



**IMPACTO AMBIENTAL DE UMA PLANTA TER-  
MELÉTRICA: EMISSÕES DE DIÓXIDO DO CAR-  
BONO, ÓXIDOS DE NITROGÊNIO, MATERIAL  
PARTICULADO E DIÓXIDO SULFÚRICO**

**Iraídes Aparecida de Castro Villela  
Júlio Santana Antunes  
José Luz Silveira**

## **Iraídes Aparecida de Castro Villela**

EEL/USP - Escola de Engenharia de Lorena. Fatea.  
Unesp - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

## **Júlio Santana Antunes**

Vice-Diretor da Faculdade de Engenharia de  
Guaratinguetá FEG – UNESP. Unesp – Faculda-  
de de Engenharia de Guaratinguetá.

## **José Luz Silveira**

Diretor da Fundação para o Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico. Unesp - Faculdade de  
Engenharia de Guaratinguetá.



## RESUMO

Analisa o impacto ambiental, resultante da combustão do diesel numa planta termelétrica utilizando a tecnologia do ciclo combinado. Analisa a poluição resultante da combustão do diesel determinando-se separadamente as concentrações das emissões de dióxido de carbono, dióxido sulfúrico, óxidos de nitrogênio e Material Particulado e comparando-os com os padrões internacionais vigentes de qualidade do ar. Conclui que é possível determinar e quantificar o impacto ambiental causado por uma planta termelétrica, e verifica que, considerando uma termelétrica de grande porte, são emitidas 1700000 ton/ano de poluentes para o meio ambiente, sendo que a maior porcentagem se concentra nas emissões de CO<sub>2</sub>.

## PALAVRAS-CHAVE

Emissões de Poluentes; Impacto Ambiental; Ciclo Combinado; Diesel.

## ABSTRACT

The gases of combustion from the thermoelectrical power plants operating with diesel cause a large amount of problems for the environment for their compounds put human life, animals and plants as well as the environment under risk. Thus, this work analyses the environmental impact from the combustion of diesel on a thermoelectric power plant, utilizing the combined cycle technology (CC). In the study performed the pollution from the combustion of diesel is analyzed, by determining

separately the concentrations of the emission of monoxide carbon (CO<sub>2</sub>), dioxide sulphur (SO<sub>2</sub>), carbon monoxide (NO<sub>x</sub>) and Particulate Matter (PM) and comparing them with the in use air quality international standards. It can be concluded that it is possible to determine and quantify the environmental impact caused by a thermoelectric power plant, and it can be verified that, considering a large size thermoelectric power plant, 1,700,000 ton/year of pollutants are emitted for the environment and that the major percentage is concentrated in the emissions of CO<sub>2</sub>.

## KEYWORDS:

Pollutant Emissions; Environment Impact; Combined Cycle; Diesel.

## INTRODUÇÃO

As emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> de uma planta termelétrica são de grande preocupação mundial, sendo que as emissões de NO<sub>x</sub> contribuem para a acidificação de ecossistemas de uma determinada região (KUPRIANOV; TANETSAKUNVATANA, 2006). As plantas térmicas são grandes emissoras de dióxido sulfúrico (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), que são nocivos em altas concentrações e contribuem para a formação de partículas na atmosfera (material particulado MP). Para se avaliar os riscos causados à saúde pelas plantas térmicas, é necessário analisar a população que se encontra exposta e os diferentes poluentes existentes. Estudos epidemiológicos têm revelado uma enorme associação entre o meio ambiente e o material particulado (MP), como também tem aumentado a mortalidade (por ex: doenças do coração e pulmão) e os riscos de doenças (por ex: pneumonia, doença cardiovascular, doença pulmonar, etc) da população mundial (YING et al., 2003).

Recentemente, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization – WHO*), tem-se constatado que a poluição do ar em zonas urbanas é um dos maiores fatores de riscos ambientais. Tem-se verificado que uma das mais principais causas de morte na Europa está associada à exposição ao MP, o qual estima em ser o responsável

por aproximadamente 100 000 mortes de vidas prematuras por ano (WHO, 2006).

As emissões de CO<sub>2</sub> numa região é de fato, a principal causa do efeito estufa com uma contribuição de aproximadamente 50%, enquanto que o SO<sub>2</sub> se destaca como um dos principais causadores da chuva ácida. A maioria dos gases poluentes NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>, e material particulado (MP) emitidos de uma planta térmica geralmente se encontram dispersos sobre grandes áreas em determinadas regiões (BLANCO; MENDÍA; PEÑA, 2006).

O Brasil se comprometeu, no protocolo de Kyoto, a não aumentar suas emissões de gás carbônico, mas a decisão do governo de sanar a crise energética com a construção de diversas termelétricas a gás, e a grande procura por geradores a gás e diesel que tem ocorrido como alternativa aos cortes de energia, contribuem ainda mais para aumentar o efeito estufa. A elevação da temperatura da terra é considerada o problema ambiental mais grave do século XXI, por ser responsável pelas mudanças climáticas, que têm provocado furacões mais violentos, como o Katrina, e fenômenos como a seca na Amazônia (JORNAL O Girassol, 2007).

Uma das grandes preocupações de governos e autoridades ligadas ao meio ambiente tem sido a liberação excessiva de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, responsável, entre outros males, pelo efeito estufa, que consiste no acúmulo desses gases no ar, impedindo que as radiações de calor da terra possam ir para o espaço, criando, assim, o aquecimento global. Os países industrializados são responsáveis por 71% dessas emissões de CO<sub>2</sub>; isso sem contar que os desmatamentos e as queimadas também contribuem para o agravamento da situação. Os países em desenvolvimento contribuem com 18% das emissões, mas de acordo com os cientistas, em 30 anos esses países estarão emitindo a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> que os industrializados. O problema, não está na emissão dos gases em si, mas na sua quantidade excessiva que a natureza não consegue absorver através da fotossíntese, processo em que as plantas captam dióxido de carbono e liberam oxigênio, dessa forma o que fica de CO<sub>2</sub> excedente na atmosfera contribui para o efeito estufa (JORNAL O Girassol, 2007).

Nesse contexto, esse estudo analisa a poluição resultante da combustão do diesel para uma planta termelétrica de grande porte utilizando

a tecnologia de ciclo combinado (CC) e caldeira de recuperação, sem queima suplementar de combustível. O objetivo é mostrar as taxas de emissões em ton/ano dos poluentes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e MP) que contribuem para a poluição do meio ambiente.

## TRATADO DE KYOTO

Uma das grandes preocupações de governos e autoridades ligadas ao meio ambiente tem sido a liberação excessiva de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, responsável, entre outros males, pelo efeito estufa, que consiste no acúmulo desses gases na atmosfera, impedindo que as radiações de calor da terra possam ir para o espaço, causando assim, o aquecimento global. Os países industrializados são responsáveis por 71% dessas emissões de CO<sub>2</sub>; isso sem contar que os desmatamentos e as queimadas também contribuem para o agravamento da situação. Os países em desenvolvimento contribuem com 18% das emissões, mas de acordo com os cientistas, em 30 anos esses países estarão emitindo a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> que os industrializados. O problema, não está na emissão dos gases em si, mas na quantidade excessiva que a natureza não consegue absorver através da fotossíntese, processo em que as plantas capturam dióxido de carbono e liberam oxigênio, dessa forma o que fica de CO<sub>2</sub> excedente na atmosfera contribui para o efeito estufa. Assim essa questão do aquecimento global, provocado pelos gases emitidos pelas indústrias, foi o tema da Conferência de Kyoto, Japão, em 1997, cujo objetivo do evento era conter o acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, lutando pela redução do efeito estufa. Da conferência, saiu o Tratado de Kyoto; um documento em que os países participantes se responsabilizariam em diminuir a poluição causada por seu desenvolvimento, especialmente o industrial (JORNAL O Girassol, 2007).

Para entrar em vigor, o Tratado de Kyoto deveria ser ratificado por 55 países (o que foi obtido em 2002) e incluir entre estes, nações do grupo de maiores emissores de CO<sub>2</sub>, que juntos representavam 55% das emissões de CO<sub>2</sub> nos níveis de 1990. Em março de 2003, 106 países já haviam ratificado o tratado, mas as ratificações correspondiam, até então, a 43,9% dos países responsáveis das emissões de CO<sub>2</sub> registradas em 1990. Com o tratado em vigor será possível reduzir as emissões de gases do efeito estufa nos países industrializados e conseqüentemente,

combater o aquecimento global em benefício do bem estar das futuras gerações, em todo o planeta (PROTOCOLO de Kyoto, 2006).

A tabela a seguir mostra os países que mais emitiam dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera em 1991. Verifica-se que os EUA é maior poluidor apresentando uma porcentagem de 36% do total de CO<sub>2</sub> emitido no mundo.

Tabela 3.1 - Principais países emissores de CO<sub>2</sub> na atmosfera (% do total mundial)

Países	Ano: 1991	Países	Ano: 2003
Estados Unidos	36,1	Estados Unidos	22,27
Rússia	17,4	China	17,34
Japão	8,5	União Européia	15,43
Alemanha	7,4	Rússia	6,1
Reino Unido	4,3	Japão	4,85
Canadá	3,3	Índia	4,43
Itália	3,1	Alemanha	3,34
Polônia	3,0	Reino Unido	2,13
França	2,7	Canadá	2,10
Austrália	2,1	Coreia do Sul	1,89

Fonte: NOTÍCIAS UOL (2007)

O Tratado de Kyoto, oficialmente entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, sendo ratificado por 157 países. Destes 157 signatários, os 35 países que se encontram no chamado grupo dos industrializados se comprometeram a cumprir o tratado, com exceção dos EUA, Liechtenstein, Mônaco e Austrália. Os americanos se recusam a fazer cortes em suas emissões, alegando que trariam sérios prejuízos a sua economia. Esses países do grupo industrializado, entre 2008 e 2012, terão que reduzir 5%, em média, as emissões dos gases que causam o aumento da temperatura do planeta (dióxido de carbono, metano e outros) com base

nos dados de emissões de 1990 (PROTOCOLO de Kyoto, 2006; JORNAL O Girassol, 2007).

Em 2006, as emissões de dióxido de carbono da China superaram as dos Estados Unidos em 8%, e com isso ela lidera a lista de países emissores de CO<sub>2</sub>. Essas emissões chinesas aumentaram devido a grande produção de cimento e pela queima de carvão para produção de energia em termelétricas (NOTÍCIAS UOL, 2007).

Em 2007, as crescentes queimadas de milhares de hectares da Floresta Amazônica colocam o Brasil entre os dez maiores emissores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do planeta, ao lado de grandes poluidores como os Estados Unidos, China, Rússia e Japão entre outros. Segundo estudo feito por um grupo de cientistas da Universidade de Brasília (UnB), Universidade Estadual de São Paulo (Unesp), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e Universidade de Washington para avaliar as conseqüências das queimadas na Amazônia, um ponto relevante são os incêndios que lançam, anualmente, 0,2 bilhão de toneladas de carbono na atmosfera. Somando-se esse valor ao de CO<sub>2</sub> emitido na queima de combustível fóssil, chega-se a um total de 0,55 bilhão de toneladas; e dessa forma o volume de emissões brasileiras supera o de diversos países industrializados, como o Canadá (0,48 bilhão) e a Itália (0,45 bilhão) (NOTÍCIAS UOL, 2007).

A questão do aquecimento global, provocado pelos gases emitidos pelas indústrias, foi um tema da Conferência de Kyoto, Japão, em 1997, cujo objetivo do evento era conter o acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, lutando pela redução do efeito estufa. Da conferência, saiu o Tratado de Kyoto; um documento que os países participantes se responsabilizariam em diminuir a poluição causada por seu desenvolvimento, especialmente o industrial (JORNAL O Girassol, 2007).

Para entrar em vigor, o Tratado de Kyoto deveria ser ratificado por 55 países (o que foi obtido em 2002) e incluir entre estes, nações do grupo de maiores emissores de CO<sub>2</sub>, que juntos, representam 55% das emissões de CO<sub>2</sub> nos níveis de 1990. Em março de 2003, 106 países já haviam ratificado o tratado, mas as ratificações correspondiam, até então, a 43,9% das emissões de CO<sub>2</sub> registradas em 1990. Com o tratado em vigor será possível reduzir as emissões de gases do efeito estufa nos países industrializados e conseqüentemente, combater o aquecimento



global ou mundial da atmosfera, em benefício do bem estar das futuras gerações, em todo o planeta (PROTOCOLO de Kyoto, 2003).

O Tratado de Kyoto, um plano global para reduzir os gases associados ao aquecimento global, entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, sendo ratificado por 157 países. Destes 157 signatários, os 35 países que se encontram no chamado grupo dos industrializados se comprometeram a cumprir o tratado, com exceção dos EUA. Os americanos, os maiores poluidores do mundo, se recusam a fazer cortes em suas emissões, alegando que trariam sérios prejuízos a sua economia. Esses países do grupo industrializado, entre 2008 e 2012, terão que reduzir 5%, em média as emissões dos gases que causam o aumento da temperatura do planeta (dióxido de carbono, metano e outros) com base nos dados de 1990. (PROTOCOLO de Kyoto, 2003; JORNAL O Girassol, 2007).

Entre 1990 e 1994, o Brasil teve emissões anuais em cerca de 1 bilhão de toneladas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), 11 milhões de toneladas de metano e 500 mil toneladas de óxido nítrico, os gases principais causadores do efeito estufa. A conta, que representa 3% das emissões globais, agora se consolida como janela de oportunidade para novos negócios, que podem render ao Brasil, segundo estimativas do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, uma média de US\$ 1 bilhão por ano até 2012. De acordo com o Tratado de Kyoto, o Brasil não é obrigado a reduzir suas emissões desses gases; entretanto, as empresas do país que o fizerem espontaneamente podem, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), vender créditos às nações desenvolvidas, que têm de 2008 a 2012 para poluir 5% menos que em 1990 (JB Online, 2006).

Em 2006, as emissões de dióxido de carbono da China superaram as dos Estados Unidos em 8%, e com isso ela lidera a lista de países emissores de CO<sub>2</sub>. Essas emissões chinesas aumentaram devido a grande produção de cimento e pela queima de carvão para produção de energia em termelétricas (NOTÍCIAS UOL, 2007).

Em 2007, as crescentes queimadas de milhares de hectares da Floresta Amazônica colocam o Brasil entre os dez maiores emissores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do planeta, ao lado de grandes poluidores como os Estados Unidos, China, Rússia e Japão entre outros. Segundo estudo feito por um grupo de cientistas da Universidade de Brasília (UnB), Universidade Estadual de São Paulo (Unesp), Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (Inpe) e Universidade de Washington para avaliar as conseqüências das queimadas na Amazônia, um ponto relevante são os incêndios que lançam, anualmente, 0,2 bilhão de toneladas de carbono na atmosfera. Somando-se esse valor ao de CO<sub>2</sub> emitido na queima de combustível fóssil, chega-se a um total de 0,55 bilhão de toneladas; e dessa forma o volume de emissões brasileiras supera o de diversos países industrializados, como o Canadá (0,48 bilhão) e a Itália (0,45 bilhão) (VILLELA; SILVEIRA, 2007a).

As emissões brasileiras que em 2007 representam 3% das emissões globais se consolidam como uma abertura de oportunidades para novos negócios, que podem render ao Brasil, segundo estimativas do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, uma média de US\$ 1 bilhão por ano até 2012. De acordo com o Tratado de Kyoto, o Brasil não é obrigado a reduzir as emissões desses gases; entretanto, as empresas do país que o fizerem espontaneamente podem, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), vender créditos às nações desenvolvidas. Atualmente, existem no Brasil 83 projetos aprovados ou em via de aprovação no MDL, sendo a maioria em energias renováveis e tratamento de resíduos, que segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia representam uma redução estimada de 135 milhões de toneladas de gases de efeitos estufa na atmosfera, cerca de 10% do total emitido pelo Brasil em 1990 (JB Online, 2007).

## **PADRÕES DE EMISSÕES**

Os padrões de qualidade do ar e emissão de poluentes são estabelecidos considerando os efeitos dos poluentes nos seres humanos, animais, plantas e materiais, como resultado final do processo de lançamento de poluentes na atmosfera, por suas fontes de emissão. Considera-se poluente do ar qualquer substância presente no ar cuja concentração possa tornar este ar impróprio, nocivo à saúde humana, ou inconveniente ao bem estar público. Pode-se dizer que a combustão do óleo, carvão e gás natural em plantas termelétricas para produzir energia é considerada uma grande fonte de emissão de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> e MP, os quais estão diretamente relacionados com a qualidade e o tipo de combustível uti-

lizado (VILLELA; SILVEIRA, 2007b).

De acordo com Lora (2002), o padrão de qualidade do ar pode ser definido como o nível de poluente determinado por uma lei ou regulamentação que não pode ser excedido durante um determinado tempo em uma área definida. Esses padrões quando quantificados, geralmente são expressos  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de ar, partes por milhão (p.p.m) ou partes por bilhão (p.p.b) de poluente por parte de gás (concentração).

No Brasil, pouca ênfase se tem dado a este assunto, pode citar a Resolução CONAMA 008/90, a qual estabelece limites máximos de emissão de  $\text{SO}_2$  e partículas totais (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes fixas, que utilizam o óleo combustível e o carvão mineral. Para outros combustíveis, cabe aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente o estabelecimento de limites máximos de emissão. Esta Resolução limita apenas os óxidos de enxofre e particulados, não apresentando nenhuma menção quanto à emissão de  $\text{NO}_x$  (VILLELA; SILVEIRA, 2007a, 2007b).

A legislação brasileira sofreu grande influência da legislação da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (*Environment Protection Agency*) que adota os padrões de qualidade do ar para os poluentes considerados nocivos a saúde humana e ao meio ambiente. A Tabela 1 mostra os padrões de qualidade do ar para alguns poluentes e a tabela 2 apresenta os padrões de emissão de poluentes do ar do Brasil, segundo a Resolução Conama 008/90.

Tabela 1 - Padrões de Qualidade do ar

Poluentes	Padrão Primário
$\text{CO}_2$	9 ppm (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 35 ppm (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\text{MP}_{10}$	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\text{MP}_{2,5}$	15 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 65 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\text{SO}_x$	0,03 ppm - 0,14 ppm
Ozônio	0,08 ppm - 0,12 ppm

Fonte: (EPA, 1995)

Tabela 2 - Padrões de Emissão de poluentes (Res. Conama 008/90)

			Partículas totais g/ milhão kcal	
Classes	Potência (MW)	SO2 g/milhão kcal	Óleo combustível	Carvão mineral
I *	< 70	2000	120	-
II **	< 70	5000	350	1500
III ***	> 70	2000	120	800

Fonte: (PRONAR, 2004)

(\*) somente nas áreas a serem atmosféricamente conservadas para, lazer e turismo, estâncias hidrominerais e hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica e são proibidas qualquer atividade econômica que gere poluição do ar.

(\*\*) são áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar é limitado pelo padrão secundário de qualidade (são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral).

(\*\*\*) nessas áreas o nível de deterioração da qualidade do ar é limitado pelo padrão primário de qualidade (são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população).

A tabela 2 estabelece, em nível nacional, os limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em novas fontes fixas de poluição com potências nominais até 70 MW e superiores. Essas fontes fixas seriam os seguintes equipamentos: caldeiras, geradores de vapor, centrais para a geração de energia elétrica, fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica incineradores e gaseificadores.

A seguir a Tabela 3 refere-se aos padrões de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (OMS), publicados em 2000, com base nos estudos epidemiológicos, e as relações existentes dos poluentes sobre a saúde humana. Verifica-se que esses poluentes afetam a saúde do ser humano, provocando principalmente doenças respiratórias.

POLUENTES			
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Ozônio
	1 hora: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ano: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 hora: 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ano: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 horas: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Concentração</b>	Concentração natural no ar limpo: 1 – 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Concentração natural no ar limpo: 1 – 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Concentração natural no ar limpo: 40 – 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
	Valor médio anual nas cidades: 20 – 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Valor médio anual nas cidades: 20 – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Valor médio anual nas cidades: 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
<b>Comentários</b>	Concentração mínima que afeta doentes de asma em 30-110 minutos de exposição: 565 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Concentração mínima que afeta doentes de asma em 10 minutos de exposição: 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Concentração mínima que afeta doentes de asma várias horas de exposição: 280-340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
	Efeitos respiratórios em crianças durante exposição por longo tempo: 50-75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Concentração mínima de efeito adverso durante exposição por longo tempo: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	Efeitos respiratórios em crianças durante exposição por tempo curto: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## CÁLCULO DAS EMISSÕES

As equações a seguir mostram os cálculos da planta termelétrica analisada, com potência Nominal 310 MW, operando a diesel, para a produção de energia elétrica.

Os principais poluentes do diesel são: dióxido de carbono, óxidos sulfúricos e material particulado. Os óxidos sulfúricos do diesel podem ser descarregados para o meio ambiente ou transformados em ácidos no processo de combustão.

Considerando NO<sub>2</sub> nos produtos de combustão do diesel e um excesso de ar de 100% tem-se a seguinte equação para o diesel (CARVALHO; LACAVA, 2003; VILLELA; SILVEIRA, 2007a, 2007b):

## Emissões de CO<sub>2</sub>

$$M_{O_2} = \frac{(w_2 \times 4 \times 1) O_2}{N} \quad \text{kgCO}_2 / \text{kgDI} \quad (2)$$

M e N são massas moleculares para os combustíveis utilizados, gás natural e diesel respectivamente, os quais podem ser calculados por:

$$\begin{aligned} M &= 16a_1 + 30b_1 + 44c_1 + 58d_1 + 72e_1 + 44f_1 + 28g_1 && \text{g/kgmol} && (3) \\ N &= 170a_2 && \text{kg/kgmol} && (4) \end{aligned}$$

## Emissões de NO<sub>x</sub>

Para a emissão de NO<sub>x</sub> de uma planta termelétrica usando gás natural, pode ser assumido um máximo de 15 ppm de NO<sub>x</sub> gerados (em base seca) e corrigidos para 12% de oxigênio. Uma termelétrica operando com o diesel produz 5,04 kg de NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> de diesel. As emissões estimadas de NO<sub>x</sub> podem ser determinadas por (CARVALHO; LACAVA, 2003; VILLELA; SILVEIRA, 2007a, 2007b):

$$M_{NO_x} = \frac{5,04 NO_x}{den} \quad \text{kgNO}_x / \text{kgDI} \quad (5)$$

O termo den é a densidade do diesel igual a 864 kg/m<sup>3</sup>

## EMISSÕES DE MP

O fator de emissão do material particulado (MP) para o gás natural é 240 kg de material particulado por um milhão de metro cúbico de combustível e de 1,85 kg por metro cúbico de combustível, considerando o diesel (CARVALHO; LACAVA, 2003; VILLELA; SILVEIRA, 2007a, 2007b). As seguintes equações podem ser utilizadas:

$$M_{MP} = \frac{1,85MP}{den} = \text{kgMP/ kgDI} \quad \text{kg/kgmol} \quad (6)$$

## EMISSIONES DE SO2

De acordo com a Petrobrás o diesel apresenta 0,5% de enxofre em sua composição; seu fator de emissão de SO2 em termelétricas é 17,04 kg/m3, para cada 1% de enxofre em sua composição (VILLELA; SILVEIRA, 2007a, 2007b; CARVALHO; LACAVALA, 2003). Entretanto, o gás natural apresenta uma porcentagem muito baixa de enxofre e isto implica em um fator de emissão reduzido para o SO2, sendo considerado nulo neste estudo ( ). Para o diesel a emissão de SO2 pode ser determinada pela seguinte equação (VILLELA; SILVEIRA, 2007a; CARVALHO; LACAVALA, 2003)

$$M_{SO_2} = \frac{17,04SO_2}{den.0,5} \quad \text{kgSO}_2/\text{kgDI} \quad (7)$$

## EMISSIONES TOTAIS

Considerando-se o fluxo dos gases de exaustão gerados na caldeira de recuperação ( ), determina-se o valor total de todos os produtos da combustão (inclusive a N2, O2 e vapor de H2O). Assim, é possível calcular as emissões de , , e em kg/s e posteriormente em ton./ano.

Os resultados estão sumarizados na tabela 4. Pode-se observar que existe uma grande quantidade (aproximadamente 1700000 ton/ano) de poluentes emitidos numa termelétrica a diesel. Verifica-se que o CO2 é o poluente com um elevado índice em comparação com os outros, ou seja, correspondendo aproximadamente a 99% do total dessas emissões. Destaca-se em segundo lugar o SO2, seguidos do NOx e MP.

Quantidade de poluentes (ton/ano)	Diesel
CO2	1691287
NOx	3177
Material Particulado (MP)	1166
SO2	5370
TOTAL	1701000

## CONCLUSÃO

Verifica-se que é possível quantificar o impacto ambiental em plantas termelétricas utilizando-se o diesel como combustível. Assim, tem -se:

- de acordo com os padrões de qualidade do ar adotados, pode-se observar que, com a utilização do diesel, são emitidos muitos poluentes que prejudicam o meio ambiente e a saúde humana.

- são gerados aproximadamente 1200 ton/ano de MP. Estudos epidemiológicos têm revelado que esse poluente tem aumentado a mortalidade e os riscos de doenças (por ex: pneumonia, doença cardiovascular, doença pulmonar, etc) da população mundial.

- são emitidas 3200 ton/ano de NOx; poluente que contribuem para a formação da chuva ácida e do efeito estufa, causando infecções nas vias respiratórias e nos pulmões.

- a quantidade emitida de SO2 (aproximadamente 5400 ton/ano) é grande em comparação com o MP e o NOx, causando danos à saúde e contribuindo assim para a formação da chuva ácida.

- o estudo mostra que o índice de CO2 emitido é muito alto, ou seja 99% do total das emissões, o qual se destaca como o responsável pelo efeito estufa de nosso planeta.



## REFERÊNCIAS

BLANCO, J. M.; MENDÍA F.; PEÑA, F. Comparative analysis of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions between combined and convencional cycles with natural gas and fuel oil consumption over the Spanish thermal power plants, **Fuel**, v. 85, p. 1280-1285, 2006.

CARVALHO, J. A.; LACAVAL, P. T.. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Unesp, 2003.

JB Online, 2007. <http://www.jbonline.terra.com.br>.

EPA (Environment Protection Agency). **Compilation of air pollutant emissions factors**, AP-42, Fifth Edition, v 1, Stationary Point and area Sources, 1995.

JORNAL O Girassol, 2007. <http://www.ogirassol.com.br/aprender51/>

KUPRIANOV, V. I.; TANETSAKUNVATANA, V. Assessment of gaseous, PM and trace element emissions from a 300-MW lignited-fired boiler unit for various fuel qualities, **Fuel**, v. 85, p. 2171-2179, 2006.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

NOTICIAS UOL, 2007. <http://noticias.uol.com.br/ultnot/internacional>.

PRONAR, 2004. <http://www.ambientebrasil.com.br>

PROTOCOLO de Kyoto, 2003. <http://www.unfccc.int>

VILLELA, I. A. C., SILVEIRA, J. L.; Environmental Impact on a Thermoelectric Power Plant. In: GLAGTEE 2007 – SIXTH LATIN AMERICAN CONGRESS ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION. ValParaíso - Chile, 2007a.

VILLELA, I. A. C., SILVEIRA, J. L.; Ecological efficiency in thermoelectric power plants. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, p. 840-847, 2007b.

WHO (World Health Organization), 2006. <http://www.who.int>.

YING, Z. et al.. Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 815–826, 2003.