

**PROPOSTA DE UM MODELO DE CORRELAÇÃO ENTRE OS
FATORES DE EMISSÃO DO SISTEMA INTERLIGADO
NACIONAL (SIN) E A GERAÇÃO TERMELÉTRICA NO BRASIL
ENTRE 2000 E 2015**

Nathália Duarte Braz Vieira
Ivan Felipe Silva dos Santos
Jamil Haddad
Luiz Augusto Horta Nogueira

Universidade Federal de Itajubá

RESUMO

Atualmente no Brasil, o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) é a principal fonte de informações sobre os fatores de emissões relacionados à geração de eletricidade no país. Apesar de seu importante trabalho, estes dados estão disponibilizados somente a partir de 2006, inviabilizando sua utilização para projetos anteriores a esta data. Deste modo, o presente estudo visa estabelecer uma correlação este parâmetro e geração termelétrica no país, de modo a se obter um modelo que auxilie no cálculo das emissões associadas à geração de eletricidade em períodos anteriores, a partir da regressão linear dos dados. Desse modo, foi obtida uma curva de melhor ajuste de R^2 de 0,9858, aplicável para anos em que a geração termelétrica é de até 15,0%. Atribui-se a este fato as mudanças no mix de combustíveis da matriz nos últimos anos, que modificaram o perfil das emissões, constatação que deve ser investigada com maior profundidade em estudos futuros.

Palavras-chave: fatores de emissão, geração termelétrica, SIN, correlação.

ABSTRACT

Nowadays in Brazil, the Ministry of Science and Technology (MCT) is the main source of information on the emissions factors related to the electricity generation in country. Despite its important work, these data are available only from 2006, making it unfeasible for projects before that date. So this study aims to establish a correlation between this parameter and thermal generation in the country, in order to obtain a model that helps the calculation of emissions associated with electricity generation in prior periods, from linear regression of the data. Thus, was obtained a best-fit curve with R^2 of 0.9858, applicable for years that thermal generation is up to 15.0%. This fact is attributed to the changes

in the matrix fuel mix in recent years that have affected the profile of emissions, which should be investigated deeply in future studies.

Keywords: emission factors, thermoelectric generation, SIN, correlation.

1. INTRODUÇÃO

Há algumas décadas, as emissões do setor energético brasileiro não eram muito significativas dadas às características predominantemente hidrelétricas do parque gerador de energia. Mas, a partir da década de 1970, com o aumento da demanda de energia no país, foi necessária a entrada de termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e gás natural, e com isso as emissões de CO₂ no setor se tornaram mais intensas (GARCIA, 2009; GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

Desde então, as emissões do setor energético brasileiro têm crescido significativamente. Em 2014, o setor de energia foi responsável pela emissão de 479,14 milhões de toneladas brutas de CO₂, alta de 43% em relação as 335,7 milhões de toneladas em 2006, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹ (2015), englobando as atividades de exploração e extração de fontes primárias de energia; conversão de fontes primárias em fontes secundárias; e consumo final de energia em aplicações móveis ou estacionárias. Com isso, a participação da energia nas emissões totais foi de aproximadamente um terço (30,7%), contra 16,2% em 2006.

Desde 2006, o Ministério de Ciência e Tecnologia publica os fatores de emissão calculados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para os quatro submercados do SIN (Norte, Nordeste, Sudeste/Centro-Oeste e Sul), de acordo com os registros de geração das usinas despachadas de forma central pelo ONS, especialmente as usinas termoeletricas.

A significativa participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira confere ao Brasil uma produção energética com baixo nível de emissões em relação a outros países, conforme a Tabela 1. Considerando apenas as emissões associadas ao CO₂, o fator de emissão brasileiro é aproximadamente 6,73 vezes menor que a média mundial.

1 O SEEG é uma iniciativa da organização não governamental Observatório do Clima, com o objetivo de fornecer estimativas anuais das emissões brasileiras de gases de efeito estufa, segundo as diretrizes do IPCC e com base nos inventários nacionais publicados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI), relatórios governamentais, institutos e centros de pesquisa. A iniciativa foi criada de modo a cobrir a defasagem entre a publicação dos inventários nacionais (média de 3 anos), cujo período coberto demora a captar a evolução das emissões, fornecendo dados atualizados.

País/ Região Geográfica	Emissões por kWh de eletricidade gerada	Emissões associadas a perdas de T&D por kWh de eletricidade consumida	Emissão por kWh de eletricidade consumida	Participação de renováveis na matriz elétrica	
	kgCO ₂ /kWh ¹	kgCO ₂ /kWh ¹	kgCO ₂ /kWh ¹	% (2011)	% (2014)
Brasil	0,0926	0,0173	0,1099	87,1	73,4
EUA	0,5471	0,0396	0,5867	13,0	13,7
China	0,9726	0,1032	1,0758	17,3	22,9
Índia	1,3332	0,4676	1,8008	17,4	16,2
Rússia	0,5132	0,0495	0,5626	16,2	17,6
UK	0,5085	0,0399	0,5484	10,7	20,1
Noruega	0,0022	0,0002	0,0025	96,6	98,0
Alemanha	0,6722	0,0424	0,7146	22,2	28,3
Espanha	0,3429	0,0264	0,3692	33,7	41,8
Mundo	0,6235	0,0662	0,6897	20,1	22,9

¹ Não contempla as emissões equivalentes de CH₄ e N₂O. Dados calculados com base em IEA (2010) para 2011.

Fonte: Adaptado de Ecometrica (2011) e Enerdata (2015)

Entretanto, a análise histórica dos fatores de emissão do SIN sugere uma tendência de crescimento nas emissões (Figura 1). A análise apresentada indica que, desde agosto de 2012, as emissões do SIN superaram a média histórica de 0,43 tCO₂e/MWh, com variações pouco expressivas entre os períodos seco e úmido.



Figura 1 - Histórico da evolução dos fatores de emissão do SIN (2006-2015) – Método análise de despacho. Fonte: Elaboração a partir dos fatores publicados por MCTI (2016)

Apesar deste aumento ser fortemente associado à crise hídrica, diferentes autores argumentam que este é um reflexo das modificações na política energética brasileira, que se apoiam numa visão de expansão hidrotérmica (Almeida et. al, 2001). A análise da Figura 2 evidencia que a carga de energia no país vem crescendo progressivamente, enquanto a energia armazenada máxima nos reservatórios das hidroelétricas se mantém praticamente constante (CURSINO, 2015).

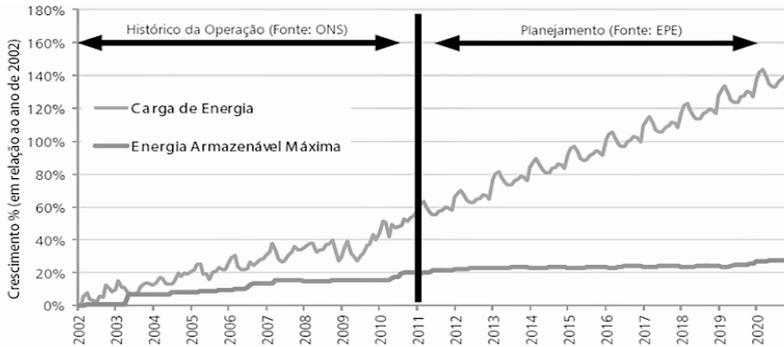


Figura 2 - Análise histórica da carga de energia do sistema e da energia armazenável máxima nos reservatórios. Fonte: Cursino (2015)

A Figura 1 exprime ainda informações importantes: em novembro de 2010, o fator de emissão atingiu o valor máximo de 0,73 tCO₂e/MWh. Este cenário pode ser relacionado a retomada do crescimento econômico no país após a crise de 2009, impulsionada fortemente pelo incremento de 10,6% do consumo industrial, e melhoria de renda e oferta de crédito que impulsionaram o consumo nos setores residencial e comercial (EPE, 2011). Conseqüentemente, houve um incremento na geração térmica no período (Figura 3).



Figura 3 - Histórico da geração termelétrica convencional no SIN de 2000-2015. Fonte: Elaborado a partir de dados do ONS (2016)

A análise dos fatores de emissão permite observar a estreita relação causa-efeito entre as políticas energéticas e ambientais brasileiras. Os dados acima mostram que, a crescente geração térmica e o estímulo ao consumo, consequentes das estratégias energéticas adotadas politicamente, são um alerta ao país, que assumiu metas de redução de emissões em 43,0% até 2030 durante a COP-21 (BRASIL, 2015). Diante dos fatos, faz-se necessário um alinhamento entre as políticas estabelecidas.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho busca analisar os fatores de emissão sob a perspectiva da geração termelétrica, de forma a entender a influência desta nas emissões de GEE do setor energético brasileiro por meio de uma correlação matemática entre as variáveis.

3. METODOLOGIA

Para esta análise, foram levantados os valores percentuais da participação relativa de termelétricas na geração de energia no Brasil, do período de 2000 a 2015, segundo o ONS (2016); e os valores mensais dos fatores de emissão da margem de operação do SIN, entre 2006 e 2015, segundo o MCTI (2016). Os dados adquiridos foram plotados em um gráfico bidimensional no software Microsoft Excel® e as curvas de melhor ajuste a estes dados, ou seja, que apresentaram melhor coeficiente de correlação R^2 , foram escolhidas para as análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de fator de emissão obtidos pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) foram correlacionados com o percentual de energia térmica na matriz elétrica do Sistema Interligado Brasileiro (SIN) (Figura 4).

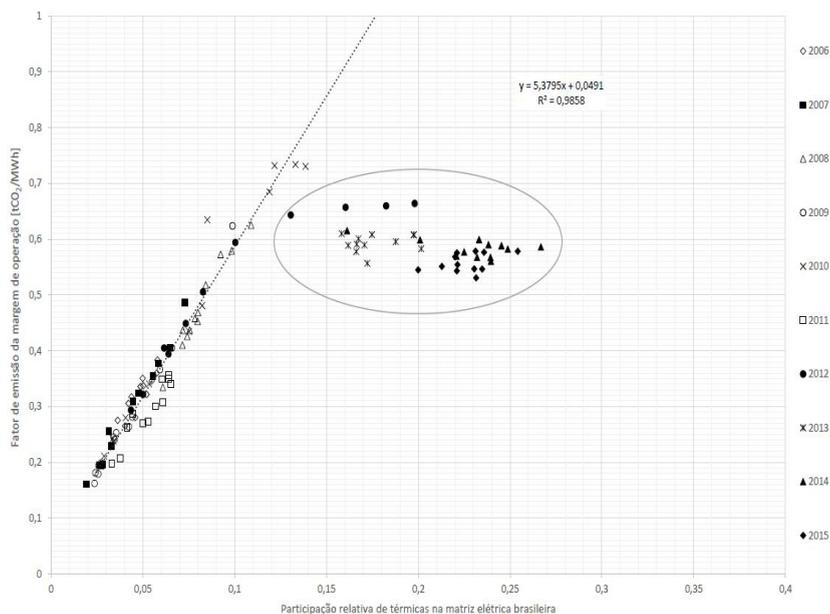


Figura 4 - Correlação entre participação das térmicas e fator de emissão

A análise dos fatores de emissão permite observar a estreita relação causa-efeito entre a participação da geração térmica e aumento das emissões no SIN. Os dados apresentados na Figura 4 mostram uma correlação direta e linear do índice de participação de térmicas na matriz Brasileira com o fator de emissão Nacional.

Observa-se ainda que a partir de 2012, os fatores de emissão não seguem a tendência de crescimento observada para os outros anos, estacionando em valores que variaram entre 0,5 e 0,6 [tCO₂/MWh] independente do crescimento da geração térmica, invalidando a correlação encontrada para períodos onde a participação relativa de térmicas é maior que 15,0%. Esta situação pode ser decorrente da mudança do mix energético e expansão da participação do gás natural na geração termelétrica, como se pode observar na Figura 5. Como este combustível possui menor fator de emissão, a entrada do gás natural diminui o fator de emissão global do sistema, mantendo o fator de emissão constante, mesmo com a crescente geração térmica.

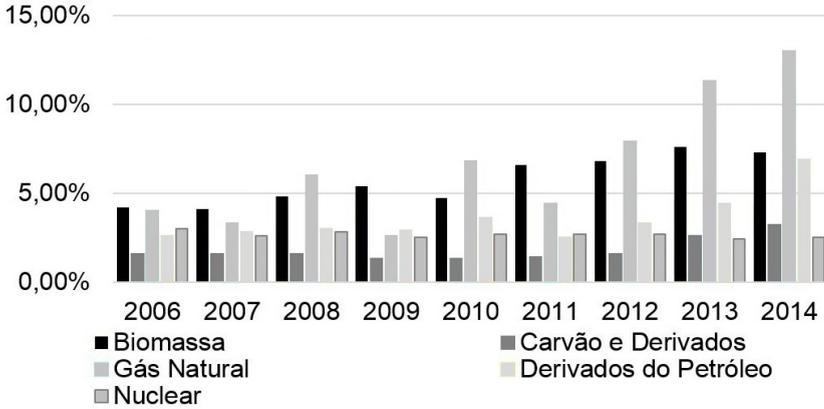


Figura 5 - Mix de combustíveis na oferta interna de energia elétrica
Fonte: EPE (2015)

A correlação estabelecida foi utilizada ainda para se estimar os fatores de emissão no período de 2000 a 2005, período no qual ainda não estavam disponíveis os dados de fatores de emissão do MCT. Neste período, a participação média de termelétricas foi de 5,04% (inferior a 15%). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de emissão calculados via regressão linear para o período de 2000-2005

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2000	0,312	0,309	0,275	0,244	0,287	0,313	0,287	0,286	0,232	0,213	0,255	0,301
2001	0,293	0,295	0,314	0,329	0,379	0,413	0,368	0,424	0,431	0,382	0,448	0,430
2002	0,427	0,363	0,380	0,347	0,350	0,330	0,313	0,312	0,316	0,274	0,229	0,224
2003	0,237	0,247	0,229	0,247	0,239	0,289	0,279	0,279	0,247	0,303	0,348	0,348
2004	0,398	0,335	0,325	0,366	0,332	0,353	0,311	0,329	0,377	0,397	0,344	0,336
2005	0,333	0,295	0,352	0,324	0,304	0,275	0,307	0,319	0,300	0,334	0,372	0,356

5. CONCLUSÕES

O presente artigo buscou construir relações entre os valores de fator de emissão e a participação à geração de térmicas no Brasil. A regressão construída apresentou alto coeficiente de correlação demonstrando a preponderância do índice de energia térmica na elevação do fator de emissão da matriz elétrica nacional.

A correlação estabelecida se torna útil, pois possibilita a estimativa do fator de emissão a qualquer instante somente com base no percentual de energia térmica, possibilitando aplicações como o cálculo do fator de emissão em períodos em que não se disponha dados oficiais do MCT.

Do ano de 2012 adiante percebe-se uma mudança na tendência da relação estabelecida, sendo observada uma estabilização dos fatores de emissão mesmo com o aumento do teor de térmicas. As razões para tal estabilização são desconhecidas pelos autores que somente podem levantar hipóteses como, por exemplo, a elevação do consumo de gás natural nas térmicas do país. A investigação mais profunda da causa da estabilização destes fatores de emissão permanece como sugestão para trabalhos futuros.

As discussões do presente trabalho deixam clara a necessidade de uma política de diminuição do índice de térmicas ou a construção de usinas termelétricas mais eficientes a fim de que se possam diminuir as emissões nacionais. A política de substituição de combustíveis, por exemplo, já se mostra como uma possível solução, visto que desde a expansão do uso do gás natural, os fatores de emissão se estabilizaram, indicando que os fatores de emissão poderiam ser ainda maiores na ausência deste combustível.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio à participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E. L. "The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil". *Energy*, nº 26, p. 413-429, 2001.

BRASIL, Intended Nationally Determined Contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2015. Disponível em <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>. Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

CURSINO, A. Emissões de CO2 pela geração de eletricidade no brasil superam em 2014 a previsão do governo para o ano de 2030. Blog da Mitsidi Projetos, São Paulo, 02 de abril de 2015. Disponível em: <<http://www.mitsidi.com/emissoes-de-co2-pela-geracao-de-eletricidade-no-brasil-superam-em-2014-a-previsao-da-epe-para-o-ano-de-2030/?lang=pt-br>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

GARCIA, R. R. A. Projeção das emissões de dióxido de carbono (CO2) da matriz energética do estado de Minas Gerais – 2005-2030. Itajubá, 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá.

GOLDEMBERG, J., LUCON, O. “Energia e meio ambiente no Brasil”. Estudos Avançados, nº 21 (59), p. 7-20, 2007.

ECOMETRICA. Electricity-specific emission factors for grid electricity, 2011.

ENERDATA, Global Energy Statistical Yearbook 2015, 2015. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

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

_____. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, Ano IV, nº 40, Janeiro de 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

MCTI, Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação. Fatores de Emissão de CO2 de acordo com a ferramenta metodológica: “Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versão 04.0 e anteriores” aprovada pelo Conselho Executivo do MDL. MCT, 2016.

ONS, Operador Nacional do Sistema. Histórico da Operação – Geração de energia. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx> Acesso em janeiro de 2016.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Nota metodológica – Setor de Energia. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2015.

