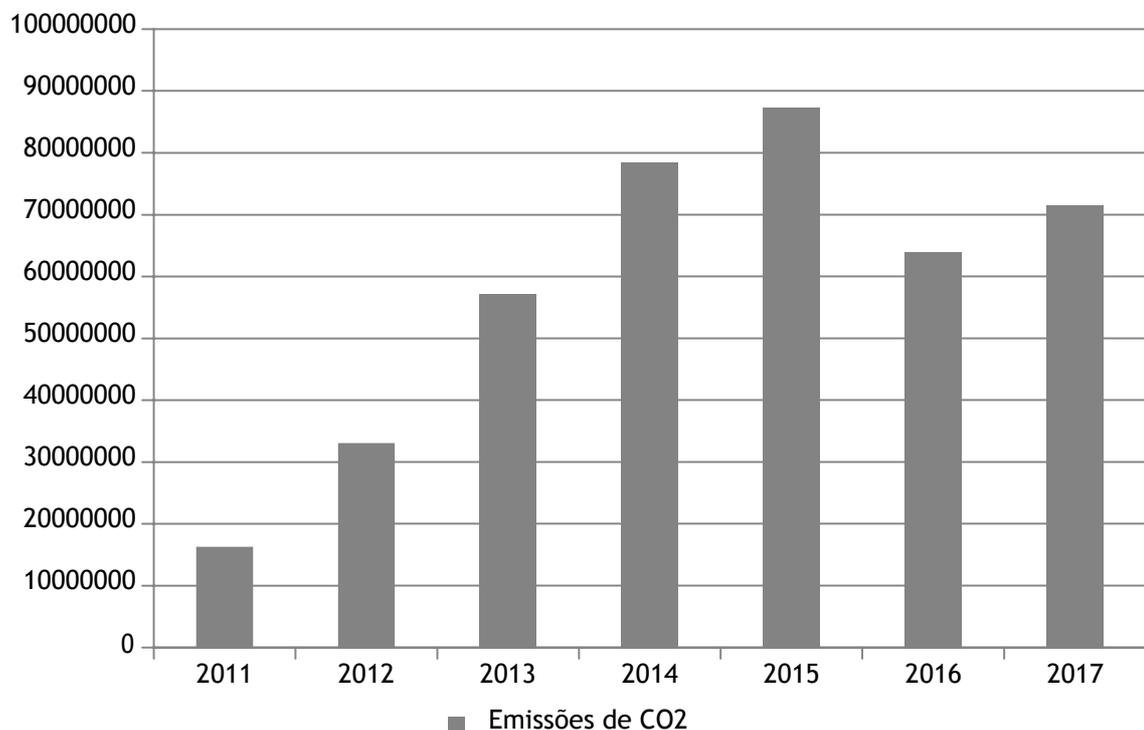
No período entre 2011 a 2015 houve uma redução na geração de energia hidroelétrica, devido à falta de chuvas suficientes para o abastecimento dos reservatórios das usinas hidroelétricas e problemas estruturais associados ao processo de privatização do setor elétrico o que resultou em uma oferta de energia não suficiente para suprir a demanda de consumo. (GOMES, 2007). Consequentemente as emissões de GEE diminuíram em razão de o governo ter privilegiado o uso das termelétricas, para se preservar o nível dos reservatórios, tendo em 2016 e 2017 uma geração, não se vista desde 2013. (MIRANDA, 2016).

5.2.2 Emissões de GEE provenientes da geração Termelétricas

No Brasil, utiliza-se a energia termelétrica de forma estratégica, pois esta pode ser produzida em uma quantidade constante durante o ano inteiro, diferentemente das hidrelétricas, as quais possuem a produção dependente do nível de rios. Mais especificamente, as termelétricas complementam a matriz energética das hidrelétricas, sendo acionadas predominantemente quando há necessidade, como em períodos de estiagem. (LIMA, 2014)

Desde 2011, teve se início a uma diminuição na geração hidroelétrica, pelo fato do governo privilegiar o uso das termelétricas, como fonte de suprir a demanda elétrica, assim nota-se no GRAF. 9 um crescimento nas emissões de GEE pela fonte termelétrica.

Gráfico 9 - Emissões de CO₂ por fonte termelétrica



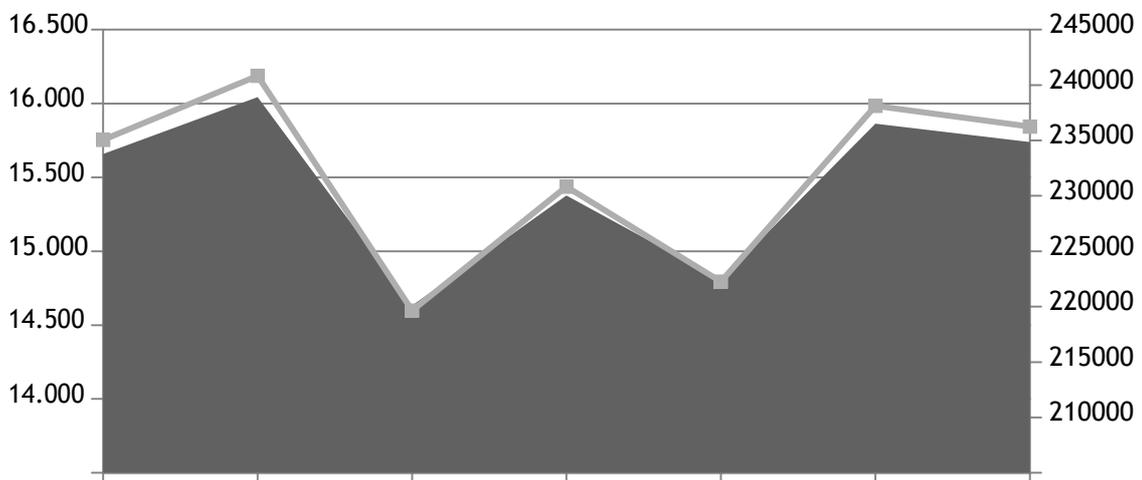
Em decorrência do aumento da participação da termelétrica a combustível fóssil, as emissões de GEE na geração de eletricidade aumentaram exponencialmente 2011 (16,3 MtCO₂) e 2015 (87,3 MtCO₂), ano em que as suas emissões atingiram seu patamar mais elevado, representando 17% do Setor de Energia e passando a ser o segundo maior emissor, depois dos Transportes. (SEEG, 2017)

5.2.3 Emissões de GEE provenientes da geração Nuclear

Usinas nucleares não produzem GEE ou outros gases poluentes em sua operação. Isso porque eles não queimam nada na planta em si, entretanto, basta conhecer minimamente o ciclo de vida de um reator nuclear para deduzir, sem qualquer dificuldade, que a “ausência de CO₂ e gases poluentes” teóricos não existem. A operação de uma usina nuclear depende de uma infraestrutura industrial baseada em um circuito complexo. Essas usinas operam com um combustível, o urânio, que não é muito abundante na Terra, o que envolve operações complexas de mineração, grandes instalações industriais para fabricá-lo e longas viagens entre cada estágio do ciclo. (MANSILLA, 2016).

O GRAF. 10 exibe os resultados das emissões de GEE em função da energia produzida pela fonte no período analisado.

Gráfico 10 - Emissões de CO₂ e Geração de energia Nuclear (GWh) de 2011-2017





Fonte: Mariana (2012), ONS (2018), adaptado.

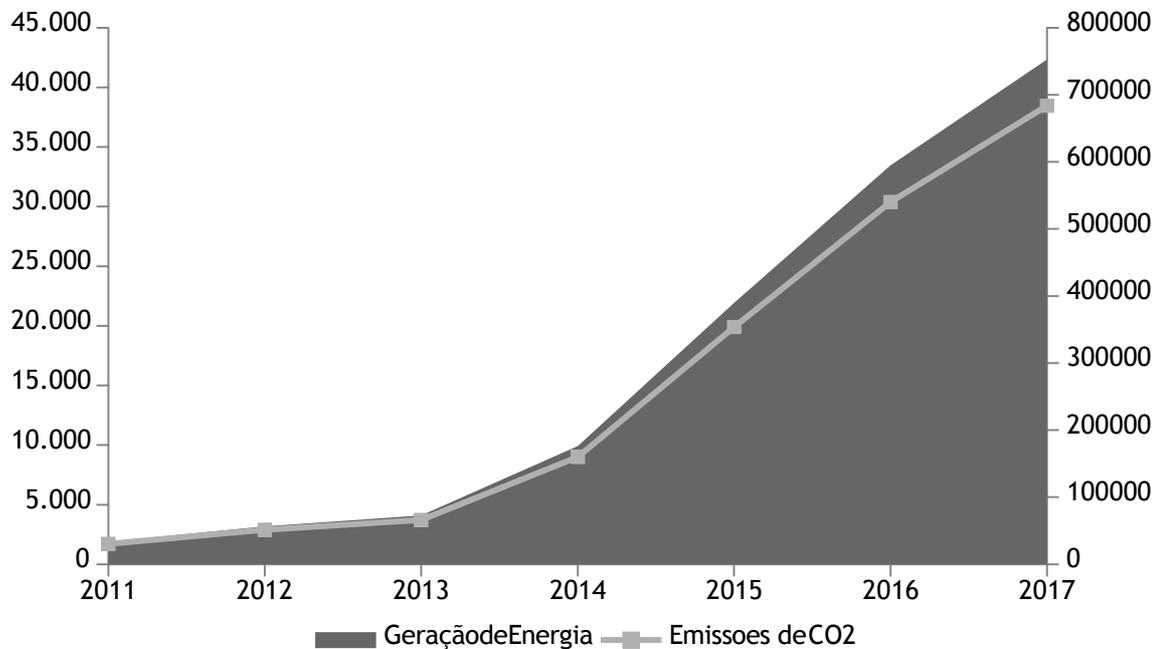
Observa-se no GRAF. 10 que a variação de energia nuclear variou pouco durante o período analisado, mostrando que não houve um incentivo na sua geração, mesmo com a crise hídrica. Suas emissões decorreram principalmente da mineração, conversão e enriquecimento de urânio e fabricação de combustível nuclear, a construção da usina e transporte (MIRANDA, 2012).

5.2.4 Emissões de GEE provenientes da geração Eólica

O setor eólico passou a se evoluir com as modificações do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) para o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em conjunto com o novo regime de leilões que diminuindo as dúvidas do investidor quanto ao retorno de remuneração do seu projeto (GAVINO, 2009).

O Decreto nº 6.048 de 2007 criou o Leilão de Fontes Alternativas, como forma de incentivo ao crescimento do setor que permitiu o aumento da capacidade eólica instalada. Os leilões ocorridos em 2009 e 2010 deram grande destaque para o setor eólico com previsão do início da operação das primeiras plantas contratadas em 2012. (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012)

No GRAF. 11 pode se observar que a partir de 2011, que teve um começo relevante na geração eólica no SIN, desde então, nota-se maiores investimentos no setor e, conseqüentemente, um crescimento exponencial no potencial de geração.

Gráfico 11 - Emissões de CO₂ e Geração de energia Eólica (GWh) de 2011-2017

Fonte: Mariana (2012), ONS (2018), adaptado

As emissões geradas ocorrem pela fonte eólica em sua maior parte na etapa de preparação dos componentes e equipamentos, ainda na fase de construção, o que resulta em um fator de emissão relativamente baixo. (MARRA, 2016).

5.3 Potencial eólico no Brasil

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s.

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro utilizou-se recursos de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia elétrica a partir de curvas de potência de turbinas eólicas, e integrando-se os mapas digitais foi possível chegar a valores que revelam o potencial eólico estimado do Brasil. Para obter esses valores foram consideradas as seguintes premissas. (AMARANTE, 2010)

- Todas as áreas que apresentaram velocidades médias anuais iguais ou superiores a 6

m/s forem integradas;

- Foram consideradas curvas médias de desempenho de turbinas eólicas instaladas em torres de 50 m;
- Densidade média de ocupação de terreno de apenas dois MW/km²;
- Intervalos com incrementos de 0,5 m/s para velocidades médias anuais de vento e o desempenho foi calculado para limites inferiores de cada intervalo;
- Adotado fator de disponibilidade de 0,98;
- Descartadas da integração as áreas cobertas por água. (lagoas, lagos, açudes, rios e mar).

A TAB. 5 exhibe os resultados por faixa de velocidade.

Tabela 5 - Potencial eólico estimado do Brasil

Vento (m/s)	(Km ²)	Potência Instalável (GW)	Energia Anual (TWh/ano)
>6	667.391	1.334,78	1.711,46
>6,5	231.749	463,49	739,24
>7	71.735	143,47	272,20
>7,5	21.676	43,35	100,30
>8	6.679	13,36	35,93
>8,5	1.775	3,55	10,67

Fonte: AMARANTE, 2010

Os ventos acima de 7 m/s, é onde se encontra o melhor aproveitamento da energia eólica. Levando em consideração a geração de energia de 2017 que foi de 642.042 GWh (ONS,2018) e o potencial instalável em áreas com media de ventos maiores que 7 m/s, tem-se uma estimativa de 419.000 GWh/ano (419 TWh/ano), que corresponde a 65% da energia gerada em 2017 em uma área equivalente a 1,20% do território do Brasil que é 8.516.000 Km² (IBGE, 2012).

5.4 Emissões evitadas pela energia eólica na geração de energia

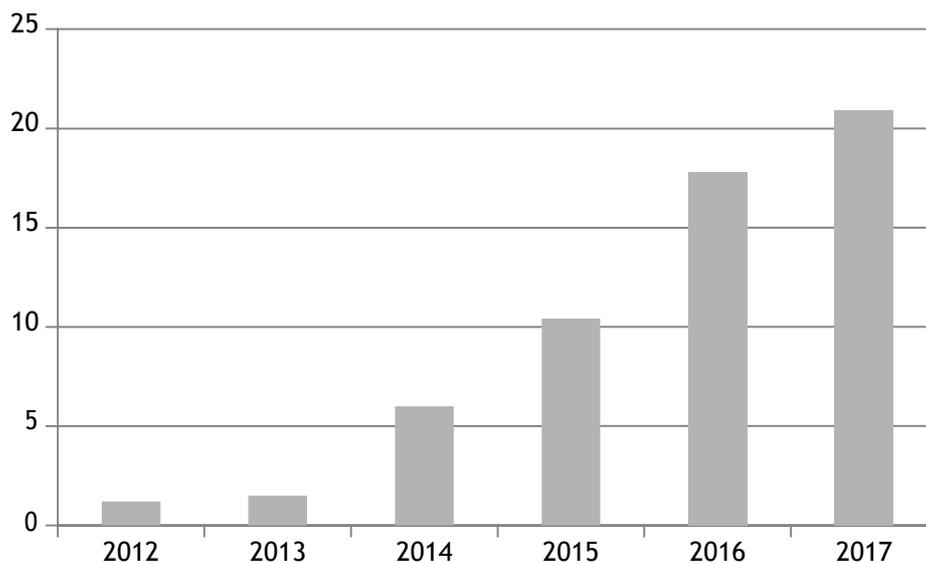
A energia eólica é uma fonte de energia limpa, que pode causar menos impactos se comparada a geração hídrica e termoquímica, que são amplamente utilizadas no Brasil. Representando uma alternativa em regiões com bom potencial eólico e também contribuindo para a diminuição da emissão de gases causadores do efeito estufa.

Das tecnologias disponíveis com emissões de CO₂ abaixo do nível da energia eólica, somente as grandes hidrelétricas são hoje comercialmente competitivas. Entretanto, a utilização de grandes hidrelétricas tem sido discutida em países como o Canadá e o Brasil (dois países que apresentam grandes plantas hidrelétricas instaladas cada vez mais longe dos

centros consumidores), onde a decomposição da vegetação submersa nos grandes reservatórios produz uma quantidade substancial de metano, que registra um potencial de aquecimento 50 vezes maior do que o CO₂. (ALARGE, 2018)

Ao gerar energia elétrica a partir da força dos ventos, os Parques Eólicos substituem outras fontes de geração de energia elétrica que emitem CO₂. Considerando a metodologia e os dados do, MCTIC para o cálculo de emissões evitadas pela fonte eólica (75% para Operação e 25% para Construção das usinas), o GRAF. 12 apresenta as emissões de CO₂ evitadas nos últimos anos.

Gráfico 12- Emissões de CO₂ evitadas 2012 – 2017 (Mton)



Fonte: ABBeólica

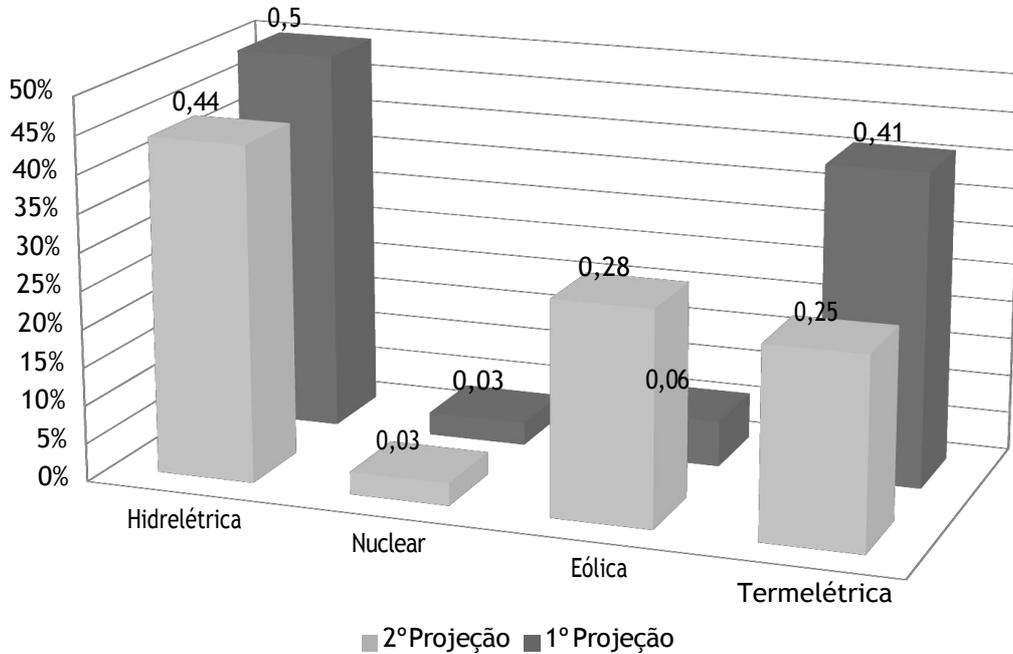
5.5 Projeção da composição futura da matriz elétrica brasileira

Com base nas estimativas de consumo de energia, o EPE (2014), realizou a projeção da demanda energética brasileira até 2030. Em seu relatório final apresentado no Plano Nacional de Energia 2030 e levando em consideração as premissas descritas em suas seções, é apontado o consumo de energia para 2030 de 849.000 GWh. (EPE, 2014).

Em seu relatório o EPE (2014) realizou a duas projeções da geração de energia elétrica por fonte seguindo então as tendências de alteração do cenário da matriz elétrica nos últimos anos. Na primeira foi seguindo o caminho dos últimos anos, onde as termelétricas sugerem uma maior predisposição a ser um complemento da energia elétrica. Já na segunda projeção foi considerada o aproveitamento do potencial eólico brasileiro, considerando um incremento significativo observado nos leilões de empreendimentos a serem implementados nos próximos anos.

O GRAF. 13 exibe as projeções da matriz energética brasileira em 2030.

Gráfico 13- Projeção da matriz energética brasileira para o ano de 2030



Fonte: EPE, 2014 adaptado pelo autor.

5.6 Projeções das emissões de GEE

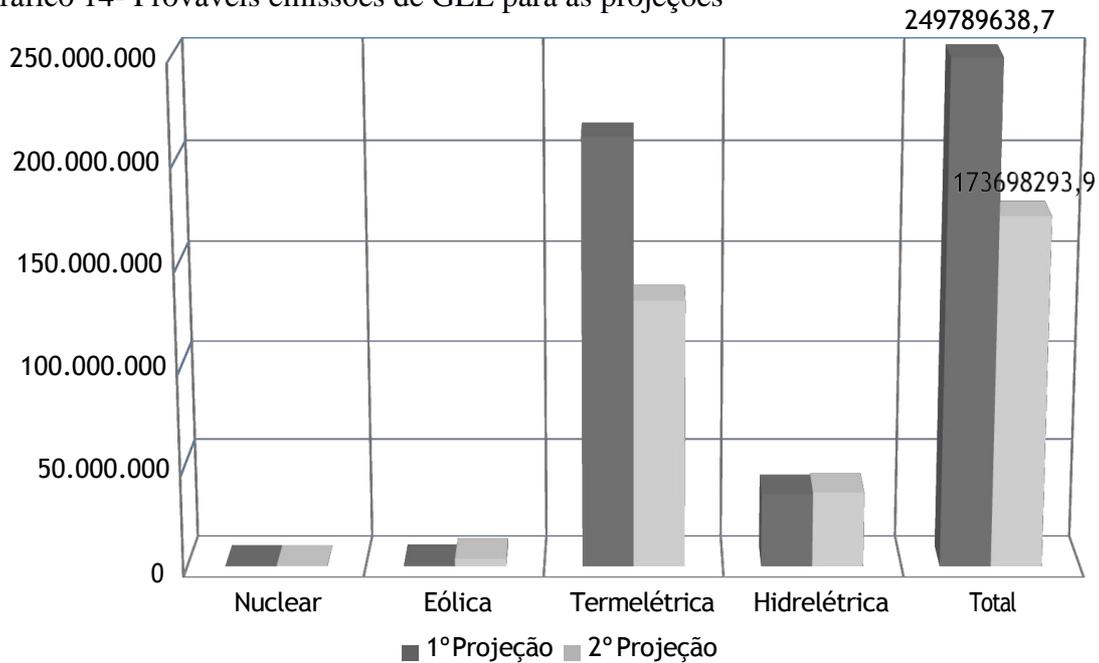
Com bases nos dados do EPE (2014), da demanda elétrica em 2030, com os possíveis cenários disponibilizados no Plano Nacional de Energia 2030, com o fator de emissão disponibilizado por Mariana (2012) foi a estimativa das prováveis emissões de GEE, para cada projeção.

Na primeira projeção é considerada a tendência de queda apresentada nos últimos anos na geração de energia por fonte hidroelétrica acompanhada da tendência atual de crescimento da geração de energia eólica, mantendo a energia termoelétrica como fonte complementar de atendimento à demanda.

A segunda projeção também considera a queda apresentada nos últimos anos na geração de energia por fonte hidroelétrica, mantendo a energia termoelétrica como fonte complementar de atendimento à demanda, porém acompanhada da tendência de crescimento da geração de energia eólica.

O GRAF. 15 mostra as possíveis emissões de GEE para o ano de 2030, por fonte.

Gráfico 14- Prováveis emissões de GEE para as projeções



Fonte EPE, 2014 adaptado pelo autor

É possível observar na primeira projeção com o grande uso das termelétricas tem como consequência as altas emissões de GEE, chegando a um total de 250 MtonCO₂/ano, tendo 85% desse valor proveniente da fonte térmica. Já na segunda projeção, com o aproveitamento do potencial eólica brasileiro seria evitado a emissão de 76 milhões de toneladas de CO₂ no ano de 2030, tendo em vista que as emissões de GEE, pelas fontes nuclear e hidrelétrica se mantiveram equivalentes nas duas análises.

5.7 Custos de geração de energia elétrica

Desde 2004, o valor da energia adquirida das geradoras pelas distribuidoras passou a ser determinado também em decorrência de leilões públicos. A competição entre os vendedores contribui para menores preços. Quando a conta chega ao consumidor, ele paga pela compra da energia. Os custos de energia representam atualmente a maior parcela de pagamento (53,5%), seguido dos custos com Tributos (29,5%). A parcela referente aos custos com distribuição, ou seja, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% dos custos das tarifas. (ANEEL, 2018).

A ANEEL (2018) disponibilizou o resultado do leilão nº 04/2017 destinado à contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração a partir das fontes hidrelétrica, eólica, solar fotovoltaica e termelétrica, com início de suprimento em 1º de

janeiro de 2021. A TAB. 6 exibe o preço de energia que cada empreendimento foi vendido.

Tabela 6- Valor do empreendimento vendido por fonte

Fonte	Hidrelétrica	Eólica	Solar Fotovoltaica	Termelétrica
Valor (R\$/MWh)	211,81	173,76	310,25	230,66

Fonte: ANEEL, 2018 adaptada pelo autor.

O menor custos da geração eólica deve ser referente às iniciativas do governo de impulsar a geração de energia por fontes alternativas, como o ProInfa, que em sua primeira fase fomentou as fontes eólicas, biomassa, PCHs (MARRA, 2016).

6 DISCUSSÕES

Este trabalho baseou-se em uma pesquisa sistemática da literatura em conjunto com a análise das emissões de GEE por fonte de geração de energia para se chegar ao resultado final, que pode ser sintetizado como uma análise das reduções de GEE com o aumento da geração de energia por fonte eólica.

A revisão bibliográfica feita com apoio de informações e de modo manual dos estudos teve como objetivo colher o maior número de dados e informações.

No estudo realizado, foi feita uma metodologia de análise em que se utilizou o fator de emissão calculado por Miranda (2012). Este fator foi medido através do estudo do ciclo de vida, que Marra (2016) explica como, método que inclui a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos de um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida. O valor utilizado da geração de energia foi o disponibilizado pelo ONS (2018), para fazer os cálculos de emissões geradas por fonte. Assim as emissões calculadas são diretamente ligadas à geração de energia, pelo fato do fator de emissão ser constante.

A energia eólica e a energia nuclear são as fontes que apresentam o menor fator de emissão de GEE esse fato é evidenciado por Arvesen e Pehl (2017) onde afirmam que para cada kWh de eletricidade produzida entre 3,5 e 12 gramas de CO₂ seriam indiretamente geradas pelas fontes eólicas e nuclear, respectivamente.

Na tecnologia eólica as emissões estão relacionadas à construção das usinas, como Miranda (2012) afirma que, fatores como o material é utilizado e o local de produção dos principais componentes da usina, por exemplo, na fundação, na torre e nas pás, e a matriz energética local também podem influenciar as emissões. Especificamente pela fonte nuclear Baitelo (2017) fala que as emissões ocorrem a partir da mineração, conversão e enriquecimento de urânio e fabricação de combustível nuclear, a construção da usina e transporte. Já nas hidrelétricas, não existe uma metodologia amplamente aceita para estimativa de emissões de GEE de reservatórios existentes ou planejada. Na revisão de literatura executada pelo *Oak Ridge National Laboratory*, Balcar (2014) concluiu que apesar de ser possível argumentar que as evidências empíricas obtidas por medições em reservatórios claramente indicam que as emissões brutas de GEE de reservatórios não são nulas, mas é menos claro se existe emissões, já que poucos estudos mediram ou estimaram conjuntamente emissões e remoções ou avaliaram emissões e remoções para o período anterior ao enchimento do reservatório (BALCAR, 2014). Schuchter (2010) propõem que as emissões

nas hidrelétricas estão ligadas a construção das usinas e a difusão de matéria orgânica encontrada no fundo dos seus reservatórios. Em contraposição, a fonte termelétrica que utiliza combustível fóssil na geração de energia, as suas emissões estão relacionadas à operação das usinas.

Diferente da energia nuclear, que manteve sua geração no mesmo nível no período analisado, as termelétricas e usinas eólicas foram às fontes que tiveram o maior aumento de geração no SIN. Seus crescimentos têm ligações com a queda de produção de energia elétrica nas hidrelétricas, como Tolmasquim (2016) exemplifica, que quando os rios estão com vazão baixa e os reservatórios com água com nível abaixo da média a um aumento do uso das termelétricas para suprir a demanda de energia elétrica. Segundo a ABEEólica (2017) o crescimento da produção de energia eólica tem a ver com o investimento feito no setor nos últimos anos, por ser uma energia com grande potencial energético. O aumento das termelétricas influenciou na elevação das emissões de GEE na produção de energia elétrica no Brasil, chegando ao seu maior valor em 2014. De 2014 a 2017 houve um aumento de 200% na geração eólica (BEN, 2018).

Como foi visto no tópico 5.3, o potencial eólico apresenta valores bem animadores, em vista de suprir a energia produzida pelas termelétricas e ser junto com as hidrelétricas as principais fontes de gerações de energia elétrica no Brasil.

As emissões evitadas pela energia eólica estão associadas a sua baixa taxa de emissões durante seu ciclo de vida e com seu aumento de geração no SIN, produzindo energia que antes eram produzidas por outras fontes como as termelétricas e até mesmo as hidrelétricas que tem seus fatores de emissão maiores que a da eólica. Assim evitando as emissões que antes eram geradas pelas fontes citadas anteriormente.

A projeção da matriz energética brasileira, apresentada no Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2030), exibiu dois cenários, onde o primeiro evidenciou o maior aproveitamento das termelétricas, já no segundo cenário o uso da energia eólica seria mais abundante, tornando-a segunda fonte que mais produziria energia elétrica no país, assim contribuindo com a diminuição das emissões de GEE, já que a fonte termelétrica é a que mais emite gases poluentes na atmosfera.

Atualmente, a energia eólica é a fonte com custo de expansão mais baixo no Brasil, fato que pode ser exibido pela ANEEL (2018) em seu leilão nº 04/2017, onde a geração eólica apresenta valor 201% menor que as hidrelétricas. De acordo com Panorama Comerc (2016) a energia hidrelétrica, que conservou por décadas o título de fonte mais barata do Brasil, tem

vido influenciada pelas crescentes exigências para mitigar impactos sociais e ambientais. Além disso, os locais de instalação dos empreendimentos estão cada vez mais distantes dos pontos de consumo, o que demanda mais investimento em redes de transmissão, aumentando o custo final do insumo.

A principal fonte de emissões desse GEE é a queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Substituir o uso desse combustível pelo uso de energia eólica se mostra favorável tanto ambientalmente, quanto economicamente, acontecimento que é discordado por Rez (2017), onde fala que a eólica não atende ao requisito de ajustar a oferta à demanda de eletricidade, por ter necessidade de ser complementada por alguma outra forma de garantir a oferta contínua de energia no sistema.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a emissões de GEE na matriz energética brasileira e apresentar a energia eólica como fonte de redução dessas emissões.

A revisão da literatura feita mostrou que a energia eólica apresenta fatores como um bom potencial de geração de energia, com um baixo índice de emissões em seu ciclo de vida e um custo de geração que vem se tornando cada vez mais baixos. Esses requisitos oferecem a fonte eólica características muito animadoras quanto o aumento da sua demanda, substituindo, assim, as outras fontes e conseqüentemente reduzindo as emissões de GEE provenientes da matriz energética brasileira.

Havendo conhecimento da importância da energia elétrica para um país, onde praticamente toda sua economia depende do uso da energia, observa-se a importância desse trabalho, que a fim de tornar a geração de energia elétrica do Brasil mais limpa, concluiu-se que isso é possível através do aumento da geração de energia eólica, acarretando na redução nas emissões de GEE na matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica; **Boletim de Dados**. Edição Outubro 2016b. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/images/boletins/BoletimdeDadosABEEolicaOutubro2016-Publico.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

ALARGE. **Energia eólica**. Disponível em: <http://alager.org.br/energia_eolica.html>. Acesso em: 15 set. 2018.

AMARANTE, O. A. C.; DA SILVA, F.J.L. DE ANDRADE P.E.P. **Atlas eólico: Minas Gerais** – Belo Horizonte, MG: Cemig, 2010.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; BIG - **Banco de Informações de Geração**; 2016b; Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 6 jun. 2018.

ARVESEN A; PEHL M, 2017: Understanding Future Emissions from Low-Carbon Power Systems by Integration of Life Cycle Assessment and Integrated Energy Modelling. *Nature Energy*.

Atlas de energia elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.(?)

Atlas eólico: Minas Gerais – Belo Horizonte, MG: Cemig, 2010.

AMBROGI, V. et al. Quantificação de emissões de GEE pelo setor de energia. **Ekos Geoklock**, São Paulo, n. 5, p. 8-63, 2012

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. Porto Alegre: Boojman, 2002. 622p.

BAITELO, Ricardo. Cortina de fumaça as emissões de gases estufa e outros impactos da energia nuclear. *Greenpeace*, v. 1, p. 1-15, novembro de 2017. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/archive-brasil/global/brasil/report/2007/12/cortina-de-fuma-a.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

BALAT, M Usage of energy sources and environmental problems. **Energy Exploration & Exploitation**; v 23, n. 2, p. 141-168, 2005.

BEN - Balanço Energético Nacional .2011, ano base 2010

BRASIL (2009). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. ISAURA MARIA DE RESENDE LOPES FRONZIZI. (Org.). **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**: Guia de Orientação 2009. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2009. 132 p.

_____(2015). **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada: CONSECUÇÃO DO OBJETIVO DA CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**. Brasília, DF

_____(2016). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) . **CONVENÇÃOQUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE CLIMA: CONFERÊNCIA DAS PARTES**.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

_____. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: MCTI, 2010.

_____. Mercedes Maria da Cunha Bustamante. (Org.). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED Brasília: MCTI, 2013. 76 p.

BORSARI, Vanderlei. Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa do Estado de São Paulo: gestão de emissões de GEE, período de 1990 – 2008. 2010 .Disponível em <rllei.pdf >. Acessado em: 22 de jun. 2018.

BUCKERIDGE, Marcos S. **O efeito estufa e a biodiversidade**. 2013 Disponível em <>. Acessado em: 22 de jun. de 2018.

COOK, J.; NUCCITELLI, D.; GREEN, S. A.; RICHARDSON, M.; WINKLER, B.; PAINTING, R.; WAY, R.; JACOBS, P.; SKUCE, A.; Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the science literature; Environmental Research Letters; IOP Publishing Ltd.; Volume 8; nº 2; 15 de maio 2013.

CORTE, A.; SANQUETA, C.; MAAS. G.; SANQUETA, M.; SANQUETA, F. ;Emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia elétrica no paraná no período 2010 - 2014. BioFix scientific journal, v. 2, n. 1, 20 de maio 2017.

DINCER, I. Energy and Environmental Impacts: Present and Future Perspectives. Energy Sources, v. 20, p. 427-453, 1998

DINCER, I; ROSEN, M. A . Applied Energy, v. 64, p. 427-440, 1999.

DUTRA.R.M. **Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Energia Eólica: Princípios E Tecnologias : CEPTEL, 2008.

ENERGIA EÓLICA: **Anuário 2014/2015**. Rio de Janeiro: Brasil Energia, 2014.

EPA – United States Environmental Protection Agency; Emission factors for Greenhouse Gas Inventories. Edição de novembro de 2015. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/emission-factors_nov_2015.pdf>.Acesso em: 6 jun. 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; **Balço Energético Nacional Séries Completas**. Edição 2015. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>. Acesso em: 6 jun. 2018

GAVINO, N.A. **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009)**.2011. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011

GILLET, N. P.; ARORA, V. K.; FLATO, G. M.; SCINOCCHA, J. F.; von SALZEN, K.; Improved constraints on 21st-century warming derived using 160 years of temperature observations; *Geophysical Research Letters*; Volume 39; 1ª Edição; janeiro 2012.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 2ª ed. revisada. Tradução de André Koch. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook*. Paris: IEA, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Key World Energy Statistics*. Paris: IEA, 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/main.html>. Acesso em: 06 jun. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/index.htm>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

INSTITUTO ACENDE BRASIL (Org.). *Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações. White Paper - Instituto Acende Brasil*, São Paulo, p.1-52, maio 2012.

IPCC – **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas**; *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Edição 2014. Disponível em: <<http://ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

LAU, L. C.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R.; *Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord - A comment*; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; Volume 16; 7ª Publicação; setembro 2012; pp.5280 – 5284.

LIMA M; SOUZA, M. **Discorrendo sobre o uso das termelétricas no brasil**. *Ciência & Natura*, Santa Maria, v. 37, p. 17-23, 2014.

MANSILLA, M; *Contribución de la energía nuclear al cambio climático*. Sociedad nuclear española, . Disponível em: <https://www.sne.es/images/stories/recursos/actividades/jueves-nucleares/2016/jueves_nuclear_contribucion_nuclear_cambio_climatico.pdf>. Acesso em: 14 set. 2018.

MARRA, T. **Emissões de gases de efeito estufa na produção de energia elétrica gerada por usinas hidroelétricas, eólicas e termoelétricas no Brasil** 2016. 90 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso Engenheiro Ambiental e Sanitarista. I - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais 2016.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. 2007. 95p. Dissertação de Mestrado em Energia - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MATTHEWS, H.D.; GRAHAM, T.L.; KEVERIAN, S.; LAMONTAGNE, C.; SETO,

D.;SMITH, T. J.; National contributions to observed global warming. Environmental Research Letters, IOP Science, Canada, 2014. 9p.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. **Fatores de Emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil. 2016.** Disponível em: Disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764/Fatores_de_Emissao_de_CO_sub_2_su_b_do_Sistema_Interligado_Nacional_do_Brasil.html . Acesso em: 05 jun. 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Fatores de emissão de CO₂ para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil.** 2018. Renewable and Sustainable Energy Reviews; Volume 16; 7ª Publicação; setembro 2012; pp.5280 – 5284. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil:** implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MIRANDA, T. (Org.). **MP divide risco hidrológico entre hidrelétricas e consumidores a partir de 2016.** 2016. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/CONSUMIDOR/496313-MP-DIVIDE-RISCO-HIDROLOGICO-ENTRE-HIDRELETRICAS-E-CONSUMIDORES-A-PARTIR-DE-2016.html>>. Acesso em: 15 out. 2016.

MME – Ministério de Minas e Energia; Matriz Energética Nacional 2030. E dição 2007a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030>>. Acesso em: 5 jun. 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia; Plano Nacional de Energia 2030. Edição 2007b. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_7.pdf >. Acesso em: 5 jun. 2018

NREL – National Renewable Energy Laboratory; Efficiency Charts. 2016. Disponível em: http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency_chart.jpg>. Acesso em: 6 jun. 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Histórico da Operação: Geração de Energia. Disponível em: . Acesso em: 22 ago. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Acordo Internacional de Paris nº Decisão 21, de 11 de dezembro de 2015. **Adoção do Acordo de Paris sob a Convenção aplicável a todas as Partes:** Plataforma Durban de Ação Reforçada (decisão 1/CP.17) Paris, Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Última edição em 6 jun. 2018.

PANORAMA COMERC. **Eólica é a fonte de energia mais barata do país, de acordo com levantamento.** Disponível em: <<http://panorama.comerc.com.br/#ativamenulateral>>. Acesso em: 11 out. 2018.

PASQUAL, J.C.; ANAYA, R.P.; LEY, A.L.; ZINIGA-TERRAN, A.A.; PERALTA LUGO, Y.; MEJIASANTELLANES, J.A. Implications and challenges for the energy sector in Brazil and Mexico to meet the carbon emission reductions committed in their INDC during the COP 21-CMP11. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 37, p. 31-46, 2016.

SEEG – **Emissão de GEE do Brasil período 1970 - 2015** Documento-síntese e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. 2017. Disponível em: <>. Acesso em: 6 jun. 2018

SILVA, R.W.C.; de PAULA, B.L.; **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural**. Terræ Didática, p.42-49; 2009.

SCHELLING, T. C. Global environmental forces. In: HELM, J. L. (Ed.) *Energy production, consumption, and consequences*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. p. 75-84.

SHINDELL, D. T.; FALUVEGI, G.; KOCH, D. M.; SCHMIDT, G. A.; UNGER, N.; BAUER, S. E. *Science*, v. 326, p. 716-718, 2009.

SCHUCHTER, G. Emissão de gases de efeito estufa em reservatórios hidrelétricos 2010. 45 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais

SOUZA, L.L. et al. **Análise do impacto ambiental causado pela geração de energia eólica**. Engenharia: Energia, [s.l], p.625. 2015.

TESTER, J. W. et. al. **Sustainable Energy: Choosing Among Options**. USA: MIT Press, 2005.

THOMAS, J. M. G.; PRASAD, P.V.V.; (eds. THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B.G.); Elsevier; Londres, Inglaterra; 2003; pp. 786-794

TOLMASQUIM, M. **ENERGIA TERMELÉTRICA: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 417 p.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)**. 1992. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. 1998. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2018.