

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) GERADAS
POR FONTES MÓVEIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – PERÍODO
DE JANEIRO DE 2003 A JUNHO DE 2004**

Rafael Freire de Macêdo

Graduando do Curso de Tecnologia em Controle Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte – CEFET/RN. Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Estagiário do Laboratório de Meio Ambiente do Centro de Tecnologias do Gás – CTGÁS
rafaelmacedo@digizap.com.br

Artigo recebido em agosto/2004 e

RESUMO

A elevada contribuição de fontes móveis para o aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera torna-se fator de estudo. O estado do Rio Grande do Norte apresenta um alto índice de motorização, cerca de 35 veículos por cada 100 habitantes, portanto, um elevado consumo de combustíveis derivados do petróleo. Estatísticas apontam que 97% das emissões veiculares são de CO₂, comprovando a preocupação de se realizar inventários destas. A método *top-down*, reconhecido internacionalmente e recomendado pela ONU, foi seguido para a quantificação de gases de efeito estufa emitidos pela combustão de combustíveis fósseis em motores de veículos rodoviários, comprovando os altos teores de poluentes atmosféricos lançados na atmosfera do estado. A poluição atmosférica afeta a saúde ambiental bem como a estética urbana, acarretando perdas econômicas. A substituição do modal de transporte particular pelo coletivo e a adoção de novas tecnologias trarão ganhos ambientais além de impulsionar novas matrizes energéticas.

**INVENTORY OF CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS FROM MOBILE
SOURCES IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE – PERIOD FROM
JANUARY 2003 TO JUNE 2004**

ABSTRACT

The elevated contribution for increasing carbon dioxide concentration in the atmosphere from mobile sources make it a case to study. The state of Rio Grande do Norte presents a higher indices of motorization, about 35 vehicles per 100 habitants, however, a high consumption of combustible derived from petrol. Statistics shows that 97% of vehicle emissions are from CO₂, proving the concern to do them inventories. The *top-down* method, internationally recognized and recommended by UN, were followed to quantity the emission of greenhouse gases from the combustion of fossil combustible on road vehicles motors, proving the higher tenor of atmospheric pollutants introduced in the state atmosphere. The atmospheric pollution affects de environmental health as well the urban esthetics, bringing economics lost. The substitution of the particular transportation modal by the collective and the adoption of new technologies will bring environmental gains and will push new energetic matrices.

INTRODUÇÃO

Os automóveis são responsáveis por grande parte das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente em centros urbanos. Devido ao modo de crescimento econômico adotado pelo Brasil pós-guerra, há uma exponencial demanda por meios de transporte rodoviário. A elaboração de novas políticas públicas para o setor faz-se necessário, instituindo tecnologias menos impactantes e mais eficientes.

A crescente discussão sobre o aquecimento global levou o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) a elaborar um manual de práticas para inventários nacionais de emissões atmosféricas causadoras de efeito estufa. Este tem como a principal finalidade, instituir metodologias para estimar as quantidades de gases gerados a partir do uso de energéticos, principalmente os de origem fóssil, em todos os países que compõem a Organização das Nações Unidas (ONU), uniformizando o conhecimento sobre o acréscimo destes na atmosfera e seus possíveis efeitos sobre o clima terrestre.

O “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas*” determina que “as emissões de gases de efeito estufa de fontes móveis são melhor calculadas pela quantidade de combustível queimado, teor de carbono e as emissões correspondentes de CO₂ (método *Tier – 1 ou top-down*)”.

Segundo o IPCC, o CO₂ é responsável por 97% das emissões totais de GEE provenientes de fontes móveis, admitindo uma incerteza de 5% “principalmente devido à operação do veículo, mais do que pela imprecisão do fator de emissão correspondente” (Álvares Jr., Linke, 2000). Portanto, o conhecimento sobre as emissões deste gás é de extrema importância.

“As emissões veiculares de metano (CH₄), hidrocarbonetos (HC), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x), correspondem a 3% do total, sendo mais difíceis de serem estimadas pois seus fatores de emissão são muito reduzidos, além de dependerem de elevado conhecimento sobre a mecânica veicular, da qualidade dos combustíveis e diversas características de operação. Porém, podem ser estimadas através do consumo de combustível de cada subgrupo de veículos e de seus fatores de emissão (método *Tier – 2 ou bottom-up*), desde que os dados sejam confiáveis” (Ribeiro, 2001).

O IPCC recomenda o uso de fatores de emissão locais para aplicação dos cálculos, uma vez que seu manual adota fatores de emissão relativos aos combustíveis utilizados nos Estados Unidos e nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Os órgãos nacionais que determinam os fatores a serem utilizados são o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Realizar o inventário sobre a emissão de GEE de fontes móveis facilita a análise e compreensão dos ganhos ambientais e econômicos na adoção de novas matrizes energéticas, além de auxiliar na elaboração de novas políticas públicas voltadas para o transporte coletivo em centros urbanos.

POPULAÇÃO E FROTA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES NO RN

O estado do Rio Grande do Norte há anos vem se destacando pela sua participação na extração e produção de fontes primárias de energia fóssil. Conforme a ANP, é o segundo do Brasil, ficando atrás apenas do Rio de Janeiro, que possui a maior reserva nacional de petróleo e gás natural, localizada na Bacia de Campos.

Este importante fator contribui para que os preços aplicados no estado, dos combustíveis derivados do petróleo, sejam inferiores a média nacional, o que relativamente impulsiona, junto ao estilo de consumo da população, o transporte rodoviário particular. Atualmente, segundo o DETRAN-RN, a frota de veículos automotores do estado é de 417.045, sendo 386.933 veículos leves e 30.112 veículos pesados. A capital Natal possui 196.569 veículos, enquanto o interior 220.495.

A população estadual em 1º de julho de 2004, estimada pelo IBGE, foi de 2.962.107 habitantes. A capital Natal abriga cerca de 766.081 residentes enquanto o interior 2.196.026, o que implica um índice de motorização para a capital igual a 25 veículos por 100 habitantes e para o interior igual a 10 veículos por 100 habitantes.

Observando o crescimento da frota de veículos desde de 1988, nota-se que a partir de 1994, ano em que se instituiu o plano real, o número de veículos automotores cresceu rapidamente, o que consolida o modelo de transporte rodoviário em detrimento aos demais.

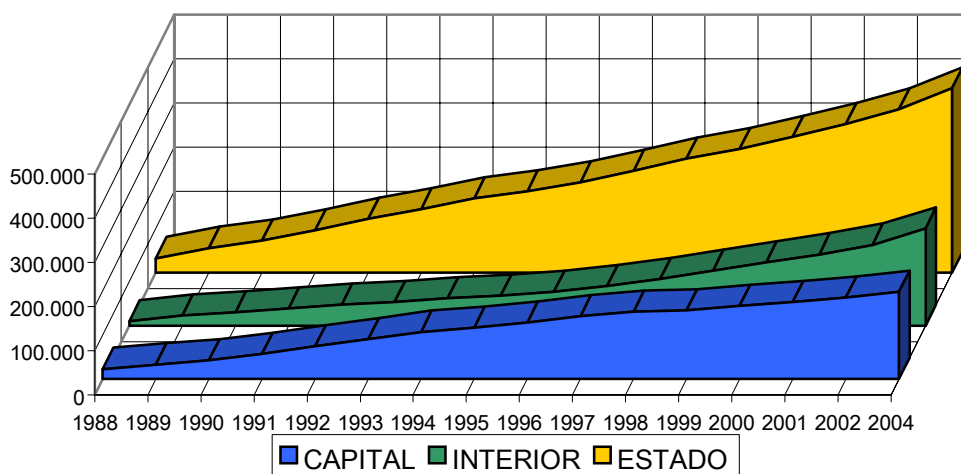


Figura 1 - Evolução da Frota de Veículos Automotores no RN - 1988 a 2004

Este crescimento, de certo modo descontrolado, acarretou em diversos problemas infraestruturais, fazendo com que o governo buscasse investimentos para solucioná-los, porém, de forma a beneficiar o transporte particular colocando o transporte coletivo em segundo plano.

Evidentemente, os níveis de GEE presentes na atmosfera elevam-se, o que se torna motivo de estudo, pois muito se pode perder em questões de saneamento, saúde ambiental, preservação de fachadas e limpeza urbana. Políticas públicas e leis que concretizem o maior controle sobre as emissões veiculares e a manutenção periódica dos veículos automotores em circulação, devem ser adotadas. A reversão do modal, que beneficia o

transporte particular ao coletivo, necessita de um aumento gradativo de investimentos de longo prazo, o que beneficiará o todo ao invés de uns.

CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS POR FONTES MÓVEIS NO RN - JANEIRO DE 2003 A JUNHO DE 2004

Dos 417.045 veículos automotores presentes no estado, 73,94% utilizam gasolina, 9,52% álcool, 9,09% diesel, 5,72% gás natural veicular (GNV) associado a outro combustível, restando 1,73% para as demais fontes, conforme o DETRAN-RN

Devido ao alto índice de motorização, o consumo de combustíveis por fontes móveis no estado do Rio Grande do Norte também é elevado se comparado a sua população. Os dados a seguir, obtidos na revista Brasil Energia, demonstram o consumo diário de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período de estudo.

Tabela 1 – Consumo Diário de Combustíveis

	GNV	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL HIDRATADO
jan/03	137,4	650,5	931,6	60,8
fev/03	137,7	608,2	943,0	58,9
mar/03	136,1	470,6	746,3	42,2
abr/03	139,0	533,0	813,2	43,9
mai/03	141,0	576,1	877,0	39,1
jun/03	141,7	573,9	836,8	39,1
jul/03	144,1	597,4	895,5	44,4
ago/03	147,6	592,7	867,3	53,5
set/03	144,3	610,5	969,5	50,3
out/03	150,8	642,7	1.024,6	50,5
nov/03	152,5	592,2	949,6	50,9
dez/03	157,4	716,0	1.043,2	56,9
jan/04	154,1	646,7	1.117,2	52,3
fev/04	148,6	649,4	889,9	53,0
mar/04	149,1	615,4	922,0	51,4
abr/04	148,6	636,7	945,8	64,3
mai/04	154,1	620,2	866,5	79,7
jun/04	152,3	nd*	nd*	nd*
MÉDIA	146,5	607,8	919,9	52,4
DESVIO PADRÃO	6,5	53,7	89,1	10,1

CONSUMO DE GNV EM 1.000 M³ / DIA
 CONSUMO DE GASOLINA, DIESEL E ÁLCOOL HIDRATADO EM
 1.000 LITROS / DIA
 * nd: DADO NÃO DISPONÍVEL

Os gráficos a seguir representam o consumo mensal de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período de estudo.

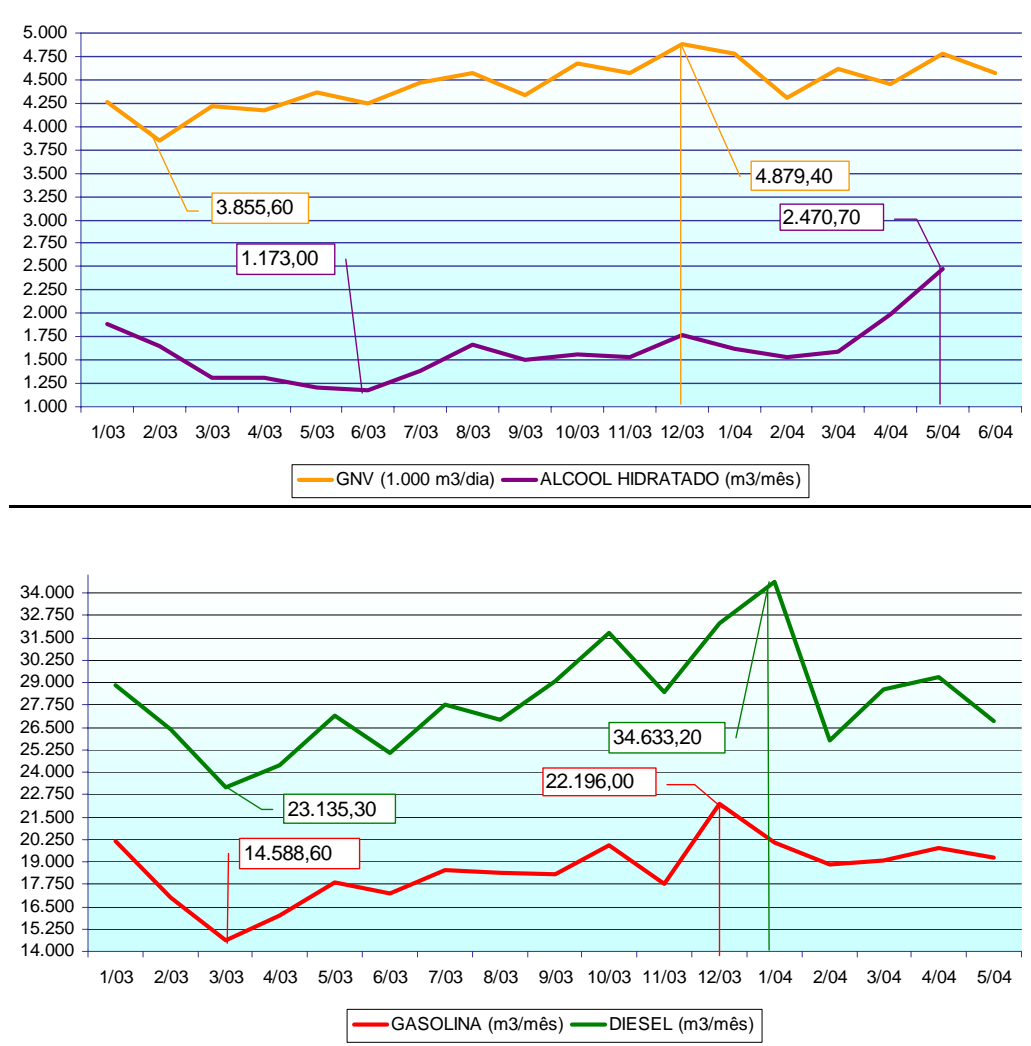


Figura 2 – Consumo Mensal de Combustíveis por Fontes Móveis no RN – 01/2003 a 06/2004

A tabela a seguir apresenta o consumo total de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período de estudo.

Tabela 2 – Consumo Total de Combustíveis

	GNV	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL HIDRATADO
TOTAL	80.138.520,00	314.865,20	476.631,10	27.160,30
CONSUMO DE GNV EM 1.000 m ³ /mês , CONSUMO DE GASOLINA, DIESEL E ÁLCOOL HIDRATADO EM m ³ /mês				

EMISSIONES DE CO₂ RELATIVO AO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS POR FONTES MÓVEIS NO RN - JANEIRO DE 2003 A JUNHO DE 2004

O método *top-down* descrito a seguir foi extraído da publicação “Metodologia Simplificada para Cálculo das Emissões de Gases de Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil”, elaborada em 2001 pelo Engenheiro Olimpio de Melo Álvares Jr. e o Físico Renato Ricardo Antonio Linke, ambos gerentes setoriais da unidade de Fontes Móveis da CETESB – SP.

- CONSUMO DE ENERGIA

Seguindo o método *top-down*, aconselhado pelo MME em 2003 no Balanço Energético Nacional – BEN, para estimar as emissões de GEE, faz-se necessário a conversão de todas as medidas de consumo de combustíveis para uma unidade comum. Em nosso caso de estudo a unidade comum adotada foi o tera-joule (1 TJ = 10¹² J). Para conversão dos volumes consumidos dos combustíveis utiliza-se a seguinte equação:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 41,841 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad (\text{eq. 01})$$

Onde:

CC = Consumo de energia em TJ;

CA = Consumo de combustível (m³);

Fconv = Fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tonelada equivalente de petróleo (tEP), com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível. Para o ano de 2003, conforme o Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo (ANP), os valores dos Fconv são: Gás Natural Seco e Úmido = 0,9361 tEP/10³ m³; Gasolina C e A = 0,75205 tEP/m³; Óleo Diesel = 0,88¹18 tEP/m³; Álcool Hidratado = 0,5097 tEP/m³. Para o ano de 2004 não há referência bibliográfica, portanto adota-se o Fconv de 2003;

1 tEP = 41,841 x 10⁻³ TJ (tera-joule = 1012 J);

Fcorr = Fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o Fcorr = 0,95 e para combustíveis gasosos, o Fcorr = 0,90, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

Portanto, aplicando a equação 01 ao consumo mensal de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período de estudo tem-se o consumo total de energia em TJ, apresentado os resultados na tabela a seguir:

Tabela 3 – Consumo Total de Energia em tera-joule (TJ)

	GNV	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL HIDRATADO
TOTAL	2.824,93284	9.412,32772	16.706,21753	550,26876

- CONTEÚDO DE CARBONO

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser estimada conforme a equação a seguir:

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3} \quad (\text{eq. 02})$$

Onde:

QC = Conteúdo de Carbono expresso em Giga grama de Carbono (1 GgC = 1.000 toneladas de Carbono);

CC = Consumo de energia em TJ;

Femiss = Fator de emissão de carbono em tonelada de carbono por terá-joule (tC/TJ). Os valores do IPCC, 1996 e MCT, 1999 dos Femiss são: gasolina (18,9 tC/TJ); álcool anidro (14,81 tC/TJ); álcool hidratado (14,81 tC/TJ); diesel (20,2 tC/TJ); gás natural seco (15,3 tC/TJ);

10^{-3} = tC/GgC.

Portanto, aplicando a equação 02 ao consumo total de energia relativo ao consumo total de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período de estudo tem-se o conteúdo total de carbono emitido em Giga grama de Carbono (GgC), apresentado os resultados na tabela a seguir:

Tabela 4 – Conteúdo Total de Carbono Emitido em Giga grama de Carbono (GgC)

	GNV	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL HIDRATADO
TOTAL	43,22147251	177,8929939	337,465594	8,149480327

- EMISSÕES REAIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

As emissões de dióxido de carbono podem ser calculadas a partir dos dados já obtidos anteriormente. Em função das massas moleculares do Carbono (C) e do Dióxido de Carbono (CO₂), 44 tCO₂ corresponde a 12 tC. Portanto, ao aplicar a equação seguinte obtém-se a quantidade real de emissões de CO₂.

$$ECO_2 = (QC \times 44/12) \times 1.000 \quad (\text{eq. 03})$$

Onde:

ECO₂ = Emissões reais de dióxido de carbono em tCO₂;

QC = Conteúdo de carbono em GgC;

44/12 = Conversão entre pesos moleculares;

1.000 = 1 GgCO₂ = 1.000 toneladas de Dióxido de Carbono

Portanto, aplicando a equação 03 ao conteúdo total de carbono emitido obtém-se as emissões reais totais de dióxido de carbono, em tonelada de CO₂, geradas pelo consumo de combustíveis por fontes móveis no estado durante o período, demonstrado na tabela a seguir:

Tabela 5 – Emissões Totais de Dióxido de Carbono em tonelada (tCO₂)

	GNV	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL HIDRATADO
TOTAL	158.478,73253	652.274,31092	1.237.373,84470	29.881,42786

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações climáticas em nosso planeta são influenciadas por ações naturais, porém, o homem, sendo o ser dominante de seu ecossistema, pode contribuir significativamente caso não tome conhecimento sobre os possíveis impactos causados por suas atividades, e não reverta suas ações.

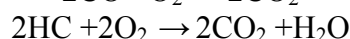
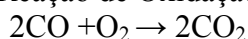
O Rio Grande do Norte apresenta uma frota de veículos automotores particular extremamente elevada. Percebe-se que há evolução no uso de veículos “bi-fuel”, principalmente aqueles que utilizam GNV e álcool. Este crescimento é importante tanto para elevar as matrizes energéticas e diminuir a dependência de outras, como também para a diminuição das emissões de CO₂. Entretanto, muitas conversões de veículos ainda são feitas irregularmente, o que, ao invés de beneficiar o consumidor, contribui para a descredibilidade do mercado e o aumento de gases poluentes.

A gasolina é o principal combustível utilizado por carros leves no estado, o que é preocupante, devido aos altos fatores de emissão de gases e à dependência de mercados externos que controlam grande parte da produção. Entretanto, o diesel, subsidiado pelo governo, impulsiona o mercado nacional, pois é utilizado no transporte de carga, não sendo diferente no estado. É notadamente o combustível mais poluente e economicamente custoso, se considerarmos todas as perdas ambientais, infraestruturais e governamentais de seu uso. Hoje passamos por uma crise neste setor, o que deverá fazer com que novas alternativas energéticas venham suprir, adequar e diminuir os gastos deste sistema.

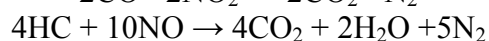
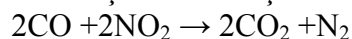
O transporte coletivo e público, principalmente nos grandes centros urbanos, poderá ser o ponto de partida para o desuso de diesel. Existem ônibus desenvolvidos pela PETROBRAS que utilizam gás natural como combustível, sendo um sistema de co-geração de energia fornecendo refrigeração interna. Cidades como São Paulo e Rio de Janeiro já utilizam estes ônibus em fase experimental. No Código do Meio Ambiente do Município de Natal, capítulo VI, que trata da poluição do ar, em seu artigo 78, dispõe que “será prioritário o uso do gás natural por parte do sistema de transporte público”. Portanto, ações conjuntas entre setores privados e públicos podem mudar o modal de locomoção no Rio Grande do Norte.

As legislações vigentes no Brasil, instituídas pelo IBAMA através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, não especificam a quantidade de CO₂ que pode ser emitida pela mecânica veicular em operação. Contudo, a quantificação deste gás é de interesse na análise de eficiência dos componentes específicos de controle de emissões nos motores, uma vez que estes têm a finalidade de favorecer as reações de oxidação, transformando as moléculas de CO e HC contidas nos gases de exaustão em CO₂ e H₂O (reação de oxidação), bem como as moléculas de NO_x em N₂ e O₂ (reação de redução).

Reação de Oxidação



Reação de Redução



Os dados obtidos nesta pesquisa visam dar suporte científico na comprovação de que a utilização de combustíveis com fatores de emissão baixos, como o gás natural e o álcool hidratado, devem ser incrementados tanto em veículos particulares como no transporte coletivo urbano e o de carga, favorecendo os ganhos ambientais e financeiros.

Apesar de não haver dados de emissões atmosféricas provenientes de outros setores e que sirvam de comparação aos aqui publicados, pode-se afirmar que as quantidades de GEE emitidas pelos transportes rodoviários no estado são elevadas, se comparadas a outros; muito devido ao alto índice de motorização e à crescente evolução exponencial da frota de veículos.

Inventariar as emissões de GEE oriundas destas atividades fornece ferramentas para compreensão da evolução do efeito estufa, fenômeno natural que mantém o clima terrestre propício à manutenção da vida. O CO₂ vem sendo continuamente acrescentado à atmosfera em concentrações elevadas, o que poderá ser motivo de aumento da temperatura média global. Caso isso venha acontecer, mudanças vitais ocorrerão.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP. *Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo 2003*. Disponível em www.anp.com.br. Acesso em 22 Ago. 2004.

ÁLVARES Jr., Olimpio de Melo; LACAVAL, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. *Emissões Atmosféricas*. Brasília: SENAI/DNI, 2002. 373 p.

_____. LINKE, Renato Ricardo Antônio – *Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil* – CETESB. São Paulo, 2002.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia – MME. *Balanço Energético Nacional 2003 – BEN*. Disponível em www.mme.gov.br. Acesso em 22 Ago. 2004.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Disponível em www.mct.gov.br. Acesso em 22 Ago. 2004.

BRASIL ENERGIA. Rio de Janeiro: Ed. Brasil Energia. 266 v a 285 v. Mensal.

NATAL, Prefeitura Municipal do. *Código do Meio Ambiente do Município de Natal*. Lei nº 4.100/92. 24 p.

IPCC (1996) - *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas* - Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and The International Energy Agency, London, United Kingdom.

_____. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 – Energy*. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and The International Energy Agency, London, United Kingdom.

RIBEIRO, Suzana Kahn; de Mattos, Laura Bedeschi Rego – *A importância do Setor de Transporte Rodoviário no Aquecimento Global – O Caso da Cidade do Rio de Janeiro*. COPPE. Rio de Janeiro, 2001.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI. *Manual Técnico de Inspeção Veicular*. São Paulo, 2001. 227 p.
