



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

Combustíveis alternativos para termelétricas no Brasil: comparativo quanto à emissão de gases de efeito estufa e geração de energia elétrica

KARINE ZORTEA DA SILVA

karine.silva@usp.br

RENATA COLOMBO

renatacolomb@gmail.com

Título: Combustíveis alternativos para termelétricas no Brasil: comparativo quanto à emissão de gases de efeito estufa e geração de energia elétrica

Resumo:

As intensas emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos últimos anos têm acarretado nas mudanças climáticas e no aumento da temperatura na Terra. O setor que mais emite GEE no mundo é o de geração de eletricidade, devido ao uso de combustíveis fósseis. No Brasil o setor foi responsável por 16,57% das emissões de GEE em 2013, devido principalmente ao aumento na participação das centrais térmicas para a geração de energia elétrica no país. Investir em combustíveis alternativos é o caminho para a segurança e sustentabilidade energética no Brasil. Diversos combustíveis alternativos estão disponíveis, mas faltam estudos que mostrem e correlacionem às vantagens energéticas, socioeconômicas e ambientais desta mudança no Brasil. Este estudo visa desenvolver uma ferramenta que calcula parâmetros, tais como, quantidade de energia e emissões de GEE geradas dentro do cenário de substituição de combustíveis. Os combustíveis tradicionais e alternativos englobados no estudo abrangem sólidos, líquidos e gasosos empregados nas diferentes termelétricas do país. Os dados utilizados para a construção da ferramenta estão sendo obtidos de fontes oficiais. Pretende-se que esta ferramenta venha contribuir para mostrar a viabilidade do uso de alguns combustíveis alternativos incentivando a substituição dos combustíveis tradicionalmente utilizados no setor energético.

Palavras-chave: mudanças climáticas, gases de efeito estufa (GEE), setor energético, combustíveis alternativos.

Abstract:

The intense emission of greenhouse gases (GHG) in recent years have entailed in climate change and an increase in temperature on Earth. The electricity sector is the largest emitter of GHG due to the use of fossil fuels. In Brazil, the sector was responsible for 16.57% of GHG emissions in 2013, mainly due to the increase in the participation of thermal power plants to generate electricity in the country. Investing in alternative fuels is the path to security and energy sustainability in Brazil. Several alternative fuels are available, but there are few studies that show and correlate the energy, socio-economic and environmental benefits of this change in Brazil. In this study a tool is being developed that it will calculates parameters such as amount of energy and GHG emissions generated within the fuel replacement scenario Traditional and alternative fuels considered in the study include solid, liquid and gaseous fuels used in different technologies of thermal power in country. The data used for the construction of the tool are taken from official sources. It's intended that this tool will help to show the feasibility of using some alternatives fuels by encouraging the substitution of fuels traditionally used in the energy sector.

Keywords: climate change, greenhouse gases (GHG), energy sector, alternative fuels.

Introdução e Objetivo

Os termos mudança do clima, mudança climática ou alteração climática referem-se à variação do clima da Terra (mudanças de temperatura, precipitação, nebulosidade ou outros fenômenos climáticos), ao longo do tempo, em relação às médias históricas (MEEHL et al., 2007). Estas mudanças climáticas são medidas em escala global ou regional e tem como causa primordial os processos naturais da própria Terra, que são classificados em duas categorias: *i*) influências internas, como a variação da energia solar que chega a Terra e a variação da própria órbita terrestre e *ii*) influências externas, como as mudanças ou deriva dos continentes, fenômenos como o *El Niño*, o vulcanismo e a variação na composição atmosférica (STONE et al., 2013).

Recentemente, em especial no âmbito das políticas ambientais, o termo alteração climática tem sido empregado para definir as mudanças no clima dos últimos tempos, incluindo o aumento da temperatura média global na superfície da Terra (conhecido como aquecimento global). Adicionalmente à variabilidade natural do clima, tratados como a Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNITED NATIONS, 1992) e o Protocolo de Quioto (UNITED NATIONS, 1998, 2012) atribuem as atividades direta ou indireta do homem como causa principal para a alteração climática. Diversas pesquisas científicas desenvolvidas em todo mundo, de formas independentes, também tem comprovado que esse fenômeno está associado às atividades antrópicas, em especial pela maior emissão de gases de efeito estufa (GEE)¹ ocorrida nos últimos anos (IPCC, 2014). As mudanças climáticas registradas nas últimas décadas, incluindo o aquecimento global, podem levar a sérios impactos socioambientais como, por exemplo, degelo de calotas polares, aumento do nível do mar, aumento da erosão costeira, mudança nas precipitações, entre outros. Estes impactos por sua vez podem provocar eventos extremos como ondas de calor, seca, inundações e furações, entre outros (IPCC, 2007; THORNTON et al., 2014). O conhecimento sobre as causas e consequências das mudanças climáticas tem feito com que a comunidade científica e os líderes das nações do mundo todo se mobilizem para minimizar estes impactos. Diversas convenções, conferências, legislações e tratados que têm sido organizados, discutidos e regulamentados desde a década de 1970 (RIBEIRO, 2001; WMO, 1979; UNITED NATIONS, 1992, 1998, 2012).

O Brasil é um país signatário da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNITED NATIONS, 2014), e assumiu um compromisso voluntário de redução de emissões de GEE de no mínimo 36,1% até 2020, bem como medidas de adaptação à mudança do clima, através da Lei nº 12.187/2009 – Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (BRASIL, 2009).

Quando se trata de emissões de GEE advindas das atividades produtivas no mundo, o setor de energia elétrica é o maior emissor de GEE, sendo responsável pela parcela de 42% das emissões em 2012 (SEEG, 2015). Isto se deve ao fato da matriz elétrica mundial ser composta principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, sobretudo por derivados de petróleo, carvão mineral e gás natural (SEEG, 2015).

No Brasil este cenário se difere devido ao fato de possuir uma matriz de energia elétrica predominantemente renovável, em especial pela geração hidráulica, que em 2013 teve a participação de 64,9% do total de energia elétrica interna ofertada (EPE, 2014a). Essa diferença da matriz de energia elétrica brasileira em comparação com a mundial coloca o Brasil em uma posição favorável quanto às emissões de GEE (MENDONÇA, et al., 2000), porém este cenário começou a se modificar recentemente, devido a crescente participação das termelétricas na geração de eletricidade (MENDONÇA, et al., 2000). A expansão da

¹ Os principais GEE são o vapor d'água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio e outros gases presentes em pequenas quantidades, porém não menos importantes (BAIRD, 2002).

capacidade de geração de energia elétrica ocorrida no Brasil, de 2012 a 2013, as centrais hidráulicas contribuíram com 30%, enquanto as centrais térmicas responderam por 65% da capacidade adicionada (EPE, 2014a). Além disso, em 2013, houve um aumento 59,1% na demanda de carvão vapor e 57,8% de gás natural destinado à geração de energia elétrica em relação a 2012 (EPE, 2014a).

Essas mudanças na composição da matriz de energia elétrica brasileira alteram as emissões dos gases de efeito estufa, devido ao aumento no consumo de combustíveis fósseis para geração da energia elétrica. Estimativas oficiais recentes sobre as emissões de GEE indicam que o setor é responsável por 16,57% das emissões de GEE. Um cenário bem diferente do ano de 1990, onde o setor de geração de eletricidade representava apenas 4% das emissões (SEEG, 2015).

Por razões econômicas, técnicas e políticas, a tendência de participação de termelétricas na matriz elétrica brasileira é crescente. Conforme apresentado no Plano Decenal de Energia 2023 a expansão do parque gerador de energia elétrica no país, entre os anos de 2019 e 2013, inclui a participação de termelétricas, totalizando 7.500 MW (EPE, 2014b). Para atender a esta demanda de expansão do setor de energia elétrica utilizando energia térmica, sem comprometer o compromisso do país em reduzir suas emissões de GEE de no mínimo 36,1% até 2020, é necessário um estudo de substituição dos combustíveis comumente usados e que possuem elevada taxa de emissão de GEE atrelado, por combustíveis menos poluentes.

Dentro deste contexto o presente estudo realizou um levantamento de combustíveis alternativos que podem ser empregados nas termelétricas, visando uma correlação da energia e das emissões de GEE gerados por estes combustíveis alternativos em relação a eles mesmos e em relação aos combustíveis utilizados atualmente. Estes dados serão utilizados na construção de uma ferramenta de consulta pública que simule parâmetros dentro do cenário de substituição destes combustíveis.

Metodologia

A primeira etapa deste estudo foi a realização de um levantamento a cerca dos combustíveis tradicionalmente utilizados nas termelétricas, bem como dos empregados em menor escala ou relatados como potencialmente promissores. Esses dados foram obtidos através do Bando de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016). A partir deste levantamento foi realizada a busca pelos parâmetros físico-químicos destes combustíveis. Os parâmetros relevantes e de interesse para este estudo são densidade (para combustíveis líquidos e gasosos), poder calorífico e fator de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Os dados de densidade e poder calorífico foram obtidos principalmente no relatório do Balanço Energético Nacional (MME, 2015). Os fatores de emissão de GEE foram obtidos principalmente no IPCC Guidelines (IPCC, 2006) e na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT, 2010). Além dessas fontes, foram utilizadas literaturas científicas para obtenção dos dados, principalmente sobre os combustíveis menos usuais.

A segunda etapa deste estudo envolveu a tabulação dos dados obtidos e a criação de uma planilha, que servirá como base de dados para a construção da ferramenta. Os dados foram organizados no software Microsoft Office Excel[®] e as equações matemáticas base da ferramenta (fonte de cálculos, conversões e correlações) começaram a ser geradas.

Para gerar a informação sobre quantidade de energia potencialmente gerada por cada combustível foram utilizados os parâmetros descritos na Equação 1.

$$E_g = \text{PCI}/860 \times Q_{\text{Comb}} \quad (1)$$

Onde E_g representa a quantidade de energia gerada (kcal/kWh), o PCI é o poder calorífico inferior do combustível (kcal/kg) e Q_{Comb} é a quantidade de combustível consumido (kg).

A quantidade total de energia gerada durante o processo, considerando a eficiência padrão de cada técnica ou equipamento de conversão da energia, também está prevista na ferramenta (Equação 2).

$$E_t = E_g \times \eta \quad (2)$$

Onde E_t representa a quantidade de total de energia gerada (kcal/kWh), E_g representa a quantidade de energia gerada (kcal/kWh) e η é a eficiência do equipamento

As respostas a respeito das emissões de gases de efeito estufa emitida por cada combustível leva em consideração os fatores de emissão de cada combustível e a quantidade de combustível utilizado (Equação 3). As emissões são calculadas em função dos gases individuais dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) e das emissões totais em CO_2 equivalente (CO_2e), de acordo com a metodologia publicada pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006).

$$E_{\text{GEE,comb}} = Q_{\text{Comb}} \times FE_{\text{GEE,comb}} \quad (3)$$

Onde $E_{\text{GEE,comb}}$ representa as emissões do GEE do combustível (kg); Q_{Comb} se refere a quantidade de combustível consumido (kg) e $FE_{\text{GEE,comb}}$ é o fator de emissão do GEE por tipo de combustível (kg/un).

A conversão em CO_2e , leva em consideração as emissões totais de cada um dos GEE e o seu Global Warming Potential – GWP, conforme Equação 4.

$$E_{\text{CO}_2\text{e}} = \sum E_{\text{GEE,comb}} \times \text{GWP} \quad (4)$$

Onde $E_{\text{CO}_2\text{e}}$ representa as emissões CO_2e (kg); $\sum E_{\text{GEE,comb}} \times \text{GWP}$ é a soma das emissões de cada tipo de GEE e GWP é o global warming potential de cada combustível.

A partir dessas equações e parâmetros, a próxima etapa do trabalho é a finalização da ferramenta de consulta. Esta ferramenta realizará os cálculos para todos os combustíveis tabulados neste estudo (mediante informações previamente tabuladas e/ou fornecidas pelo usuário), resultando em uma previsão das novas condições dentro de um cenário de substituição de combustíveis.

Resultados Parciais

O presente estudo contemplou o processo de geração de energia de termelétricas, devido à grande expansão deste tipo de geração no país nos últimos anos e à possibilidade de usar diversas fontes de combustíveis. O resultado do levantamento a cerca dos combustíveis utilizados frequentemente ou em menor escala ou ainda relatados como potencialmente promissores estão dentro de duas grandes categorias: não renováveis (aqueles de origem fóssil) ou renováveis (aqueles originários da biomassa) (ANEEL, 2016). Na Tabela 1 estão apresentados todos os combustíveis em utilizados atualmente, com sua respectiva origem e

capacidade instalada (número de usinas que utilizam este combustível e potencia em kW produzida atualmente).

Tabela 1. Combustíveis utilizados em termelétricas e suas capacidades instaladas.

Origem	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de Usinas	Potencia (kW)	Total (%)	
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	395	10.756.760	26,56	
		Biogás-AGR	3	1.822	0,00	
		Capim Elefante	3	65.700	0,16	
		Casca de Arroz	12	45.333	0,11	
	Biocombustíveis líquidos	Óleos vegetais (melaço)	2	4.350	0,01	
	Floresta	Carvão Vegetal	8	54.097	0,13	
		Gás de Alto Forno - Biomassa	10	114.265	0,28	
		Lenha Comercial	2	14.650	0,04	
		Licor Negro (lixívia)	17	2.261.136	5,58	
		Resíduos Florestais/Madeireiros	51	389.525	0,96	
	Resíduos animais	Biogás - RA	10	1.924	0,00	
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RSU	15	113.246	0,28	
	Fósseis	Carvão mineral	Carvão Mineral ¹	14	3.413.865	8,49
Gás de Alto Forno - CM			9	199.130	0,49	
Petróleo		Gás natural	Gás Natural ²	154	13.038.614	32,30
		Gás de Refinaria	Óleo Combustível	40	4.055.973	10,02
			Óleo Diesel	2148	4.671.483	11,54
			Outros Energéticos de Petróleo	17	955.928	2,36

¹ Este combustível gera energia por dois processos diferentes sendo: calor de processo (1 usina; 24.400 kW correspondendo a 0,06% da produção) e carvão mineral (13 usinas; 3.389.465 kW correspondendo a 8,34% da produção).

² Este combustível gera energia por dois processos diferentes sendo: calor de processo (1 usina; 40.000 kW correspondendo a 0,10% da produção) e gás natural (153 usinas; 12.998.614 kW correspondendo a 31,98% da produção).

Conforme apresentado na Tabela 1, os combustíveis de fontes não renováveis são os mais amplamente empregados, sendo o gás natural o principal combustível utilizado para geração de energia em UTE (31,98%), seguido do óleo diesel (11,49%), óleo combustível (9,98%) e carvão mineral (8,34%). No entanto combustíveis renováveis, como o bagaço de cana de açúcar, tem se demonstrado com uma alternativa sustentável e de potencial aplicação, correspondendo atualmente a 26,47% da energia gerada.

O levantamento a respeito dos parâmetros densidade, poder calorífico e fator de emissão de gases de efeito estufa (GEE) estão apresentados nas Tabelas 2-4, de acordo com o estado físico dos combustíveis levantados.

Tabela 2. Dados sobre a densidade, poder calorífico inferior (PCI) e fatores de emissão (FE CO₂, CH₄, N₂O) para os combustíveis sólidos.

Tipo de Combustível	PCI (kcal/kg)	FE CO ₂ (kg/TJ)	FE CH ₄ (kg/TJ)	FE N ₂ O (kg/TJ)
Carvão Mineral (Vapor 3100 kcal / kg)	2.950 ¹	94.600 ²	1 ³	1,5 ³
Carvão Mineral (Vapor 3300 kcal / kg)	3.100 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 3700 kcal / kg)	3.500 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 4200 kcal / kg)	4.000 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 4500 kcal / kg)	4.250 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 4700 kcal / kg)	4.450 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 5200 kcal / kg)	4.900 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 5900 kcal / kg)	5.600 ¹			
Carvão Mineral (Vapor 6000 kcal / kg)	5.700 ¹			
Carvão Mineral (vapor sem especificação)	2.850 ¹			
Carvão Vegetal	6.460 ¹	106.700 ²	200 ³	4 ³
Resíduos Florestais/ Madeireiros	*	112.000 ³	30 ³	
Bagaço de Cana de Açúcar	2.130 ¹	97.166 ²		
Casca de Arroz	*	100.000 ³		
Capim Elefante	*			
Lenha Comercial	3.100 ¹	105.967 ²		

*Dados ainda não encontrados; ¹Fonte: EPE, 2015; ²Fonte: MCT, 2010; ³Fonte: IPCC, 2006.

Tabela 3. Dados sobre a densidade, poder calorífico inferior (PCI) e fatores de emissão (FE CO₂, CH₄, N₂O) para os combustíveis líquidos.

Tipo de Combustível	PCI (kcal/kg)	Densidade (kg/m ³)	FE CO ₂ (kg/TJ)	FE CH ₄ (kg/TJ)	FE N ₂ O (kg/TJ)
Óleo Diesel Puro	10.100 ¹	840 ¹	74.100 ²	3 ³	0,6 ³
Óleo Combustível	9.590 ¹	1.000 ¹	77.400 ²		
Outros Energéticos de Petróleo	10.200 ¹	864 ¹	73.300 ²		
Licor Negro (lixívia)	2.860 ¹	1.090 ¹	95.300 ²		2 ³
Óleos Vegetais (melaço)	1.850 ¹	1.420 ¹	73.333 ²		0,6 ³

¹ Fonte: EPE, 2015; ²Fonte: MCT, 2010; ³Fonte: IPCC, 2006.

Tabela 4. Dados sobre a densidade, poder calorífico inferior (PCI) e fatores de emissão (FE CO₂, CH₄, N₂O) para os combustíveis gasosos.

Tipo de Combustível	PCI (kcal/kg)	Densidade (kg/m ³)	FE CO ₂ (kg/TJ)	FE CH ₄ (kg/TJ)	FE N ₂ O (kg/TJ)
Gás de Refinaria	8.400 ¹	0,780 ¹	57.600 ³	1 ³	0,1 ³
Gás de Alto Forno - CM	*		260.000 ³		
Gás Natural	8.800 ¹	0,740 ¹	56.100 ²		
Biogás-AGR	*		54.600 ³	1 ³	0,1 ³
Biogás - RSU					
Biogás - RA					

*Dados ainda não encontrados; ¹Fonte: EPE, 2015.; ²Fonte: MCT, 2010.; ³Fonte: IPCC, 2006;

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 2-4 e das equações apresentadas na metodologia os primeiros cálculos da ferramenta já foram implementados. As Figuras 1-3 apresentam uma versão preliminar da ferramenta para todos os combustíveis listados neste trabalho. A partir dos valores de poder calorífico inferior (PCI) tabelados e das informações sobre a quantidade de combustível consumido (Q_{Comb}) e eficiência do equipamento (η), fornecidas pelo usuário da ferramenta, obtém-se os dados de quantidade de energia potencialmente gerada por cada combustível (E_g) e/ou da quantidade total de energia gerada durante o processo (E_t). A ferramenta prevê ainda calcular a quantidade de combustível necessário/desejado a partir de E_g e/ou E_t fornecidas pelo usuário da ferramenta.

Tipo de Combustível	Q_{Comb} (kg)	E_g (kcal/kWh)	η	E_t (kcal/kWh)	E_{CO_2} (kg)	E_{CH_4} (kg)	E_{N_2O} (kg)	E_{CO_2e} (kg)	E_{CO_2e} Renováveis (kg)
Carvão Mineral (Vapor 3100 kcal / kg)	1.000	3.430	40	1.372	1.168	0,012	0,019	1.174	-
Carvão Mineral (Vapor 3300 kcal / kg)	1.000	3.605	40	1.442	1.227	0,013	0,019	1.233	-
Carvão Mineral (Vapor 3700 kcal / kg)	1.000	4.070	40	1.628	1.386	0,015	0,022	1.393	-
Carvão Mineral (Vapor 4200 kcal / kg)	1.000	4.651	40	1.860	1.584	0,017	0,025	1.592	-
Carvão Mineral (Vapor 4500 kcal / kg)	1.000	4.942	40	1.977	1.683	0,018	0,027	1.691	-
Carvão Mineral (Vapor 4700 kcal / kg)	1.000	5.174	40	2.070	1.762	0,019	0,028	1.771	-
Carvão Mineral (Vapor 5200 kcal / kg)	1.000	5.698	40	2.279	1.940	0,021	0,031	1.950	-
Carvão Mineral (Vapor 5900 kcal / kg)	1.000	6.512	40	2.605	2.218	0,023	0,035	2.229	-
Carvão Mineral (Vapor 6000 kcal / kg)	1.000	6.628	40	2.651	2.257	0,024	0,036	2.268	-
Carvão Mineral (vapor sem especificação)	1.000	3.314	40	1.326	1.128	0,012	0,018	1.134	-
Carvão Vegetal	1.000	7.512	40	3.005	-	5,409	0,108	167,473	2.885,9
Bagaço de Cana de Açúcar	1.000	2.477	40	991	-	0,268	0,036	17,319	866,5
Lenha Comercial	1.000	3.605	40	1.442	-	0,389	0,052	25,205	1.375,3

Figura 1. Versão preliminar da ferramenta que simula a energia e as emissões de gases de efeito estufa geradas por cada combustíveis sólido (os valores de Q_{Comb} e η apresentados são hipotéticos, somente para efeito de demonstração da funcionalidade da planilha).

Tipo de Combustível	Q _{Comb} (kg)	E _g (kcal/kWh)	η	E _t (kcal/kWh)	E _{CO2} (kg)	E _{CH4} (kg)	E _{N2O} (kg)	E _{CO2e} (kg)	E _{CO2e Renováveis} (kg)
Óleo Diesel Puro	1.000	11.744	40	4.698	2,6	0,000	0,000	2,64	-
Óleo Combustível	1.000	11.151	40	4.460	3,1	0,000	0,000	3,12	-
Outros Energéticos de Petróleo	1.000	11.860	40	4.744	3.130	0,128	0,026	3.141	-
Licor Negro (lixívia)	1000	3326	40	1330	-	0,036	0,024	8,035	1.141,1
Óleos Vegetais (melaço)	1000	2151	40	860	-	0,023	0,005	1,966	568,0

Figura 2. Versão preliminar da ferramenta que simula a energia e as emissões de gases de efeito estufa geradas por cada combustíveis líquidos (os valores de Q_{Comb} e η apresentados são hipotéticos, somente para efeito de demonstração da funcionalidade da planilha).

Tipo de Combustível	Q _{Comb} (kg)	E _g (kcal/kWh)	η	E _t (kcal/kWh)	E _{CO2} (kg)	E _{CH4} (kg)	E _{N2O} (kg)	E _{CO2e} (kg)	E _{CO2e Renováveis} (kg)
Gás de Refinaria	1.000	9767	40	3907	2.851,2	0,050	0,005	2.853,92	-
Gás Natural	1.000	10233	40	4093	2,1	0,000	0,000	2,06	-

Figura 3. Versão preliminar da ferramenta que simula a energia e as emissões de gases de efeito estufa geradas por cada combustíveis gasosos (os valores de Q_{Comb} e η apresentados são hipotéticos, somente para efeito de demonstração da funcionalidade da planilha).

6. Conclusão.

Conclui-se que alguns combustíveis renováveis possuem poder calorífico inferior (PCI) maior do que alguns combustíveis fósseis tendo, portanto, capacidade de produzir mais energia, com a vantagem de menor emissão de gases de efeito estufa (uma vez que suas emissões de CO₂ são renováveis). Conclui-se também que alguns combustíveis fósseis líquidos possuem maior PCI e menor emissão de GEE do que alguns fósseis sólidos, demonstrando potencialidade de substituições entre combustíveis fósseis. Desta forma a presente ferramenta será de extrema valia para comparações e definição do melhor combustível, dentro do cenário de substituição.

7. Referências Bibliográficas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Fontes de Energia. Atualizado diariamente. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em: 19 de setembro de 2016.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRASIL. Lei Ordinária nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União. Sessão 1 - 29/12/2009. Edição Extra ISSN 1677-7042, Página 109.

EPE - Empresa De Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional: Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014a.

EPE - Empresa De Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional: Ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015.

- EPE - Empresa De Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023. Brasília, 2014b.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Japan. 2006.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. New York: Cambridge University Press, 2007.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva, Switzerland, 2014.
- MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 2010. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215070.pdf. Acesso em: 19 de setembro de 2016.
- MEEHL, G.A.; STOCKER, T.F.; COLLINS, W.D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAYE, A.T.; GREGORY, J.M.; KITO, A.; KNUTTI, R.; MURPHY, J.M.; NODA, A.; RAPER, S.C.B.; WATTERSON, I.G.; WEAVER, A.J.; ZHAO, Z.C. Global Climate Projections. New York: Cambridge University Press. 2007.
- MENDONÇA, M.J.C.; GUTIEREZ, M.B.S. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Texto para Discussão nº 719. Rio de Janeiro, 2000.
- MME - Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional de 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default.aspx?anoColeta=2015>. Acesso em: 19 de setembro de 2016.
- RIBEIRO, W.C. A Ordem Ambiental Internacional. 1. Ed. São Paulo: Contexto, 2001.
- SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil 1990- 2012. São Paulo, 2015.
- STONE, D.; AUFFHAMMER, M.; CAREY, M.; HANSEN, G.; HUGGEL, C.; CRAMER, W.; LOBELL, D.; MOLAU, U.; SOLOW, A.; TIBIG, L.; YOHE, G. 2013. The challenge to detect and attribute effects of climate change on human and natural systems. *Climatic Change*, 121, 381–395.
- THORNTON, P.K.; ERICKSEN, P.J.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A.J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*, 20, 3313–3328.
- UNITED NATIONS. Doha Amendment to the Kyoto Protocol. Doha, 2012. Disponível em: <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2012/CN.718.2012-Eng.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2016.
- 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: 16 de setembro de 2016.
- UNITED NATIONS. Status of Ratification of the Kyoto Protocol, 2014. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php. Acesso em: 16 de setembro de 2016.
- UNITED NATIONS. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 1992. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2016.
- WMO - World Meteorological Organization. Declaration of the World Climate Conference. Geneva, 1979.