



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

HÉRCULYS PESSOA E CASTRO

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO
PRODUZIDO POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NO ESTADO
DA PARAÍBA DURANTE OS ÚLTIMOS 11 ANOS**

CAMPINA GRANDE-PB

2011

HÉRCULYS PESSOA E CASTRO

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO
PRODUZIDO POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NO ESTADO
DA PARAÍBA DURANTE OS ÚLTIMOS 11 ANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação de **Engenharia Sanitária e
Ambiental** da Universidade Estadual da
Paraíba, em cumprimento à exigência para
obtenção do Título de Engenheiro Sanitário e
Ambiental.

Orientador: Valderi Duarte Leite

CAMPINA GRANDE-PB

2011

C355i

Castro, Hérculys Pessoa e.

Inventário de emissões de dióxido de carbono produzido por veículos automotivos no estado da Paraíba durante os últimos 11 anos [manuscrito] / Hérculys Pessoa e Castro – 2011.

28 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologias, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Valderi Duarte Leite, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária”.

1. Engenharia ambiental. 2. Emissão de gases. 3. Efeito estufa. 4. Emissão automotiva CO₂. I. Título.

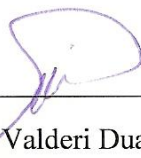
21. ed. CDD 628

HÉRCULYS PESSOA E CASTRO

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO
PRODUZIDO POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NO ESTADO
DA PARAÍBA DURANTE OS ÚLTIMOS 11 ANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação **Engenharia Sanitária e Ambiental** da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitário e Ambiental.

Aprovada em 10/06/2011.



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite/ UEPB

Orientador



Prof. Dr. Rui de Oliveira/ UEPB

Examinador



Profª. Mª. Ruth Silveira do Nascimento/ UEPB

Examinadora

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai Adelmo, que, por maior que fossem os obstáculos, assumiu sozinho uma saga da qual nunca fugiu e após a morte de sua esposa Marta, dedicou grande parte da sua vida a criar seus três filhos e a cumprir a promessa feita à sua mulher amada. Passados 15 anos, mais um terço da sua promessa será cumprida, e sei que a minha mãe estará vendo e estará feliz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS**, nele se concentram todas as minhas forças, todo o meu ânimo. O meu caminho está nas mãos dele, e mesmo eu achando que estou na trilha errada, ele sempre me mostra que os planos dele são muito melhores que os meus. Mesmo eu estando em falta com ele, sei que ele nunca desiste de mim. Nele encontro meu refúgio.

Agradeço a meu pai **Adelmo**, por toda luta dele, por todo o amor. Sei que muitas vezes sou incompreensivo, outras vezes incompreendido, mas sei que nunca estarei só, que ele é o único que estará por mim, seja qual for a situação.

Agradeço a minha mãe **Marta**, pois sei que onde quer que ela esteja sempre me deu energia para seguir minha caminhada.

Agradeço a minha irmãzinha **Lara**, por toda alegria em me receber e sempre se lembrar de mim, e também, às minhas irmãs **Hayla** e **Cynthia**, com as quais compartilhei toda minha infância.

Agradeço a **Cristiana**, muito mais que uma namorada, é minha melhor amiga, é uma mãe que por muito tempo não tive.

Agradeço aos meus colegas e amigos da universidade: **Igor, Cássio, Lucas, Narcísio, Abílio, Pablo, Flávia, Laíse, Elder, Kalina, Emanuel, Franklin, Jayson e Cícero** por todos os momentos de brincadeiras e risadas.

Agradeço a todos os colegas de trabalho da Biblioteca Central da UEPB e do Centro de Ciências Jurídicas, pela acolhida e amizade durante os últimos três anos.

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO PRODUZIDO POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NO ESTADO DA PARAÍBA DURANTE OS ÚLTIMOS 11 ANOS

CASTRO, Hérculys Pessoa e

RESUMO

No meio urbano os principais emissores de Gases do Efeito Estufa (GEE) são as fontes móveis e ,segundo o relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o CO₂ é responsável por mais de 97% dessas emissões. Este trabalho estima e analisa, de acordo com os tipos de combustíveis veiculares mais comuns (com exceção do GNV), emissões de GEE no estado da Paraíba nos últimos 11 anos (2000-2010), utilizando-se dados advindos de vendas emitidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O método utilizado para quantificar o CO₂ produzido foi baseado na quantidade de combustível queimado, teor de carbono e emissões correspondentes, conhecido como método “*top-down*”. As quantidades de óxido nítrico e metano emitidos não foram contabilizadas devido à sua baixa contribuição e difícil quantificação, embora sua estimativa possa ser realizada pelo método “*bottom-up*”, a partir das distâncias médias percorridas por cada classe de veículos.

PALAVRAS-CHAVE: Inventário de Emissões de GEE. Método *Top-down*. Emissões Automotivas de CO₂.

1. INTRODUÇÃO

Dados do Departamento Nacional de Transito revelam que a frota nacional brasileira de veículos terrestres ultrapassa 66 milhões (DENATRAN, 2011). Buscando-se dados do DENATRAN referentes ao ano 2000, em comparação com 2010, percebe-se que em 10 anos a frota nacional teve um aumento de 118% e, de dezembro de 2010 a abril de 2011, houve um acréscimo de mais de 1,7 milhões de veículos. Aumentos consideráveis também são encontrados para a frota rodoviária do estado da Paraíba, onde se encontram 728.809 veículos registrados no DENATRAN, número que representa quase três vezes a quantidade existente no ano 2000.

Se analisarmos esses dados sob uma visão socioeconômica, os mesmos podem adquirir caráter positivo. Admitindo-se que em 2010 a população do Brasil cresceu 12,3% em relação ao ano 2000, o que resulta em um crescimento médio anual de 1,17% (IBGE, 2011), percebe-se que o crescimento na frota nacional de veículos é muito maior que o crescimento populacional, isso indica que a população como um todo está apresentando maior poder de compra, bem como está tendo maior acesso a créditos. No entanto, do ponto de vista ambiental, está havendo uma maior emissão de gases oriundos de combustão, dentre eles gases que promovem o efeito estufa (GEE), sendo as fontes móveis os principais emissores desses gases no meio urbano.

Tendo em vista os fenômenos climáticos que estão ocorrendo no Planeta, bem como o aumento na temperatura global, é de fundamental importância realizar inventários sobre a emissão de GEE para facilitar a análise e compreensão dos ganhos ambientais e econômicos na adoção de políticas que visem à preservação da qualidade atmosférica.

Segundo o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o CO₂ é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis (IPCC, 1996 *apud* ÁLVARES JR., 2003). Devido à predominância desse gás dentre as emissões e a fatores de emissões imprecisos para outros GEE como N₂O e o CH₄ (contribuem, grosso modo, com cerca de até 3% e 1% das emissões em CO₂ equivalente, com incertezas de cerca de 50% e 40%, respectivamente) (IPCC, 1996 *apud* ÁLVARES JR., 2003), considera-se como boa prática na elaboração de inventários de emissões de GEE por fontes móveis, estimativas baseadas apenas nos dados relativos a CO₂.

Portanto, este trabalho tem por objetivo estimar e analisar, de acordo com os tipos de combustíveis veiculares rodoviários mais comuns (com exceção do GNV), emissões de GEE no estado da Paraíba nos últimos 11 anos (2000-2010), através de dados emitidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Vapor d'água e gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3) existem naturalmente na atmosfera e têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha (BRASIL, 2010), o que provoca a elevação da temperatura global, sendo denominado de *efeito estufa*. O mesmo é essencial para a manutenção da vida no Planeta, pois sem ele a Terra seria, em média, 30°C mais fria e não existiria vida na forma como conhecemos.

No entanto, a concentração de alguns desses gases vem aumentando consideravelmente, desde a Revolução Industrial. Além disso, passaram a ocorrer emissões de outros gases de efeito estufa, compostos químicos produzidos somente por atividades antrópicas, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6) (BRASIL, 2010), como também gases precursores indiretos como monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) (IPCC, 2006).

Adiante, serão descritas algumas considerações e correlações relevantes relacionadas ao efeito estufa, emissões veiculares e estimativa de GEE.

2.1. AQUECIMENTO GLOBAL E ATIVIDADES ANTRÓPICAS

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para fornecer uma declaração oficial sobre as alterações climáticas, suas causas, impactos e estratégias de decisões possíveis. Foram realizadas três avaliações das mudanças climáticas nos anos de 1990, 1995 e 2001, e uma quarta, publicada em 2007 (IPCC, 2007a). O último relatório, denominado *Climate Change 2007*, foi lançado em três seções:

- Relatório do Grupo de Trabalho I: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (A base física);
- Relatório do Grupo de Trabalho II: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade); e
- Relatório do Grupo de Trabalho III: *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* (Mitigação das Mudanças Climáticas).

Para cada relatório foi lançada uma versão resumida, destinada aos elaboradores de políticas (*Summary for Policymakers*).

O aquecimento global é motivo de grandes discussões, tanto devido à incerteza de sua causa (se faz parte de um ciclo natural de temperatura terrestre ou está sendo causado por ações antrópicas), quanto pela incerteza dos efeitos e gravidade dos mesmos. Nesse contexto, o relatório do grupo de trabalho I descreve os avanços feitos na compreensão dos fatores humanos e naturais que causam a mudança do clima, bem como, observações da mudança do clima, processos climáticos e atribuições, e estimativas da mudança do clima projetada para o futuro (IPCC, 2007b).

Nele é concluído que as concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde 1750 e, agora, ultrapassam em muito os valores pré-industriais, determinados com base em testemunhos de gelo de milhares de anos (IPCC, 2007b).

Também é relatado que os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos principalmente à agropecuária (IPCC, 2007b). Pode não ser tão aparente, mas a fermentação entérica nos ruminantes foi responsável por 63,2% das emissões de CH₄ do Brasil no ano de 2005 (BRASIL, 2010).

As emissões globais de CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs e SF₆ passaram de 28,7 para 49 gigatoneladas equivalentes de dióxido de carbono por ano (GtCO₂-eq), aumentando em 70% entre 1970 e 2004 (24% só entre 1990 e 2004). O CO₂ foi responsável por 77% do total das emissões antrópicas de GEE em 2004 (IPCC, 2007c).

Entre 1970 e 2004, o maior aumento de emissões diretas, 145%, foi registrado para o setor de oferta de energia; para o transporte, 120%; indústria, 65%; e mudança no uso da terra e

florestas, 40%. Entre os anos de 1970 e 1990, as emissões diretas da agricultura aumentaram em 27% e as das edificações, em 26%. No entanto, o setor de edificações tem um nível alto de uso de eletricidade, de modo que o total das emissões diretas e indiretas nesse setor é muito mais elevado (75%) do que o das emissões diretas (IPCC, 2007c).

Em consequência disso, onze dos doze anos entre 1995 e 2006 estão entre os 12 anos mais quentes dos registros instrumentais de temperatura da superfície global, que é monitorada desde 1850 (IPCC, 2007b).

O quarto relatório revela que a tendência linear de aumento de temperatura de 1906 a 2005 é de 0,74°C, mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000, apresentada no Terceiro Relatório de Análise (TRA), que foi de 0,6°C (IPCC, 2007b).

A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos analisados no relatório (1956 a 2005), 0,13°C por década é quase o dobro da dos últimos 100 anos analisados (1906 a 2005). Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais, mas locais, exercendo uma influência insignificante (menos de 0,006°C por década sobre a terra e zero sobre os oceanos) nos valores supracitados (IPCC, 2007b).

É *muito provável* (90% de certeza) que a maior parte do aumento observado nas temperaturas globais médias desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas emissões antrópicas de gases de efeito estufa (IPCC, 2007b).

Essa afirmação representa um avanço em relação ao TRA, que concluiu que “é *provável* (66% de certeza) que a maior parte do aquecimento observado ao longo dos últimos 50 anos se deva ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa” (IPCC, 2001 *apud* IPCC, 2007b).

2.2. GASES DO EFEITO ESTUFA E EMISÕES AUTOMOTIVAS

As fontes móveis produzem emissões de gases de efeito estufa diretos como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) a partir da combustão de vários tipos de combustível, bem como poluentes que interferem no efeito estufa de forma secundária como o

monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (IPCC, 2006).

As fontes de emissões móveis da categoria Transporte Rodoviário incluem todos os tipos de veículos comerciais ligeiros, tais como automóveis, motocicletas (incluídos os ciclomotores, motonetas e triciclos), caminhões leves e veículos pesados, como carretas e ônibus (IPCC, 2006).

Dados de BRASIL (2006) revelam que em 2005, dentre os setores inventariados (energia, processos industriais, uso de solventes, agropecuário, mudança no uso da terra e florestas, e tratamento de resíduos), o setor de transporte rodoviário (TR) foi responsável por 7,49% das emissões de CO₂; 0,05% das emissões de CH₄; 0,49% das emissões de N₂O; 7,99% das emissões de CO; 35,39% das emissões de NO_x e 12,55% das emissões de COVNM. Como pode ser visto na Tabela 1.

Nesse contexto, dentre os principais Gases do Efeito Estufa primários de fontes automotivas, o CO₂ é responsável por 99,9% das emissões (Valor onde não é considerado o Potencial de Aquecimento Global (GWP) de cada gás, discutido mais adiante).

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 1 pode ser constatada maior eficiência nos motores de veículos mais novos, pois, apesar da frota rodoviária nacional ter crescido bastante, as emissões de CO e CH₄, principal hidrocarboneto (HC) emitido, diminuíram com relação a 1990, sugerindo que uma menor parcela de combustível não é oxidada. Reflexo que pode ser atribuído ao PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (1986), bem como a Lei 8.723/93 que, dentre outras diretrizes, estabeleceram fatores de emissão limites para gases nocivos à saúde. Para veículos leves fabricados a partir de 1997, a Lei 8.723/93 estabeleceu fatores de emissão máximos de 2,0 g/km e 0,3g/km, respectivamente, de CO e HC (BRASIL, 1993).

Tabela 1 – Emissões totais e por transportes rodoviários de GEE entre 1990 e 2005.

Gás		1990	1994	2000	2005	Parcela 2005	Varição 1990- 2005
		Gg (CO₂)				(%)	
CO₂	Total	991.731	1.085.925	1.611.615	1.637.905	100	65,2
	TR	71.339	83.236	110.684	122.765	7,49	72,1
CH₄	Total	13.195	14.223	15.852	18.107	100	37,2
	TR	10,2	11,4	11,1	9,8	0,05	-3,5
N₂O	Total	376	421	455	546	100	45,3
	TR	1,51	1,78	2,22	2,67	0,49	76,8
CO	Total	35.296	37.273	40.563	41.339	100	17,1
	TR	7.783	7.967	5.303	3.302	7,99	-57,6
NO_x	Total	2.504	2.797	3.280	3.399	100	35,8
	TR	1.066	1.206	1.283	1.203	35,39	12,9
COVNM	Total	1.693	1.791	1.807	2.152	100	27,1
	TR	354	387	326	270	12,55	-23,9

Fonte: Adaptado de BRASIL. Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT), 2010. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal – Parte 2.

TR = Transporte Rodoviário

2.3. METODOS PARA ESTIMAR QUANTIDADES DE GEE

As metodologias fundamentais para estimar as emissões de gases de veículos rodoviários não mudaram desde a publicação das diretrizes do IPCC de 1996 e do *Good Practice Guidance* (GPG) de 2000, exceto que os fatores de emissão, agora, assumem a oxidação completa do combustível (IPCC, 2006). Nas publicações anteriores a 2006 o IPCC admitia que uma pequena porção do carbono de processos de combustão escapava à oxidação, na forma de CO e hidrocarbonetos, admitindo-se que 1% era armazenada permanentemente na forma de material particulado e cinzas (ÁLVARES Jr., 2003).

As abordagens utilizadas em estimativas de GEE são basicamente a “*Top-down*” e a “*Bottom-up*”, expressões essas, bastante enfatizadas pelas duas primeiras publicações de diretrizes do IPCC.

O método *top-down* é caracterizado por estimar a emissão de determinado combustível através de vendas totais do mesmo, assegurando-se que o combustível foi vendido, no caso, para fins de transporte rodoviário, sem especificar o tipo de veículo rodoviário que está utilizando esse combustível. Uma tradução literal do termo seria “de cima para baixo”. De fato, a metodologia apresentada reflete sua tradução, pois o cálculo das emissões é feito a partir de dados de um todo, dispensando-se as particularidades funcionais e diferenças entre cada classe de veículos.

Dessa forma, multiplica-se o consumo total do combustível, que deve ser contabilizado em unidades de energia (no caso, Joule), pelo fator de emissão do combustível (em kg/Joule).

Já o método *bottom-up* (tradução literal: “de baixo para cima”) estima as emissões a partir da atividade de cada classe de veículo com características similares. Deve-se analisar o tipo de veículo, o tipo de tecnologia de controle de emissões e o tipo de combustível consumido, bem como, identificar categorias-chaves, com fatores de emissões diferentes. A partir daí, pode-se obter as emissões de determinado gás somando todos os produtos da multiplicação dos consumos específicos de cada classe-chave pelos seus respectivos fatores de emissão (em kg/Joule).

Essa estimativa também pode ser feita através da quilometragem média percorrida anualmente por cada classe de veículos, pela quantidade de veículos da classe e pelos respectivos fatores de emissão (em kg/km), somando-se os resultados obtidos para cada classe-chave ao final, como mostra a Equação 1.

$$Emiss_{total\ i} = \sum(N_{classe\ a} \times FE_{i\ classe\ a} \times Km\ médio_{ano, classe\ a}) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$Emiss_{total\ i}$: Emissões totais do gás “i”;

N_{classe} : Frota estimada para a classe-chave “a”;

$FE_{i, \text{classe a}}$: Fator de emissão para o gás “i” na classe “a” em (kg/Km);

$Km \text{ médio}_{\text{ano, classe a}}$: Quilometragem média percorrida pela classe “a” em um ano (Km/ano).

A publicação do IPCC em 2006, “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa), prefere indicar as metodologias de estimativas de emissões de GEE por certos níveis de detalhamento ou aproximação da realidade para cada gás avaliado, sendo denominados por *Tier1*, *Tier2*, ou até, *Tier3*.

Emissões de CO₂ são melhor calculadas com base na quantidade e tipo de combustível queimado, bem como, seu teor de carbono (*top-down*) (IPCC, 2006). Exceto em casos raros (por exemplo, onde há contrabando em larga escala de combustível), a abordagem *top-down* é mais confiável para a estimativa desse GEE e sendo também simples de ser feita (IPCC, 2000). Ambos os dados da atividade, com base na distância (por exemplo, veículos/quilômetro percorrido) ou no consumo de combustível desagregado, para esse gás, podem ser consideravelmente menos corretos que aqueles sobre o combustível total vendido (IPCC, 2006). Além do que, como dito anteriormente, o dióxido de carbono é normalmente responsável por mais de 97% das emissões de CO₂-equivalente de veículos automotivos (IPCC, 2000), a incerteza nessa estimativa é de cerca de 5%, oriundos principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão (ÁLVARES Jr., 2003).

Nas Diretrizes do IPCC, os fatores de emissão de CO₂ são desenvolvidos com base no teor de carbono do combustível. É uma boa prática, se possível, utilizar dados específicos de cada país.

A diferença entre *Tier 1* e *2* para estimativas de emissão de CO₂, é que no primeiro são usados fatores de emissão padrões recomendados pelo IPCC, que devem ser utilizados quando não existem teores de carbono específicos do país para combustível vendido no transporte rodoviário (IPCC,2006).

No *Tier 1*, os fatores de emissão, a partir da publicação do IPCC de 2006, assumem que 100% do carbono presente no combustível é oxidado durante ou imediatamente após o processo de combustão independentemente de ter sido emitido na forma de CO₂, CH₄, CO e COVNM ou como partículas (IPCC, 2006).

No *Tier 2* para o CO₂, os fatores de emissão podem distinguir o carbono emitido na forma de outros gases, que não sejam CO₂ (IPCC, 2006).

Como complemento para a estimativa de CO₂, é uma boa prática, sempre que possível, usar a abordagem *bottom-up*, em paralelo, para oferecer controles de qualidade importantes. Diferenças significativas entre os resultados das abordagens *top-down* e *bottom-up* indicam que um ou ambos podem ter erros, e há uma necessidade de análise mais aprofundada (IPCC, 2000). A Figura 1 apresenta um fluxograma para tomada de decisão aplicada a estimativa de dióxido de carbono.

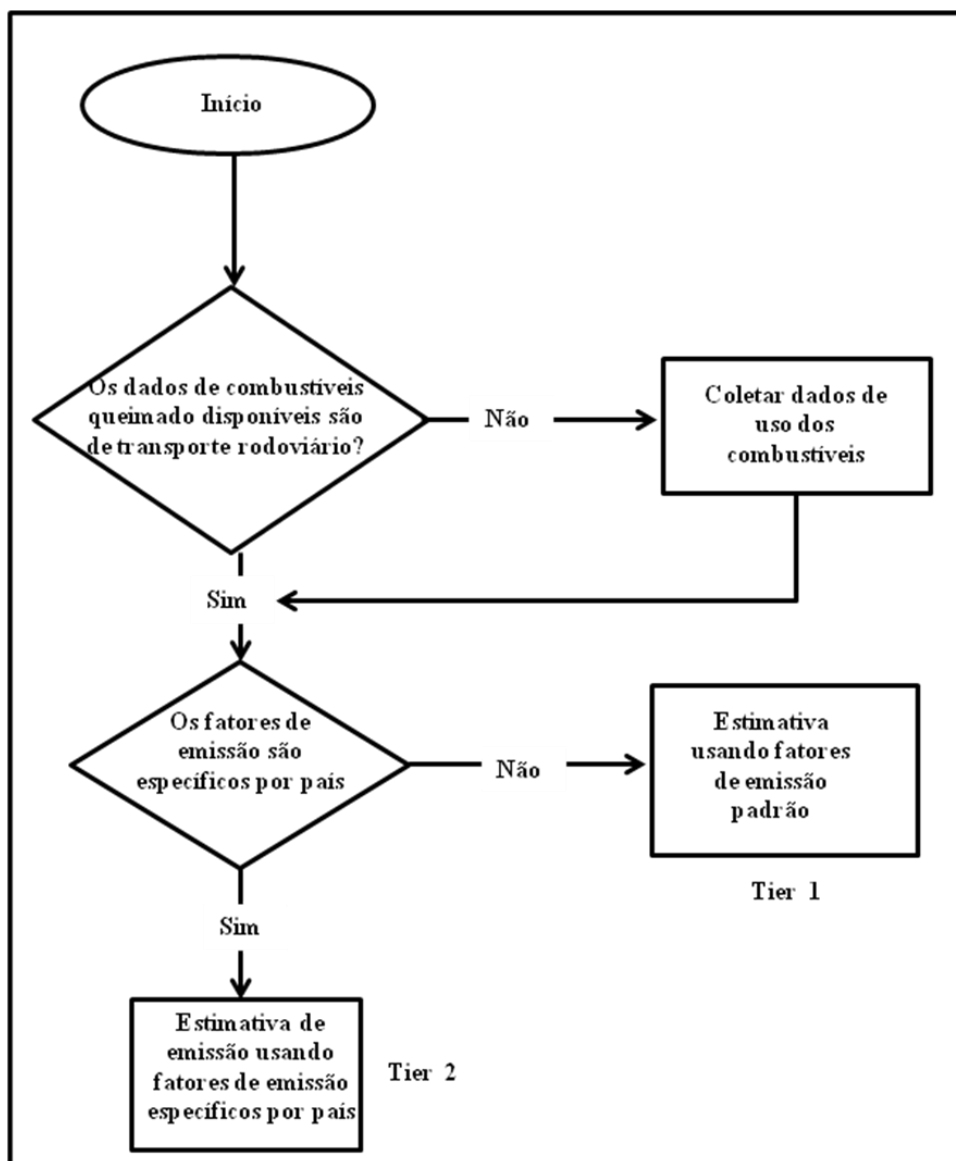


Figura 1 – Fluxograma para tomada de decisão sobre metodologia de estimativa de CO₂.

Fonte: Adaptado de IPCC, 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.

As emissões de CH₄ e N₂O são mais difíceis de estimar com precisão do que as de CO₂, pois dependem da tecnologia do veículo, combustível e características operacionais, variando bastante suas taxas de emissão. Fatores de emissão padrão de combustível em que não se especificam as tecnologias dos veículos são bastante incertos (IPCC, 2006). Dessa forma, considera-se uma boa prática usar a abordagem *bottom-up* (IPCC, 2000).

Três abordagens podem ser usadas para estimar emissões de CH₄ e N₂O provenientes dos veículos rodoviários: um baseia-se em quilômetros percorridos pelos veículos e duas são baseadas em combustível vendido.

O *Tier 3* é uma abordagem *bottom-up* que requer dados detalhados e específicos de cada país para gerar fatores de emissão com base em atividades para as subcategorias de veículos e que podem envolver modelos nacionais. Nela são calculadas as emissões por fatores de emissão multiplicados por níveis de atividade do veículo para cada subcategoria de veículo e tipo de estrada possível. As subcategorias de veículos são baseadas no tipo de veículo, a idade e a tecnologia de controle de emissões (IPCC, 2006).

A abordagem *Tier 2* utiliza fatores de emissão com base em combustíveis específicos para as subcategorias de veículos. *Tier 1*, que também utiliza fatores de emissão baseados em combustíveis, podem ser utilizadas se não for possível estimar o consumo de combustível por tipo de veículo (IPCC, 2006).

Por fim, as quantidades de GEE aferidas devem ser convertidas para CO₂ equivalente, de acordo com os seus respectivos Potenciais de Aquecimento Global (GWP) em um horizonte de 100 anos. O GWP baseia-se na importância dos gases de efeito estufa, em relação ao dióxido de carbono, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um pulso de emissão (BRASIL, 2010).

Segundo BRASIL (2010), o GWP não representa de forma adequada a contribuição relativa dos diferentes gases de efeito estufa à mudança do clima, sob alegação que a mudança do clima não é proporcional à energia (base do GWP), exceto para períodos de tempo muito curtos.

Nesse sentido, o quarto relatório de análises de mudanças climáticas, *Climate Change 2007*, examina métricas alternativas, como o *Global Temperature Potential* (GTP). Apesar de uma incerteza maior em seu cálculo, o GTP é uma métrica mais adequada para medir os efeitos dos diferentes gases na mudança do clima, e o seu uso propiciaria políticas de

mitigação mais apropriadas (BRASIL, 2010). Na Tabela 2 são apresentados os dados de GWP e o GTP em 100 anos para alguns GEE.

Tabela 2- Equivalência de CO₂ em 100 anos para GEE.

Gás	GTP-100	GWP-100
CO₂	1	1
CH₄	5	21
N₂O	270	310
HFC-125	1.113	2.800
HFC-134^a	55	1.300
HFC-143^a	4.288	3.800
HFC-152^a	0,1	140
CF₄	10.052	6.500
C₂F₄	22.468	9.200
SF₆	40.935	23.900

Fonte: BRASIL(2010). *Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.*

3. METODOLOGIA

O método “*top-down*”, descrito a seguir, é recomendado pelo IPCC para a estimativa de CO₂.

Como previsto pelo IPCC, todo o consumo deve ser convertido para uma unidade comum de energia, nesse caso, pelo sistema internacional, em Joule, como mostra a Equação 2.

$$C_E = C_c \times F_{conv} \times 45,87 \times 10^{-3} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

1 tEP_(Brasil)(tonelada equivalente de petróleo) = 45,87 x 10⁻³TJ (EPE, 2010);

C_E : Consumo de energia em TJ;

C_c : Consumo de combustível (m³);

F_{conv} : Fator de conversão da unidade física de medida do combustível para tEP.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2010, os valores do F_{conv} para o ano de 2009 são: gasolina automotiva (Gasolina C), 0,770 tEP/m³; Etanol hidratado, 0,510 tEP/m³ e diesel, 0,848 tEP/m³. Valores esses que permanecem inalterados desde 2002.

Antes de 2003 o BEM adotava o conteúdo energético como base no Poder Calorífico Superior enquanto o IPCC utilizava o poder calorífico inferior, sendo necessário um fator de correção para o fator de conversão. A partir de 2003 se passou a adotar os critérios internacionais, o petróleo de referência passou a ser o de 10000 kcal/kg e todos os fatores de conversões passaram a ser determinados com base nos poderes caloríficos inferiores das fontes de energia (EPE, 2010).

A determinação das emissões de CO₂ é feita pela multiplicação do fator de emissão do gás pelo consumo de energia encontrado na Equação 2. A emissão de Dióxido de Carbono expresso em toneladas é quantificado aplicando-se a Equação 3.

$$E_{CO_2} = C_E \times F_{emissCO_2} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

E_{CO_2} : Emissões de CO₂, expresso em toneladas;

C_E : Consumo de energia em TJ;

F_{emiss} : Fator de emissão de carbono (tCO₂/TJ).

Na combustão, uma parte do carbono do combustível escapa à oxidação, esta fração geralmente é pequena (99 a 100 por cento do carbono são oxidados) e assim os fatores de emissão são essencialmente dependentes apenas do teor de carbono do combustível (IPCC, 2006). Em níveis de especificação *Tier 1*, onde são utilizados emissões padrões, assume-se uma oxidação de 100%, ou seja, o fator de emissão de carbono é igual ao conteúdo de carbono do combustível, relacionando-se o peso molecular desse com o do CO₂, sendo 12g/mol para o carbono e 44g/mol para CO₂, como descrito na Equação 4.

Conteúdos de carbono padrão e respectivos fatores de emissão padrão são apresentados para alguns combustíveis na Tabela 3.

$$F_{emissCO_2} = A \times B \times \frac{44}{12} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$F_{emiss CO_2}$: Fator de emissão para o CO₂ (tCO₂/TJ);

A : Conteúdo de carbono do combustível (tC/TJ);

B : Fator de Oxidação do carbono (%), se for padrão é 100%;

Tabela 3 - Conteúdos de carbono padrão e respectivos fatores de emissão

Combustível	Conteúdo de carbono Padrão (tC/TJ)	Fator de emissão de CO₂ (tCO₂/TJ)
Gasolina Automotiva (Gasolina A)	18,9	69,3
Etanol Hidratado*	14,81	54,3
Etanol Anidro*	14,81	54,3
Óleo Diesel	20,2	74,1
Biodiesel	19,3	70,8

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006; IPCC, 1996 and MCT, 1999 apud Álvares Jr., 2003.

Nota: * Retirado de IPCC, 1996 and MCT, 1999 apud Álvares Jr., 2003.

A definição dos fatores de emissão deve observar a composição do combustível queimado e se o mesmo tem um padrão de mistura com outros combustíveis.

No Brasil foi determinada a mistura facultativa de 2% de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel entre 2005 e 2007. A partir de janeiro de 2008, passou a ser obrigatória, e em julho desse mesmo ano aumentou-se a proporção para 3%. Em dezembro de 2009, a mistura foi estabelecida em 4%. Já a gasolina, consumida no transporte rodoviário brasileiro, é composta por 75% de gasolina A e 25% de etanol anidro, dando origem à chamada gasolina C (ANP, 2010).

Nesse sentido, os fatores de emissão desses combustíveis devem ser ponderados de acordo a Equação 5.

$$F_{emissCO_2} = F_a \times P + F_b \times (1 - P)$$

Equação (5)

Onde:

P : Porcentagem do combustível “a”;

F_a : Fator de emissão de CO₂ do combustível “a”;

F_b : Fator de emissão de CO₂ do combustível “b”.

Seguindo o raciocínio supracitado, o fator de emissão para o diesel após 2008 passou para 74,0 tCO₂/TJ, não apresentando variações consideráveis nos anos seguintes por modificações em concentrações. A gasolina apresentou uma variação de 5,4%, tendo a gasolina C, um fator de emissão de 65,5 tCO₂/TJ. Portanto, devem-se utilizar os fatores de emissão para a gasolina C e utilizar fatores de emissões diferentes para o diesel nos anos antes de 2008 e após o mesmo.

O consumo de combustível foi obtido a partir de dados de vendas de distribuidoras de combustíveis autorizadas pela ANP que estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Venda de combustíveis pelas distribuidoras autorizadas pela ANP na Paraíba de janeiro de 2000 a 2010.

Combustível→	Gasolina C	Etanol	Óleo Diesel	Total
Ano↓	(m ³)	Hidratado (m ³)	(m ³)	
2000	220.441	37.877	259.004	517.322
2001	217.513	23.628	298.223	539.364
2002	240.568	22.626	340.087	603.281
2003	236.965	30.446	323.916	591.327
2004	270.767	32.054	339.807	642.628
2005	267.906	34.028	334.305	636.239
2006	281.008	36.597	335.808	653.413
2007	301.022	63.589	354.242	718.853
2008	341.331	89.660	368.078	799.069
2009	359.085	112.977	368.257	840.319
2010	444.826	86.560	403.687	935.073
Total	3.181.432	570.042	3.725.414	7.476.888

Fonte: Adaptado de Agência nacional de Petróleo, Gás natural e biocombustíveis-ANP (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido aos diferentes fatores de emissão e fatores de conversão, o metro cúbico de cada combustível irá emitir quantidades diferentes de CO₂. Em média, constata-se que a gasolina C emite 2,313t/m³, o etanol 1,270t/m³ e o diesel 2,517t/m³.

No entanto, deve-se observar que combustíveis com fatores de conversão menores irão precisar de maior volume para obter a mesma quantidade de energia. Em termos práticos, para se conseguir a mesma quantidade de energia que 1m³ de gasolina, será necessário 1,51m³ de etanol. Ou seja, se a gasolina emitir 2,313t de CO₂, para o etanol obter a mesma quantidade de energia, terá que se emitir efetivamente 1,918t de CO₂.

Percebe-se então, tanto em relação ao volume quanto à energia gerada, que a combustão do etanol emite menos CO₂ ao meio ambiente que a gasolina, analisando-se em termos de emissão líquida essa diferença é ainda maior, pois o ciclo de produção do etanol ainda absorve CO₂, fixado pelas plantas, no caso do Brasil, cana-de-açúcar. Esse efeito também se repete quando se compara o etanol e a gasolina ao diesel.

Em escalas maiores, também se percebe a influência dos tipos de combustíveis utilizados nas emissões de GEE, como mostra a estimativa feita a partir do consumo de gasolina, etanol e diesel no estado da Paraíba nos últimos 10 anos, segundo dados apresentados na Tabela 5.

Como esperado, as emissões de CO₂ seguem a tendência de vendas dos combustíveis com maior teor de energia e conteúdo de carbono, no caso o diesel e a gasolina. É notável que os picos de emissões, como mostra a Figura 2, estão presentes nos anos com maiores vendas desses combustíveis. Inclusive, o gráfico para gasolina tem uma semelhança muito grande com o gráfico de emissões de CO₂, principalmente por apresentar valores intermediários entre os altos níveis de fatores de conversão e emissão do diesel e os baixos níveis do etanol hidratado.

Tabela 5: Emissão de CO₂ por fontes móveis no estado da Paraíba de janeiro de 2000 a agosto de 2010.

Massa de CO ₂ → Ano ↓	Massa de CO ₂ (toneladas) (Gasolina C)	Massa de CO ₂ (toneladas) (Etanol)	Massa de CO ₂ (toneladas) (Diesel)	Total
2000	509.979,992	48.114,316	746.533,449	1.304.627,757
2001	503.206,200	30.014,126	859.575,315	1.392.795,641
2002	556.542,870	28.741,308	980.240,928	1.565.525,106
2003	548.207,497	38.674,881	933.630,866	1.520.513,244
2004	626.406,850	40.717,488	979.433,877	1.646.558,215
2005	619.788,060	43.225,017	963.575,330	1.626.588,407
2006	650.098,927	46.488,361	967.907,463	1.664.494,751
2007	696.400,384	80.775,702	1.021.040,224	1.798.216,310
2008	789.653,379	113.893,117	1.059.488,318	1.963.034,814
2009	830.726,432	143.512,187	1.060.003,558	2.034.242,177
2010	1.029.084,244	109.955,256	1.161.986,483	2.301.025,983
Total	7.360.094,835	724.111,759	10.733.415,811	18.817.622,405

Pelo fato da gasolina C e o etanol hidratado serem combustíveis concorrentes nas categorias de carros, principalmente veículos leves, é natural que aumentos nas vendas de gasolina indiquem que os carros introduzidos no mercado são preferencialmente movidos à mesma, dessa forma, carros movidos a álcool estavam deixando de ser inseridos no mercado, estagnando as vendas do álcool para os já existentes, de acordo com a Figura 2, tendo esse quadro se estendido até 2006.

O grande salto na venda de etanol de 2006 para 2007 é claramente atribuído à tecnologia “flex” no mercado de carros, afirmação essa que é ratificada pela reportagem da Revista *EXAME*, onde é mencionado que, em 2006, os carros flex já correspondiam a 10% da frota rodoviária leve do Brasil e representavam 76% dos carros novos vendidos (TEICH, 2006).

Pela Figura 2, percebe-se que o álcool passou três anos com aumentos de vendas paralelos com o aumento do consumo de gasolina. No entanto, a preferência pelo uso da gasolina, devido ao custo-benefício melhor, acentuaram as vendas da mesma a partir de 2009,

peelo fato de competirem pelo mesmo tanque do veículo, é natural que as vendas de álcool caíssem de forma acentuada.

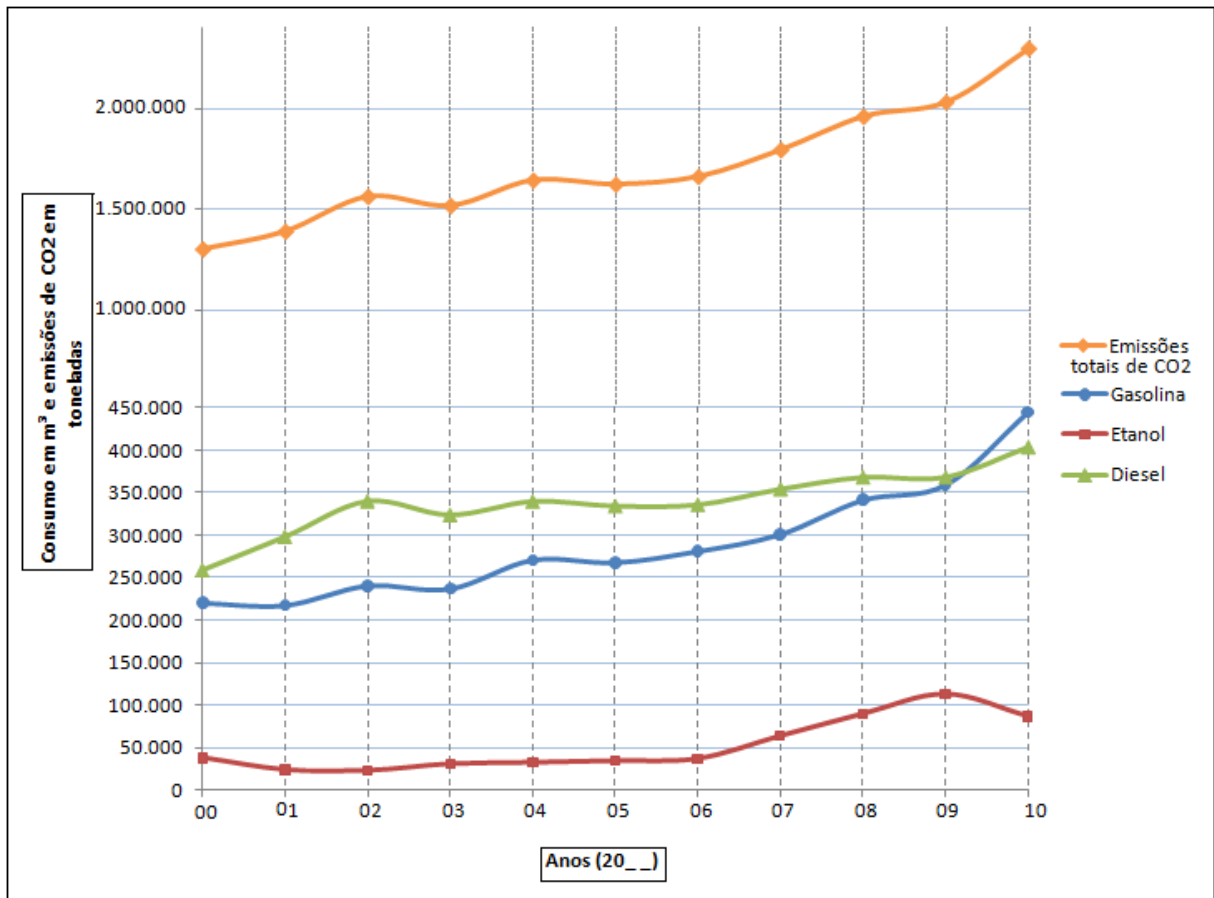


Figura 2: Perfil do consumo por tipo combustível (m³) e emissões totais de CO₂ no espaço temporal compreendido entre 2000 e 2010.

Também podemos perceber pela Figura 2 que o diesel e a gasolina não competem entre si pelas vendas, pois se tratam de combustíveis para categorias diferentes. O fato da gasolina apresentar um crescimento nas vendas maior que o diesel para esses últimos anos, pode indicar que a proporção de carros leves está crescendo mais que a de carros pesados (como caminhões e carretas), fato que pode se tornar ambientalmente preocupante, pois carros mais leves se concentram mais nas cidades, para transporte das próprias pessoas, e carros mais pesados geralmente são encontrados mais dispersos em rodovias, no transporte de mercadorias. Dessa forma, pode-se inferir que está havendo uma maior concentração de veículos automotores, que emitem gases nocivos à saúde humana, bem com Gases do Efeito Estufa de forma mais concentrada.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou algumas formas de se medir GEE para o transporte rodoviário, bem como realizou um inventário sobre as emissões de gases do efeito estufa por fontes móveis no estado da Paraíba, de 2000 a 2010.

Vale salientar, que os valores apresentados para as quantidades de CO₂ emitido, representam uma tendência e fornece uma base em termos de noção da quantidade de GEE. Porém, não podem ser tomados como valores exatos, tendo em vista que muitas simplificações foram feitas, tais como:

- Desprezaram-se as quantidades de óxido nitroso e metano emitidos, dentre outros GEE, que são de difícil quantificação devido ao grau de incerteza de seus fatores de emissão, recomendando-se quantificá-los pelo método “*bottom-up*”;
- Utilizaram-se fatores de emissão padrão, sendo fatores de emissão nacionais mais precisos para a estimativa dos GEE;
- Devido a se estar usando fatores de emissão padrão, utilizaram-se conteúdos de carbono de combustíveis de outros países, admitindo-se que todo carbono é oxidado em CO₂;
- Foram utilizados fatores de conversão emitidos pela EPE para 2009, que apesar de serem os mesmos desde 2002, não se sabe se para o ano de 2000 e 2001 eram os mesmos;
- O inventário de emissões não contabilizou a contribuição do Gás Natural Veicular (GNV), importante combustível automotivo, mas que não pôde entrar na contagem por não terem sido encontrados dados confiáveis, onde se garantia que o gás natural fora utilizado para fins automotivos, para o período de tempo estudado.

Portanto, recomenda-se que estudos mais robustos e complexos sejam realizados sem as simplificações supracitadas, para que se tenham estimativas de dióxido de carbono e outros GEE mais fidedignas para o estado da Paraíba.

ABSTRACT

Knowing that in urban areas the main sources of Greenhouse Gases (GHG) are mobile and that according to the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), CO₂ is responsible for more than 97% of these emissions, this paper estimates and analyzes, according to the types of vehicle fuels most common (except GNV), GHG emissions in the state of Paraíba, northeast Brazil, in the last 11 years (2000-2010), based on date of sales issued by the Brazilian National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP). The method used to quantify the CO₂ is based on the amount of fuel burned, carbon and related emissions, known as method “*top-down*”. The quantities of methane and nitrous oxide emitted were not counted because of its low contribution and difficult quantification, being recommended to estimate them by the method “*bottom-up*”, on the basis of average distances traveled by each vehicle class.

KEYWORDS: Inventory of GHG emissions. *Top-down* method . Automotive emissions of CO₂.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURA E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP (BRASIL). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis- 2010**. Rio de Janeiro: 2010.
2. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURA E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP (BRASIL). **Vendas, pelas distribuidoras, dos combustíveis de petróleo por Unidade da Federação e produto – 2000-2011(m³)**, 2011. Disponível em <http://www.anp.gov.br/>, acessado em maio de 2011.
3. ÁLVARES JR., O. M.; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frota de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2003. Apresentado no SIMEA: Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, 2003.
4. BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei Nº 8.723, 28 de outubro de 1993**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/>, acessado em maio de 2011.
5. BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal – Parte 2**, 2010.
6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação- 2000**. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>, acessado em maio de 2011.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação- dezembro/2010**. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>, acessado em maio de 2011.
8. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação- abril/2011**. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>, acessado em maio de 2011.
9. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (BRASIL) . Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético Nacional 2010: Ano base 2009**. Rio de Janeiro: 2010.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: 2011.
11. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Chapter 2: Energy, 2000.

12. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2: Energy. Chapters 1 end 3, 2006.
13. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA). *General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment*. Version 2. June, 2007a.
14. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers, 2007b.
15. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Summary for Policymakers, 2007c.
16. TEICH, D. H. **A consagração do carro flex**. Artigo publicado na revista EXAME, edição 0870. Junho de 2006. Disponível em <http://exame.abril.com.br/>, acessado em maio de 2011.