



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA - 19  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XI  
GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA POR USINAS TERMELÉTRICAS**

**GRUPO DE TRABALHO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – GT-MC**

**Rodrigo C. C. de Oliveira \* Alessandro Barcellos Vladimir F. P. e Silva Flavia Emilia C. de Farias  
André C. P. Cimpleris**

**FURNAS**

**CGTEE**

**CEAM/MANAUS ENERGIA**

**CHESF**

**RESUMO**

Este trabalho analisa as emissões anuais, no período de 1998 a 2002, de gases do efeito estufa - GEE das usinas termelétricas pertencentes às empresas participantes do Grupo de Trabalho de Mudanças Climáticas – GT-MC, o qual integra o Comitê de Meio Ambiente do Grupo Eletrobrás - COMAGE.

Para a determinação dos GEE emitidos foram considerados os consumos dos combustíveis (óleo combustível - OC, óleo diesel – OD, carvão mineral - CM e gás natural - GN), assim como o teor de carbono dos mesmos, conforme metodologia estabelecida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC. Esses valores foram comparados à geração anual de energia das usinas do grupo.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Efeito Estufa, Termelétrica, emissão, gases.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Reduzir as emissões de gases de efeito estufa - GEE, cujo principal componente é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), constitui-se hoje em uma das grandes preocupações mundiais. Nos últimos 140 anos, as emissões antrópicas de CO<sub>2</sub>, particularmente aquelas originadas do uso de combustíveis fósseis, têm contribuído substancialmente para o aumento da temperatura do planeta, causando eventos climáticos extremos, perda da biodiversidade e aumento do nível dos oceanos. Com o objetivo de minimizar esses impactos, a Conferência das Partes – COP, signatária da Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas - UNFCCC, estabeleceu, como uma obrigação básica, que os países elaborem e divulguem seus inventários nacionais de emissões de GEE e promovam programas de redução destas emissões.

Neste trabalho é realizado um estudo comparativo das emissões de GEE originadas das usinas termelétricas das empresas que participam do GT-MC, as quais utilizam diferentes combustíveis (óleo, carvão e gás).

**2.0 - DESCRIÇÃO DAS USINAS**

As empresas que participam do GT-MC são: FURNAS, CHESF, CGTEE, MANAUS ENERGIA e CEAM. Os estudos desenvolvidos pelo GT contam ainda com o apoio do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, que teve papel fundamental ao definir qual seria a metodologia para a estimativa de emissões de GEE.

As usinas termelétricas estudadas foram: Santa Cruz (600MW) e Campos (30MW) de FURNAS; Camaçari (292,5MW) da CHESF; NUTEPA (24MW), São Jerônimo (20MW), Presidente Médici-Candiota (446MW) da CGTEE; Rio Negro (157,5MW), Plantas A (44MW), B (120MW) e D (88MW) da EL PASO; Aparecida (104 MW), Mauá (137,2MW) e Electron (120MW) da Manaus Energia e o parque gerador da CEAM. Ver Tabela 1.

TABELA 1: Características das usinas termelétricas abordadas neste estudo.

EMPRESA	USINA TERMELETRICA	POTÊNCIA (MW)	COMBUSTÍVEL
FURNAS	Santa Cruz	600	OC, OD e GN
	Campos	30	OC, OD e GN*
CHESF	Camaçari	292,5	OD
CGTEE	NUTEPA	24	OC e OD
	São Jerônimo	20	CM
	Presidente Médici-Candiota	446	OC, OD e CM
EL PASO	Rio Negro	157,5	OD
	Planta A	44	OD
	Planta B	120	OD
	Planta D	88	OD
MANAUS ENERGIA	Aparecida	104	OD
	Mauá	137,2	OC
	Electron	120	OD
CEAM	CEAM	-	OD

Nota: OC: óleo combustível; OD: óleo diesel; GN: gás natural; CM: carvão mineral

### 3.0 - METODOLOGIA

As emissões de GEE resultantes da queima de óleo combustível, óleo diesel, carvão mineral e/ou gás natural, foram calculadas de acordo com a metodologia indicada pelo IPCC, como se segue:

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> deve foi feito a partir do conteúdo de carbono de cada combustível consumido e da eficiência de combustão (fração de oxidação).

#### 3.1 - Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>

$$E = C \times FE \times FO \times 44/12 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde E é a emissão de CO<sub>2</sub> (t), C é o consumo de combustível (em unidades usuais (t, m<sup>3</sup>)), FE é o conteúdo de carbono (t C /unidade de combustível) e FO é a fração de oxidação.

O ideal é que, com o conhecimento das características particulares de cada combustível utilizado, o seu conteúdo de carbono possa ser determinado. Não sendo possível, uma boa aproximação é usar valores de conteúdo de carbono derivados dos fatores de emissão *default* do IPCC (Primeira coluna da Tabela 2).

Esses fatores são um coeficiente do conteúdo de carbono por unidade de energia apresentados em tC/TJ. Para calcular os conteúdos de carbono correspondentes foram utilizados os fatores de conversão do Balanço Energético Nacional - BEN.

Nessa conversão considera-se que o valor da tonelada equivalente de petróleo - tep médio brasileiro equivale a 10.800 Mcal ou 45,21744 x 10<sup>-3</sup> TJ, enquanto o tep considerado no cálculo do IPCC equivale a 10.000 Mcal ou 41,868 x 10<sup>-3</sup> TJ. Além disso, deve-se aplicar um fator de correção de 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos, dado que as informações do BEN são apresentadas em poder calorífico superior - PCS e não poder calorífico inferior – PCI, como considerado pelo IPCC.

Dessa forma obtêm-se os conteúdos de carbono a serem utilizados na Equação 1. A Tabela 2 apresenta esses valores.

TABELA 2 - Conteúdo de carbono dos principais combustíveis (valores *default* do IPCC).

Combustível	FE IPCC	FATORES DE CONVERSÃO DO BEN				CONTEÚDO DE CARBONO		
	tC/TJ	tC/10 <sup>3</sup> tep	tep/m <sup>3</sup>	tep/t	tep/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	tC/m <sup>3</sup>	tC/t	tC/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Óleo Diesel	20,2	868	0,848			0,736		
Óleo Combustível	21,1	906	0,946			0,857		
Carvão Vapor								
3.100 kcal/kg	25,8	1.108		0,287			0,318	
3.300 kcal/kg	25,8	1.108		0,306			0,339	
3.700 kcal/kg	25,8	1.108		0,343			0,380	
4.200 kcal/kg	25,8	1.108		0,389			0,431	
4.500 kcal/kg	25,8	1.108		0,417			0,462	
4.700 kcal/kg	25,8	1.108		0,435			0,482	
5.200 kcal/kg	25,8	1.108		0,481			0,533	
5.900 kcal/kg	25,8	1.108		0,546			0,605	
6.000 kcal/kg	25,8	1.108		0,556			0,616	
sem especificação	25,8	1.108		0,278			0,308	
Gás Natural								
úmido	15,3	623			0,968			0,603
seco	15,3	623			0,857			0,534
Alcatrão	25,8	1.108	0,833			0,923		
Outras Fontes Secundárias Petróleo	20	859	0,833			0,716		
Gás de Coqueria	29,5	1267			0,417			0,528
Outras Primárias Fósseis	20	859	1			0,859		

A fração de oxidação é considerada na Equação 1 para levar em conta a imperfeição da queima. O ideal é que se conheça a eficiência da queima em cada usina para que seja identificada a fração correspondente ao resíduo de combustível que não é queimado e permanece como cinzas e similares. Caso não haja esse tipo de medição, podem ser usados os fatores de oxidação sugeridos pelo IPCC e listados na Tabela 3.

TABELA 3 – Frações de oxidação (Valores *default* do IPCC)

COMBUSTÍVEL	FRAÇÃO DE OXIDAÇÃO
Sólidos	0,98
Líquidos	0,99
Gasosos	0,995

### 3.2 - Cálculo das emissões de gases não-CO<sub>2</sub>

Como vimos na primeira parte, as emissões de dióxido de carbono podem ser calculadas a partir do conteúdo de carbono do combustível. As emissões dos outros gases de efeito estufa (metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)) e gases precursores (monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e outros compostos orgânicos não-metânicos (NMVOC)), que chamamos resumidamente de gases não-CO<sub>2</sub>, dependem de outros fatores como a tecnologia empregada, o equipamento, modos de utilização, condições atmosféricas, etc. Desta forma, o melhor fator de emissão é aquele obtido para cada planta por medições constantes ou monitoração. Quando não existir essa informação, podem ser utilizados os fatores de emissão *default* do IPCC, que variam segundo o combustível e tecnologia empregados.

A Tabela 4 apresenta os fatores de emissão em unidades usuais como quilograma de gás por metro cúbico do combustível (kg/m<sup>3</sup>), quilograma de gás por mil metros cúbicos de combustível (kg/1.000 m<sup>3</sup>) e quilograma de gás por tonelada de combustível (kg/t).

TABELA 4- Fatores de emissão *default* do IPCC. Esses valores foram obtidos utilizando a metodologia detalhada do IPCC para fontes fixas.

Combustível	GÁS					unidade
	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	NM VOC	
Óleo Diesel	12,750	0,146	47,355	0,022	0,182	kg/m <sup>3</sup>
Óleo Combustível	0,610	0,037	8,127	0,012	0,203	kg/m <sup>3</sup>
Carvão Vapor (Mineral)						
3.100kcal/kg	0,173	0,007	10,566	0,010	0,062	kg/t
3.300kcal/kg	0,184	0,008	11,265	0,011	0,066	kg/t
3.700kcal/kg	0,206	0,009	12,627	0,012	0,074	kg/t
4.200kcal/kg	0,234	0,010	14,321	0,013	0,084	kg/t
4.500kcal/kg	0,251	0,011	15,351	0,014	0,090	kg/t
4.700kcal/kg	0,262	0,011	16,014	0,015	0,093	kg/t
5.200kcal/kg	0,289	0,012	17,707	0,017	0,103	kg/t
5.900kcal/kg	0,328	0,014	20,100	0,019	0,117	kg/t
6.000kcal/kg	0,334	0,014	20,468	0,019	0,119	kg/t
sem especificação	0,167	0,007	10,234	0,010	0,060	kg/t
Gás Natural						
úmido	1,812	0,236	7,485	0,004	0,197	kg/1.000 m <sup>3</sup>
seco	1,604	0,209	6,626	0,003	0,174	kg/1.000 m <sup>3</sup>
Alcatrão	0,537	0,032	7,157	0,011	0,179	kg/m <sup>3</sup>
Outras Fontes Secundárias Petróleo	0,537	0,032	7,157	0,011	0,179	kg/m <sup>3</sup>
Gás de Coqueria	0,781	0,102	3,224	0,002	0,085	kg/1.000 m <sup>3</sup>
Gás de Refinaria	1,191	0,155	4,918	0,003	0,129	kg/m <sup>3</sup>
Lixívia	0,181	0,011	2,414	0,004	0,060	kg/m <sup>3</sup>
Lenha	19,362	0,237	1,472	0,053	0,657	kg/m <sup>3</sup>
Bagaço	15,316	0,269	0,610	0,036	0,449	kg/m <sup>3</sup>

### 3.3 - Consumo de combustível e geração de energia

O consumo de combustíveis, em tep, e a energia gerada, em MWh, totalizados anualmente, para o período de 1998 até 2002, registrados pelas usinas analisadas, são mostrados nas Figuras 1 e 2.

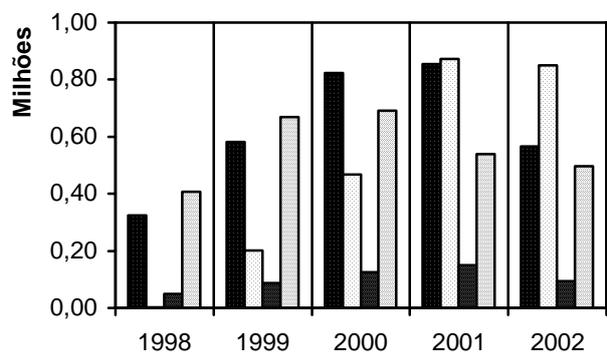


FIGURA 1: Consumo de combustíveis em tep.

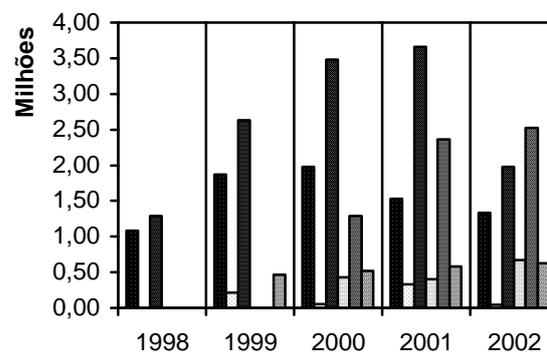


FIGURA 2: Geração termelétrica anual de energia em MWh.

## 4.0 - RESULTADOS

### 4.1 - Emissões

Os resultados da aplicação da metodologia do IPCC aos dados de consumo de combustíveis fósseis são apresentados a seguir, nas Figuras 3, 4 e 5, em termos de quantidade de massa de gás emitido, e nas Figuras 6 e 7, em termos de relações entre emissão de GEE e a geração, em MWh.

Por apresentarem ordens de grandeza diferentes, os resultados foram agrupados para que fosse possível a visualização clara dos valores e a sua comparação interanual. A Figura 3 reproduz os resultados de emissão de CO<sub>2</sub> que, por ser em toneladas, está separado dos outros. As Figuras 4 e 5 agrupam as emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NMVOC e de NO<sub>x</sub> e CO, respectivamente, por apresentarem valores relativamente próximos, em quilogramas de gás emitido.

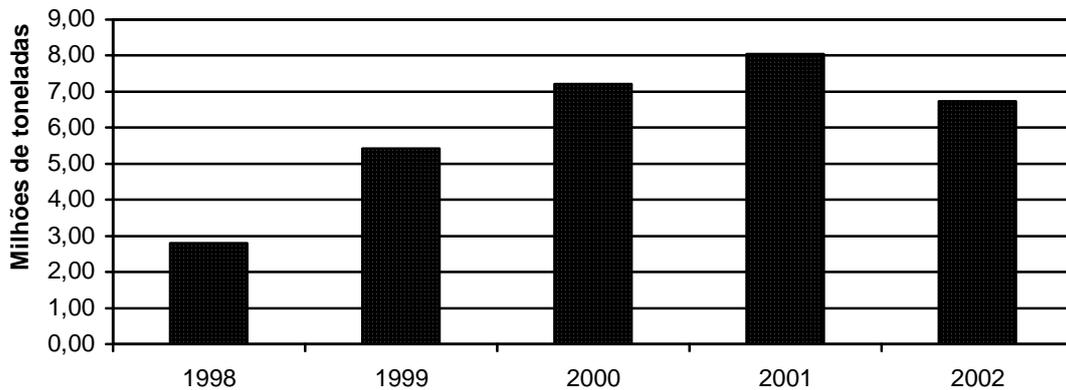


FIGURA 3: Emissões de CO<sub>2</sub> em toneladas.

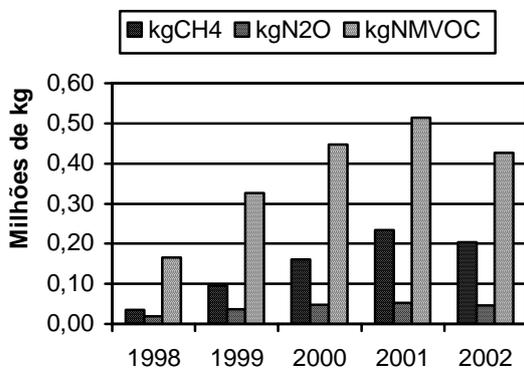


FIGURA 4: Emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NMVOC em kg.

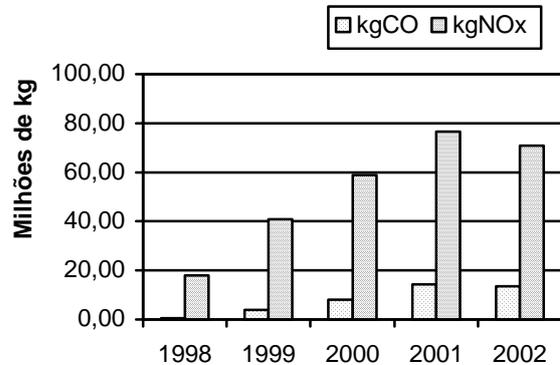


FIGURA 5: Emissões de NO<sub>x</sub> e CO em kg.

### 4.2 - Taxas de Consumo e de Emissão

Os resultados referentes aos valores médios das relações entre consumo de combustíveis, em tep, geração de energia, em MWh e emissão de CO<sub>2</sub>, em toneladas são apresentados na Figura 6 às médias das taxas de emissão dos gases não-CO<sub>2</sub>, são mostrados na Figura 7, separados do anterior para facilitar sua visualização.

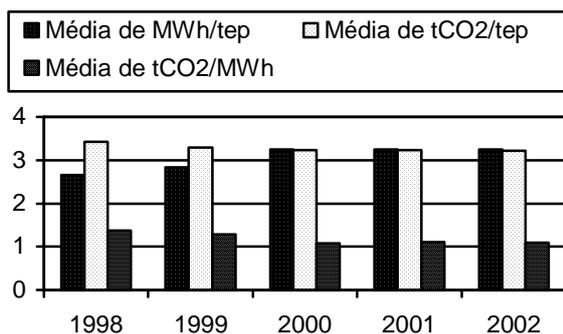


FIGURA 6: Média das taxas de geração e de emissão de CO<sub>2</sub> por tep consumida e por MWh

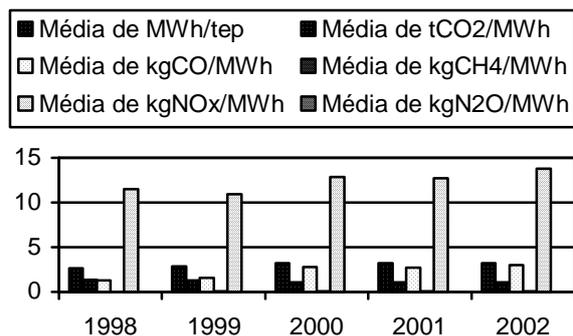


FIGURA 7: Média das taxas de emissão por geração dos não-CO<sub>2</sub>.

#### 4.3 - Resumo dos principais resultados

Os principais dados e resultados do presente trabalho estão reunidos na Tabela 5, a seguir.

TABELA 5: Dados anuais de produção de energia, consumo de combustíveis e emissões de GEE.

CONSUMO						
ANO	Óleo Combustível (m3)	Óleo Diesel (m3)	Gás Natural (1.000 Nm3)	Carvão Mineral (t)	MWh	tep
1998	343.623,72	3.625,42	56.667,04	1.416.731,26	2.374.981,40	783.307,92
1999	635.037,93	238.116,10	102.888,30	2.329.590,56	4.713.648,40	1.559.436,10
2000	896.837,13	550.786,92	146.171,09	2.410.962,33	7.227.136,12	2.132.690,04
2001	927.521,45	1.029.610,98	174.033,50	1.877.155,58	8.290.819,51	2.438.435,77
2002	598.342,99	1.003.058,38	108.711,31	1.729.337,27	6.537.979,14	2.006.111,37
EMISSIONES						
ANO	CO <sub>2</sub> (t)	CO (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	N <sub>2</sub> O (kg)	NM VOC (kg)
1998	2.807.938,19	583.322,64	35.003,92	17.838.615,31	18.540,56	165.279,38
1999	5.474.140,43	3.977.427,82	96.072,14	40.959.708,69	36.463,58	329.927,83
2000	7.301.236,40	8.206.693,02	161.024,36	59.013.428,10	47.427,49	452.392,67
2001	8.120.268,77	14.285.962,84	234.154,59	76.659.151,17	53.075,36	518.587,22
2002	6.729.113,79	13.617.155,88	203.411,24	70.780.922,06	46.866,91	426.696,26

#### 4.4 - Variação das emissões de GEE e do consumo de combustíveis fósseis

As Tabelas 6 e 7 apresentam os valores, em percentual, da variação das emissões de GEE e do consumo de combustíveis, respectivamente. Os valores representam a diferença, positiva ou negativa, relativa ao ano anterior. Por exemplo, o consumo de óleo diesel em 1999 aumentou 2,377% em relação ao ano de 1998, já as emissões de CO<sub>2</sub> registradas em 2002 caíram 16% em relação às de 2001.

TABELA 6: Variação anual das emissões de GEE.

ANO	CO <sub>2</sub> (t)	CO (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	N <sub>2</sub> O (kg)	NMVOC (kg)
1999	93%	580%	172%	129%	95%	97%
2000	33%	107%	68%	44%	30%	37%
2001	11%	74%	46%	30%	12%	15%
2002	-16%	-5%	-13%	-7%	-11%	-17%

TABELA 7: Variação anual do consumo de combustíveis.

ANO	ÓLEO COMBUSTÍVEL (m <sup>3</sup> )	ÓLEO DIESEL (m <sup>3</sup> )	GÁS NATURAL (1000 Nm <sup>3</sup> )	CARVÃO MINERAL (t)
1999	79%	2.377%	82%	64%
2000	41%	335%	42%	3%
2001	4%	118%	19%	-22%
2002	-34%	-5%	-38%	-8%

## 5.0 - CONCLUSÃO

É notável o aumento das emissões de 1998 a 2001, refletindo a crise na geração hidrelétrica e o conseqüente incremento na geração termelétrica naquele período. Tal aumento foi particularmente abrupto entre 1998 e 1999.

A entrada de usinas a óleo diesel no sistema teve como conseqüência o aumento em grandes proporções da emissão de CO. Como pode ser visto na Tabela 4, o fator de emissão deste poluente é da ordem de 12 kg/m<sup>3</sup> para o diesel, enquanto que, para os demais combustíveis, não atinge 2 kg/m<sup>3</sup>.

Medidas mitigadoras devem ser principalmente direcionadas às emissões de CO<sub>2</sub>, as quais apresentaram-se duas a três ordens de grandeza superiores às demais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência – Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis – Abordagem Bottom-Up.