

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE EMISSÕES DE CO₂ DO PARQUE
GERADOR TERMELÉTRICO DO SISTEMA ELÉTRICO
ISOLADO DA CIDADE DE MANAUS (AM) NO PERÍODO DE
2006 A 2012**

Leonardo Caldas Rocha

Whylker Moreira Frota

Willamy Moreira Frota

RESUMO

Uma das consequências provocadas pelo uso da energia é o efeito estufa, que pode ser observado pelo acréscimo contínuo da temperatura média da Terra, em consequência do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como o dióxido de carbono (CO₂). A queima de combustível fóssil para a geração de energia é uma contribuição para o aumento de emissão de CO₂ e de gases que atuam sobre a poluição da atmosfera e efeito estufa. Este artigo apresenta os resultados de análise e quantificação dos níveis de emissões de CO₂ provenientes da geração termelétrica em Manaus durante o período de 2006 a 2012, segundo os dados dos agentes do setor elétrico brasileiro e aplicação da metodologia ACM0011, aprovada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Os resultados encontrados indicam um aumento das emissões de CO₂, que, em 2012 foi da ordem de 2,2 tCO₂ ano/hab, somente com a geração de energia termelétrica na cidade de Manaus, o que representa um índice superior a dez vezes a média brasileira registrada em 2012.

Palavras-chave: Cidade de Manaus (AM), Sistema Elétrico Isolado, Geração Termelétrica, Emissões de CO₂.

ABSTRACT

One of the consequences caused by the use of energy is the greenhouse effect, which can be defined as the continuous increase in average temperature of Earth, as a result of increased atmospheric concentration of some gases such as carbon dioxide (CO₂). The burning fossil fuels for power generation is a contribution to the increase of CO₂ emissions and gases that act on air pollution and greenhouse gases. This paper presents the results of analysis and quantification of levels the CO₂ emissions from thermal generation in Manaus in for the period from 2006 to 2012, based on the methodology ACM0011, approved by the Panel on Climate Change - IPCC. The results indicate an evolution of CO₂ emissions in the period prescribed analyzed, which in 2012 had a high rate of issuance of the order of 2.2 tCO₂ year/inhabitant, only to thermoelectric

power generation in the city of Manaus (AM), the representing a rate of more than ten times the Brazilian average recorded in 2012.

Keywords: ICity of Manaus (AM), Isolated Electrical System, Thermal Generation, CO2 Emissions.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de energia elétrica da cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, era atendido até o mês de junho de 2014 por um sistema elétrico completamente isolado da rede básica nacional que contemplava os demais sistemas elétricos do Brasil, sendo altamente dependente de combustíveis líquidos derivados de petróleo no processo de geração de energia elétrica. Esta realidade era diferente dos demais sistemas elétricos brasileiros, que ainda são atendidos por uma matriz elétrica com uma contribuição da ordem de 70% de geração de energia de origem hídrica, conforme informativos diários de operação do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Os Sistemas Elétricos Isolados Brasileiros são caracterizados por não se encontrarem interligados eletricamente ao Sistema Interligado Nacional – SIN. Estes sistemas são predominantemente térmicos e representavam, até o ano de 2010, cerca de 2,3% da carga total de energia elétrica do país, de acordo com o Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolado para 2012 do Grupo Técnico Operacional da Região Norte – GTON/Eletobras. Contudo, esse percentual reduziu-se para cerca de 2% após a efetivação da interligação do Sistema Porto Velho e Sistema Rio Branco ao SIN, em outubro de 2009, através de uma linha de transmissão em 230 kV. Esses sistemas estão distribuídos em uma área correspondente a aproximadamente 45% do território nacional, majoritariamente dispersos na Região Norte.

O sistema de energia elétrica da cidade de Manaus, estado do Amazonas, ainda não está plenamente interligado; sendo atendido, atualmente, por várias usinas termelétricas, e apenas uma usina hidrelétrica: a usina de Balbina, com capacidade instalada de 250 MW, localizada no município de Presidente Figueiredo. No entanto, este quadro de isolamento elétrico foi parcialmente modificado a partir de junho de 2014 com a energização da linha de transmissão Tucuruí – Manaus, em 500 kV, mas está operando com capacidade de transmissão limitada em função do andamento das obras no sistema de distribuição sob responsabilidade da concessionária Amazonas Energia.

O Sistema Manaus era, até o ano de 2012, o maior dentre os Sistemas Elétricos Isolados Brasileiros, representando cerca de 60% do total do mercado de energia elétrica desses sistemas, atendido pela concessionária Amazonas Distribuidora de Energia que é uma empresa do grupo Eletobras. Possuía uma disponibilidade efetiva de gera-

ção, incluindo o parque térmico próprio e o parque térmico independente, acima de 1.200 MW e adicionalmente, 250 MW provenientes da usina hidrelétrica de Balbina. Assim, considerando que, historicamente, aproximadamente 85% da geração de energia elétrica na cidade de Manaus era de origem térmica, a evolução dos níveis de emissão de dióxido de carbono desse processo de geração se torna objeto de atenção constante na análise da questão ambiental da matriz elétrica do estado do Amazonas.

2. EMISSÃO DE POLUENTES POR TERMELÉTRICAS

Segundo Villela e Silveira (2007), pode-se dizer que a combustão do óleo combustível, carvão e gás natural em centrais termelétricas para a produção de energia elétrica é considerada uma grande fonte de emissão de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂), óxido nitroso (NO_x) e material particulado (MP), os quais estão diretamente relacionados com a qualidade do ar e o tipo de combustível utilizado.

Em relação às emissões provenientes da geração elétrica por combustível fóssil, um levantamento realizado em 2012 e divulgado em 2014, pela Agência Internacional de Energia – IEA mostra que o Brasil apresenta um dos mais baixos índices de emissão de CO₂, sendo da ordem de 54,2 milhões de toneladas, comparado ao índice mundial que foi da ordem de 13.346,7 milhões de toneladas. Isto se deve ao fato do Brasil possuir uma matriz elétrica com predominância de geração elétrica de origem hídrica.

O Balanço Energético Nacional 2014 indica que neste ano as emissões na geração termelétrica, no montante de 79,8 milhões tCO₂, responderam por 16% das emissões totais do Brasil devidas ao uso de energia. Esse indicador, em 2010, era de apenas 9%. De fato, o período de seca que vem ocorrendo desde 2012 tem aumentado a geração por termelétricas a combustíveis fósseis, razão do aumento das emissões em relação aos demais setores, tais como: transporte (31%) e indústria (9%).

Em termos globais de emissões pelo uso de energia, o Brasil emite 1,59 tCO₂ por tep de energia consumida. Este indicador é 32% inferior ao indicador mundial, de 2,34 tCO₂/tep, em razão da matriz energética brasileira ter 40% de renováveis. No mundo as renováveis não chegam a 14% de participação.

3. METODOLOGIA

As premissas consideradas na elaboração do trabalho contemplam a energia gerada pelo parque térmico do Sistema Manaus e os equivalentes níveis de emissões para o período estudado.

Para o cálculo dos níveis de emissões estimadas para a capital de Manaus, no período de 2006 a 2012, foram utilizados os dados de geração de energia elétrica dos relatórios do Programa Mensal de Operação dos Sistemas Isolados da empresa Eletrobras, os tipos de combustíveis derivados de petróleo consumidos nesse período pelas unidades geradoras das usinas termelétricas do parque térmico de Manaus; bem como, a utilização da metodologia ACM0011 – “Metodologia de linha de base consolidada para a substituição de combustível a partir do carvão e / ou combustíveis derivados do petróleo para gás natural em usinas já existentes para geração de eletricidade”, cuja ferramenta de cálculo aplicada foi a “Ferramenta para o cálculo do projeto ou fuga das emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis” (IPCC, 2008).

Os fatores de emissão calculados para as usinas térmicas da capital Manaus são determinados a partir de duas equações básicas da metodologia ACM0011, quais sejam:

$$PE_{FC,j,y} = \sum FC_{i,j,y} \cdot COEF_{i,y} \quad (1)$$

$$COEF_{i,y} = NCV_{i,y} \cdot EF_{CO2i,y} \quad (2)$$

$PE_{FC,j,y}$: Emissões de CO₂ por combustíveis fósseis no processo de combustão j durante o ano y (*tCO₂/Ano*);

$FC_{i,j,y}$: Quantidade de combustível i no processo j durante o ano y (*unidade de massa/ano*);

$COEF_{i,y}$: Coeficiente de emissão de CO₂ por tipo de combustível i no ano y (*tCO₂/massa ou unidade de volume*)

$NCV_{i,y}$: É a média ponderada do poder calorífico do combustível tipo i no ano y (*GJ/massa ou unidade de volume*)

4. RESULTADOS

Considerando os valores das variáveis de entrada definidas nos documentos técnicos do IPCC (IPCC, 2006), bem como os dados dos combustíveis utilizados para a geração de energia elétrica (ELETROBRAS, 2011), obtemos o coeficiente de emissão dos combustíveis utilizados no parque térmico de Manaus, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de emissão dos combustíveis utilizados nas usinas termelétricas do Sistema Manaus

| Tipos de Combustíveis Utilizados | NCV Poder Calorífico em TJ/1000 ton | EF Fator de Emissão em KgCO ₂ /TJ | COEF Coeficiente de Emissão do Combustível em tCO ₂ /ton |
|----------------------------------|---|--|--|
| Diesel e OCTE | 43,33 | 74.100,00 | 3,211 |
| PGE e OCA1 | 40,19 | 77.400,00 | 3,111 |
| Gás Natural | 38,69 | 56.100,00 | 2,170 |

Aplicando os dados consolidados dos Relatórios de Acompanhamento de Operação dos Sistemas Isolados (ELETROBRAS, 2011), para o período de 2006 a 2012, nas variáveis de entrada nas equações 1 e 2, obtemos os valores mensais de emissões para o período estudado, conforme mostrado na Tabela 2 (elaboração própria).

Tabela 2 – Emissões mensais em tCO₂ das usinas térmicas em Manaus no período de 2006 a 2012

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Jan | 210.370,1 | 224.480,3 | 234.982,9 | 225.614,9 | 357.730,6 | 310.682,1 | 301.712,9 |
| Fev | 193.892,1 | 224.599,9 | 218.950,9 | 201.283,3 | 330.177,3 | 274.035,3 | 277.245,8 |
| Mar | 239.475,1 | 274.727,7 | 226.051,7 | 237.690,2 | 426.946,5 | 307.875,2 | 300.443,0 |
| Abr | 235.946,9 | 259.036,3 | 217.234,2 | 235.574,0 | 361.126,2 | 297.696,7 | 311.588,3 |
| Mai | 259.273,3 | 268.952,8 | 221.116,2 | 243.676,3 | 372.120,2 | 309.940,3 | 327.840,2 |
| Jun | 235.838,0 | 254.300,7 | 219.154,7 | 235.630,7 | 364.987,3 | 328.381,0 | 331.708,8 |
| Jul | 259.827,4 | 276.494,2 | 259.802,0 | 271.834,7 | 362.184,0 | 370.339,5 | 363.125,9 |
| Ago | 279.591,2 | 283.938,2 | 294.538,1 | 330.877,7 | 397.805,2 | 395.435,2 | 390.505,2 |
| Set | 270.094,5 | 276.020,4 | 297.188,7 | 356.016,5 | 426.362,7 | 373.809,8 | 367.921,8 |
| Out | 292.239,3 | 296.429,7 | 299.525,6 | 370.861,9 | 416.223,6 | 373.441,8 | 395.306,7 |
| Nov | 256.065,4 | 278.321,5 | 272.711,0 | 374.711,5 | 382.937,0 | 364.574,3 | 395.561,0 |
| Dez | 219.499,4 | 237.944,2 | 249.374,7 | 330.969,0 | 342.668,2 | 358.417,4 | 335.085,8 |
| Total | 2.951.586,7 | 3.155.246,4 | 3.010.631,3 | 3.414.741,1 | 4.541.269,3 | 4.064.629,1 | 4.113.333,5 |

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos, foi elaborada o Gráfico 1 que apresenta a evolução mensal das emissões de CO₂ (em toneladas de CO₂) para cada ano do período considerado no estudo.

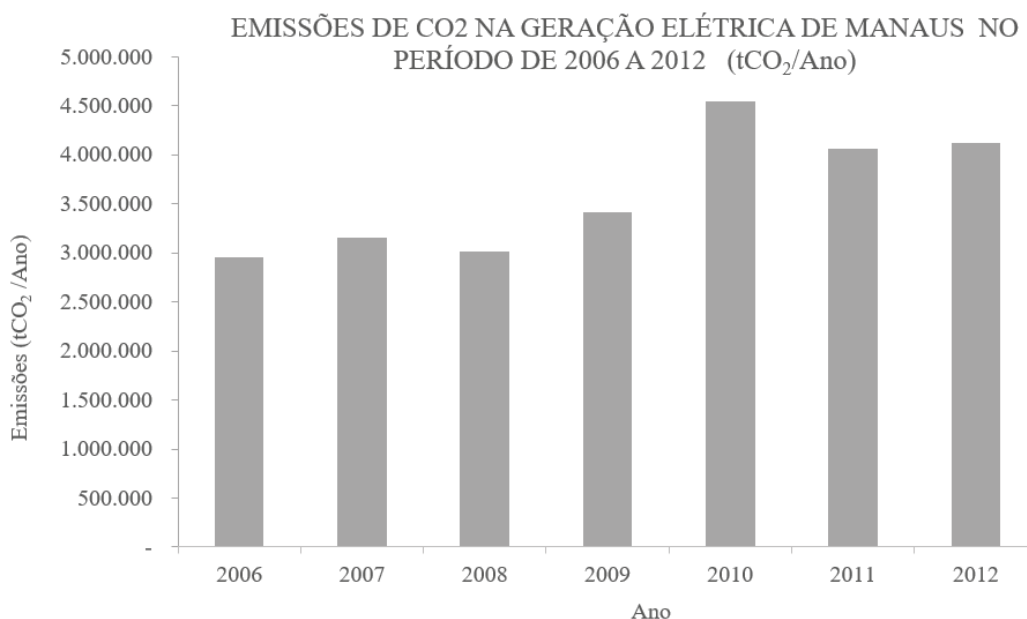


Gráfico 1 - Emissões de CO₂ decorrentes das usinas térmicas em Manaus de 2006 a 2012.

Ao analisar o comportamento da evolução do total de emissões de CO₂ do Gráfico 1, observa-se que a média anual de emissões de CO₂ em Manaus oriunda da queima de combustíveis fósseis para a geração termelétrica no período de 2006 a 2012 é de aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono emitidos para uma população de aproximadamente 1.861.838 habitantes na cidade de Manaus em 2012. As emissões anuais per capita de CO₂ seriam respectivamente da ordem de 1,98 tCO₂ ano/hab, ou seja, cada cidadão manauara emitiria, por ano, aproximadamente duas toneladas de CO₂ em função da geração de eletricidade, sendo igual a média mundial para o ano de 2012 que foi da ordem de 1,9 tCO₂ ano/hab, e sete vezes maior que o índice médio do Brasil registrado no ano de 2012, sendo da ordem de 0,27 tCO₂ ano/hab.

Observamos um aumento significativo de aproximadamente 36% das emissões mensais médias entre os anos de 2009 e 2010, devido, principalmente ao aumento do consumo do setor industrial (Polo Industrial de Manaus - PIM), que concentra mais de 500 indústrias e representa aproximadamente 45% da estrutura do consumo do mercado de energia elétrica da cidade de Manaus. No entanto, observamos também uma diminuição de aproximadamente 10% entre os anos de 2010 e 2011, devido a inserção do gás natural na matriz elétrica do parque gerador de Manaus.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados de geração de energia elétrica do Parque Termelétrico de Manaus, observa-se que no ano de 2012, para uma população na cidade de Manaus de 1.861.838 habitantes, segundo dados do IBGE (2010), e um total anual de emissões de aproximadamente 4,1 milhões de toneladas de CO₂, o índice de emissões é de 2,2 tCO₂ ano/hab. Comparando os índices de emissões por habitantes no período de 2006 e 2012, verifica-se que as emissões provenientes da geração termelétrica, por habitante, em Manaus, apresentaram um aumento superior a 20% ao longo desse período.

Nesse contexto, duas ações estruturantes e complementares foram projetadas para o Sistema Elétrico de Manaus, quais sejam: (1) O processo de substituição da matriz energética de combustíveis derivados de petróleo para gás natural proveniente da bacia do Rio Solimões, através do gasoduto Coari-Manaus com 680 km de extensão, da Província Petrolífera de Urucu, município de Coari (AM) até a cidade de Manaus, que contribuiu fortemente para a redução nos índices de emissões de CO₂, cujo impacto pode ser verificado a partir de 2011, tendo em vista o início da utilização desse energético para a geração de energia elétrica no Parque Térmico de Manaus, conforme pode ser observado na Tabela 2, e (2) A interligação do Sistema Manaus ao SIN, através da linha de transmissão Tucuruí – Manaus, em 500 kV, com previsão de operação plena para 2017, com uma capacidade de transmissão da ordem de 1.200 MW para atender ao mercado de energia elétrica da cidade de Manaus e alguns municípios do estado do Amazonas.

Contudo, diante de um cenário nacional de grandes investimentos em novas usinas termelétricas para os próximos dez anos, segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2014/2023, e considerando as questões ambientais e que a expansão de fontes renováveis de energia não consegue reduzir o consumo de combustíveis fósseis, num cenário de curto e médio prazo, faz-se necessário a quantificação e análises contínuas dos níveis de emissões provenientes da geração de energia térmica, para subsidiar ações de mitigação e controle, visando à redução das emissões de CO₂ e contribuição para os agentes do planejamento do setor elétrico brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARKER, D. J. et al. CO₂ Capture in the Cement Industry, *Energy Procedia*, v.1, p. 87-94, 2009.

AMAZONAS ENERGIA (2009), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. Relatório de Administração 2008, Manaus.

AMAZONAS ENERGIA (2010), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. Relatório de Administração 2009, Manaus.

AMAZONAS ENERGIA (2011), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. Relatório de Administração 2010, Manaus.

AMAZONAS ENERGIA (2012), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. Relatório de Administração 2011, Manaus.

AMAZONAS ENERGIA (2013), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. Relatório de Administração 2012, Manaus.

CENTER FOR GLOBAL DEVELOPMENT. The Carbon Monitoring for Action – CARMA. Disponível em: <<http://www.cgdev.org/content/article/detail/16578/>>. Acesso em: 26 dezembro 2010.

ELETROBRAS: Grupo Técnico Operacional da Região Norte - GTON. Programa Mensal de Operação dos Sistemas Isolados. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMISB-4C86407PTB NN.htm>>. Acesso em: 19 maio 2011.

ELETROBRAS: Grupo Técnico Operacional da Região Norte – GTON. Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2012. Disponível em <http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMISB4C86407P-TBRIE.htm#Planos de Operação>. Acesso em: 15 agosto 2015.

EPE (2011). Empresa de Pesquisa Energética. In: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2010/2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 19 janeiro 2011.

IBGE. Estimativas Populacionais 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Geneva, 2008. 210 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 2: Energía .Japon, 2006. 247 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>. Acesso em: 14 agosto 2015.

MESA (2007). Manaus Energia S.A. Relatório de Administração 2006, Manaus.

MESA (2008). Manaus Energia S.A. Relatório de Administração 2007, Manaus.

VILLELA, I. A. C., SILVEIRA, J. L; Ecological efficiency in thermoelectric Power plants. Applied Thermal Engineering. 2007.

