

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
POR FONTES MÓVEIS, NO SETOR ENERGÉTICO**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RONALDO MOTA SARDENBERG

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
LUIZ GYLVAN MEIRA FILHO

SECRETÁRIA ADJUNTA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
THELMA KRUG

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Expressamos nossa mais profunda gratidão ao Prof. José Israel Vargas, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de 1992 a 1999, por compartilhar conosco seus conhecimentos e suas idéias sobre as questões da mudança do clima e por sua incessante orientação e incentivo. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Luiz Carlos Bresser Pereira, Ministro da Ciência e Tecnologia de janeiro a julho de 1999. Nossos agradecimentos especiais a Fábio Feldman, ex-Deputado pelo Estado de São Paulo e ex-Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, nosso reconhecimento e gratidão por seu empenho em transformar idéias em realidade. Também agradecemos a Stela Goldenstein, ex-Vice-Secretária de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Nelson Nefussi, ex-Presidente da CETESB, e Fernando Cardozo Fernandes Rei, Diretor de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da CETESB, e o atual Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Ricardo Tripoli, por seu apoio contínuo ao projeto. Agradecemos, ainda, à equipe do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na pessoa do seu presidente, Sérgio Besserman Vianna, pelo apoio na impressão desta publicação.

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
POR FONTES MÓVEIS, NO SETOR ENERGÉTICO**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia
Departamento de Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais

Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 244

70067-900 - Brasília - DF

Telefone: 61 317-7923 e 317-7523

Fax: 61 317-7657

e-mail: cpmg@mct.gov.br

<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Branca Bastos Americano

Newton Paciornik

Mauro Meirelles de Oliveira Santos

Revisão de Editoração:

Mara Lorena Maia Fares

Anexandra de Ávila Ribeiro

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/95/G31

SCN Quadra 02 Bloco A - Ed. Corporate Center 7º Andar

70712-901 - Brasília - DF

Telefone: 61 329-2000

Fax: 61 329-2099

e-mail: registry@undp.org.br

<http://www.undp.org.br>

U.S. Country Studies Program

PO-2, Room GP-196

1000 Independence Avenue, SW

Washington, D.C. 20585 USA

Telefone: 1 202 426-1628

Fax: 1 202 426-1540/1551

e-mail: csmt@igc.apc.org

<http://www.gcario.org/CSP/webpage.html>

Agradecemos à equipe administrativa do GEF, do PNUD e do U.S. Country Studies Program e, em particular, a algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível: Emma Torres, Richard Hosier e Vesa Rutanen, todos do PNUD/Nova York; Cristina Montenegro, do PNUD/Brasil, de 1985 a 1999, por seu apoio e incentivo em todos os momentos; e Jack Fitzgerald e Robert K. Dixon, do U.S. Country Studies Program, que propiciaram o encaminhamento do programa. A todas essas pessoas, por sua liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Prefácio	11
Introdução	12
Sumário Executivo	15
1 Transporte Rodoviário – Veículos Leves	19
1.1 Introdução	20
1.2 Frota nacional circulante – FNC	21
1.2.1 Vendas de veículos novos	21
1.2.2 Processo de conversão	23
1.2.3 Curvas de sucateamento	24
1.2.4 Cálculo da frota nacional circulante	25
1.2.4.1 Estimativa da frota sem conversão (FI)	25
1.2.4.2 Cálculo da frota de veículos convertidos (FC)	26
1.2.4.3 Cálculo da frota nacional circulante	27
1.2.5 Frota nacional circulante por faixa etária	28
1.3 Distância média percorrida - DM	32
1.4 Fatores de emissão	33
1.4.1 Fatores de emissão de veículos novos	33
1.4.2 Fatores de deterioração	37
1.5 Cálculo das emissões	38
1.5.1 Emissões e fatores de emissão médios	39
1.5.2 Emissões por faixa etária da frota	42
1.6 Emissões evitadas	48
1.7 Considerações finais	50
2 Transporte Rodoviário – Veículos Pesados	52
2.1 Introdução	53
2.2 Estimativa da frota	54
2.2.1 Venda de veículos	54
2.2.2 Sucateamento de Veículos	56
2.2.3 Distribuição da frota por idade de veículos	58
2.3 Cálculo do fator de rateio	61
2.4 Fatores de emissão	64
2.4.1 Fatores de emissão para os gases CO, HC e NO _x	64

2.4.2	Fatores de emissão para os gases CH ₄ N ₂ O e NMVOC	65
2.4.3	Fator de emissão para o CO ₂	66
2.5	Cálculo das emissões	67
2.5.1	Emissões por categoria de veículos	67
3	Transporte Aéreo	70
3.1	Introdução	71
3.2	Metodologia	71
3.3	Resultados	72
	Referências Bibliográficas	88
	Anexos	89

Lista de Figuras

	Página
Figura 1 – Vendas de veículos novos	22
Figura 2 – Processo de conversão de veículos (em mil veículos)	23
Figura 3 – Curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves - PETROBRAS	24
Figura 4 – Frota de veículos a gasolina por faixa etária	30
Figura 5 – Frota de veículos a álcool por faixa etária	30
Figura 6 – Frota total de veículos por faixa etária	31
Figura 7 – Distância média percorrida pela frota do ano (no período de 1990 até 1994), segundo a faixa etária - veículos a gasolina	32
Figura 8 – Distância média percorrida pela frota do ano (no período de 1990 até 1994), segundo a faixa etária - veículos a álcool	32
Figura 9 – Emissões da frota a gasolina por faixa etária - 1994	43
Figura 10 – Emissões da frota a álcool por faixa etária - 1994	44
Figura 11 – Emissões da frota total por faixa etária - 1994	45
Figura 12 – Evolução dos fatores de emissão médios da frota	51
Figura 13 – Participação do diesel nas vendas de veículos pesados por combustível	55
Figura 14 – Venda de veículos diesel por tipo de veículo (inclui importados)	56
Figura 15 – Curvas de sucateamento	57
Figura 16 – Frota diesel no Brasil por tipo de veículo	58
Figura 17 – Frota de caminhões a diesel por faixa etária 1990-1994	59
Figura 18 – Frota de ônibus a diesel por faixa etária 1990-1994	60
Figura 19 – Frota de veículos leves por faixa etária 1990-1994	61
Figura 20 – Consumo específico em função da rotação do motor	63

Lista de Tabelas

	Página
Tabela 1 – Frota nacional de automóveis e comerciais leves sem conversão	26
Tabela 2 – Frota nacional de automóveis e comerciais leves convertidos	27
Tabela 3 – Frota nacional circulante de automóveis e comerciais leves	27
Tabela 4 – Definição das faixas etárias para a frota nacional de veículos leves.	28
Tabela 5 – Frota por faixa etária	29
Tabela 6 – Fatores de emissão de veículos leves novos a gasolina (CETESB)	34
Tabela 7 – Fatores de emissão de veículos leves novos a álcool (CETESB)	34
Tabela 8 – Fatores de emissão de veículos leves novos a gasolina (outros)	36
Tabela 9 – Fatores de emissão de veículos leves novos a álcool (outros)	36
Tabela 10 – Frota de automóveis e comerciais leves para cálculo das emissões	39
Tabela 11 – Emissões e fatores de emissão médios da frota nacional de veículos leves – 1990-1994	40
Tabela 12 – Parcela de CO ₂ proveniente da queima da gasolina pura na gasolina brasileira - período 1990-1994	41
Tabela 13 – Emissões e os fatores de emissão médios do CO ₂ entre 1990 e 1994 – comparação entre as emissões totais e a parcela que contribui para o efeito estufa.	42
Tabela 14 – Emissões por faixa etária da frota a gasolina para 1994	43
Tabela 15 – Emissões por faixa etária da frota a álcool para 1994	44
Tabela 16 – Emissões por faixa etária da frota total para 1994	45
Tabela 17 – Fatores de emissão médios por faixa etária para a frota 1994	47
Tabela 18 – Emissões evitadas	49
Tabela 19 – Frota DENATRAN	57
Tabela 20 – Constantes de ajuste	58
Tabela 21 – Frota de caminhões a diesel por faixa etária 1990-1994	60
Tabela 22 – Frota de ônibus a diesel por faixa etária 1990-1994	60
Tabela 23 – Frota de veículos leves a diesel por faixa etária 1990-1994	61

Tabela 24 – Participação na frota diesel (%)	62
Tabela 25 – Parâmetros adicionais para cálculo das emissões	62
Tabela 26 – Fatores de rateio do diesel	63
Tabela 27 – Fatores de emissão em g/kWh	64
Tabela 28 – Fatores de emissão em g/L combustível	65
Tabela 29 – Fatores de emissão em g/L combustível.	67
Tabela 30 – Emissões pela frota diesel	67
Tabela 31 – Emissões de C ₂ O por categoria de veículos	68
Tabela 32 – Emissões de CO por categoria de veículos	68
Tabela 33 – Emissões de CH ₄ por categoria de veículos	68
Tabela 34 – Emissões de NO _x por categoria de veículos	69
Tabela 35 – Emissões de N ₂ O por categoria de veículos	69
Tabela 36 – Emissões de NMVOC por categoria de veículos	69
Tabela 37 – Consumo de querosene de aviação - empresas distribuidoras	72
Tabela 38 – Consumo de querosene de aviação - comparação entre dados do BEN e da ANP	73
Tabela 39 – Consumo de querosene de aviação - valores adotados no trabalho	73
Tabela 40 – Dados sobre vôos domésticos - 1995	74
Tabela 41 – Dados sobre vôos internacionais - 1995	75
Tabela 42 – Emissões de CO ₂ - vôos domésticos - 1995	76
Tabela 43 – Emissões de CO ₂ - vôos internacionais - 1995	77
Tabela 44 – Emissões de CO - vôos domésticos - 1995	78
Tabela 45 – Emissões de CO - vôos internacionais - 1995	79
Tabela 46 – Emissões de CH ₄ - vôos domésticos - 1995	80
Tabela 47 – Emissões de CH ₄ - vôos internacionais - 1995	81
Tabela 48 – Emissões de NO _x - vôos domésticos - 1995	82
Tabela 49 – Emissões de NO _x - vôos internacionais - 1995	83
Tabela 50 – Emissões de N ₂ O - vôos domésticos - 1995	84

Tabela 51 – Emissões de N ₂ O - vôos internacionais - 1995	85
Tabela 52 – Emissões de NMVOC - vôos domésticos - 1995	86
Tabela 53 – Emissões de NMVOC - vôos internacionais - 1995	87
Tabela 54 – Emissões totais de gases de efeito estufa do transporte aéreo - 1995	87

Prefácio

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima entrou em vigor no Brasil em 1994, após ratificação pelo Congresso Nacional. Nos termos da Convenção, os países assumem, entre outros, o compromisso de desenvolver e atualizar, periodicamente, inventários nacionais das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros dos gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, além de fornecer uma descrição geral das providências para implementar a Convenção. A série de relatórios setoriais, aqui apresentada, abrange os trabalhos que serviram de base para a elaboração do primeiro inventário brasileiro de gases de efeito estufa, referente ao período 1990-1994.

Para que o Brasil atendesse seus compromissos internacionais nesse campo, foi estabelecido, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, um quadro institucional, na forma de um Programa, que também envolveu, para a elaboração dos relatórios setoriais, especialistas externos e instituições com reconhecida capacidade em cada área específica. Aos coordenadores setoriais coube a tarefa de envolver instituições e especialistas nas áreas definidas, para coleta e organização de dados, informações e bibliografia. As atividades foram desenvolvidas de maneira descentralizada, dada sua natureza multidisciplinar, envolvendo cerca de uma centena de instituições e quinhentos especialistas dos setores energético, industrial, florestal, agropecuário e de tratamento de resíduos. Os trabalhos, em muitos casos, envolveram a estimativa de indicadores e coleta de informações que não estão disponíveis na literatura científica nacional e, em alguns casos, informações privadas de empresas nacionais.

A metodologia adotada pela Convenção foi desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, em conjunto com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos - OCDE e a Agência Internacional de Energia - IEA, com o objetivo de permitir o cálculo e a apresentação das emissões antrópicas líquidas nacionais de gases de efeito estufa e encorajar sua disseminação entre os países participantes do IPCC e Partes da Convenção.

Algumas características importantes merecem ser ressaltadas. Em primeiro lugar, as emissões representam estimativas feitas em *bona fide*, ou seja, visam minimizar as incertezas e não criar viés infundado. Buscou-se a melhor estimativa possível, levando em consideração o atual estágio do conhecimento científico e a disponibilidade de recursos humanos e financeiros. Nem sempre as estatísticas existentes no País permitem a adequada avaliação das emissões e, de modo geral, em determinados setores onde não existe informação, métodos específicos foram desenvolvidos para avaliação do nível de atividade.

Adicionalmente, a coordenação do MCT, mediante a revisão detalhada dos resultados, orientou-se na busca do controle da qualidade, da confiabilidade e da transparência das informações contidas nos relatórios setoriais, disponíveis a qualquer interessado no endereço eletrônico www.mct.gov.br/clima. São encorajados comentários e sugestões que possam aprimorar o conteúdo dos relatórios, que resultarão no documento final a ser apresentado à Convenção.

Cumprе ressaltar que esta série de relatórios representa um pequeno passo na compreensão dos diferentes processos de emissões de gases de efeito estufa por atividades antrópicas no País, mas representa um grande avanço para o Brasil. O enfoque baseado na idéia de um processo de melhorias contínuas e graduais permitiu o êxito, alcançado em apenas cinco anos, no esforço de coordenação das atividades nos diferentes setores nacionais, a participação abrangente de instituições e especialistas e a capacitação e conscientização da sociedade nas questões da mudança do clima.

Esse esforço permitiu e continuará a garantir o papel de relevo do Brasil nas negociações internacionais sobre mudança do clima, ao qual se soma, do ponto de vista interno, a recente ratificação do Protocolo de Quioto pelo Brasil. Mais do que isso, boa parte desse esforço terá sido empreendida não apenas em cumprimento a disposições de uma convenção internacional, mas em proveito do País e da sociedade brasileira.

Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg
Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia
Brasília, junho de 2002

Introdução

A questão do aquecimento global, difícil de ser compreendida por sua complexidade científica e a existência de poucos especialistas neste tema no Brasil, geralmente envolvidos com projetos considerados mais prioritários, tornam a elaboração do inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa um esforço complexo e pioneiro.

Há, além dessas dificuldades, a falta de material disponível em português sobre o assunto, a falta de conhecimento sobre as obrigações brasileiras no âmbito da Convenção, a falta de recursos para estudos mais abrangentes e dúvidas sobre os benefícios que adviriam para as instituições envolvidas nesse processo.

Outra dificuldade encontrada é o fato de a mudança do clima não ser um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de terem superado os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa (utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.). Além disso, programas de conservação de energia têm buscado, desde meados da década de 80, melhorar ainda mais a produção de energia e os padrões de consumo no Brasil.

Para que o Brasil cumprisse as obrigações assumidas no âmbito da Convenção, foi estabelecido um quadro institucional na forma de um Programa, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos financeiros aportados pelo PNUD/GEF e apoio adicional do governo norte-americano. Buscou-se, durante a elaboração do inventário, por sua abrangência e especificidade, envolver diversos setores geradores de informação e a participação de especialistas de diversos ministérios, instituições federais, estaduais, associações de classe da indústria, empresas públicas e privadas, organizações não-governamentais, universidades e centros de pesquisas.

Por sua própria origem, a metodologia do IPCC adotada pela Convenção tem, como referência, pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para os países em desenvolvimento, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária. Portanto, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com a devida cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, as realidades nacionais. Em muitos casos, não há pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes. A avaliação de emissões decorrentes do uso intensivo de biomassa no Brasil também não encontra apoio na metodologia, muito embora tais emissões, dado o caráter renovável da biomassa, não sejam contabilizadas nos totais nacionais.

A aplicação da metodologia do IPCC pelos países em desenvolvimento impõe a esses países um ajuste a um sistema para cuja elaboração pouco contribuíram. De qualquer modo, durante sua aplicação, não abdicamos do dever de exercer alguma influência, ainda que modesta, por exemplo, em relação à mudança de uso da terra e florestas. Deve-se levar em conta que o Brasil é um dos países que têm melhores e mais abrangentes sistemas de monitoramento permanente deste setor. Estudos pioneiros foram realizados em relação às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para uso agrícola, pelos reservatórios de hidrelétricas e por queimadas prescritas do cerrado. Cuidado deve ser tomado, também, ao se comparar os resultados totais de emissões por tipo de gás de efeito estufa. Diferenças metodológicas com outros inventários internacionais de emissões de gases de efeito estufa, em especial com alguns países desenvolvidos

que não relatam adequadamente suas emissões, como, por exemplo, no caso de mudanças no uso da terra e florestas, impedem a simples comparação dos resultados.

No Brasil, a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, muitas vezes, medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Deve-se ter em conta que a elaboração de um inventário nacional é um empreendimento intensivo em recursos. Há que se estabelecer prioridades para realizar estudos e pesquisas de emissões nos setores e gases de efeito estufa principais, uma vez que a metodologia das estimativas e a qualidade dos dados podem melhorar com o tempo. Em virtude deste fato, os relatórios setoriais baseiam-se, normalmente, em trabalhos previamente feitos por diversas instituições nacionais.

Finalmente, é preciso lembrar que ao mesmo tempo que a avaliação das emissões anuais por cada um dos países é importante para o dimensionamento das emissões globais e para a compreensão da evolução futura do problema das mudanças climáticas, as emissões anuais de gases de efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global, visto que o aumento da temperatura é função da acumulação das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos diversos gases de efeito estufa na atmosfera. Para cada diferente nível de concentração de cada gás de efeito estufa, há uma acumulação de energia na superfície da Terra ao longo dos anos. Como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (documento FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3), a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas das emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético, incluindo o transporte rodoviário, nas categorias de veículos leves e veículos pesados, e o transporte aéreo. Foi elaborado com base nas Diretrizes Revisadas de 1996 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC.

As diretrizes do IPCC para o setor Energia estabelecem três abordagens para estimação das emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis. As duas primeiras baseiam-se na oferta de energia e no consumo de energia por setor e são objeto de dois outros relatórios de referência.

Para algumas fontes móveis, o IPCC sugere também uma abordagem detalhada (*Tier 2*) que é utilizada no presente relatório.

Transporte Rodoviário - Veículos Leves

O grupo de trabalho que elaborou o presente estudo foi coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT/Coordenação de Pesquisa em Mudança Climática e constituiu-se de técnicos da Petróleo Brasileiro S.A.- PETROBRAS/Serviço de Planejamento, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB/Diretoria de Gerência Ambiental, da Associação dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo-ÚNICA, da Universidade de São Paulo - USP/Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia - COPPE, do Ministério dos Transportes - GEIPOT, do Ministério das Minas e Energia – MME e da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA.

São apresentadas as estimativas das emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N₂O) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) provenientes da queima de combustíveis e as emissões evaporativas nos veículos leves, no Brasil, no período de 1990 a 1994.

A frota brasileira de veículos leves foi estimada, para o ano de 1994, em 11,745 milhões de veículos, dos quais 35% eram movidos a álcool etílico. Essa frota foi responsável por emissões de 21.940 Gg de CO₂, 4.610 Gg de CO, 5,7 Gg de CH₄, 237 Gg de NO_x, 1,04 Gg N₂O e 861 Gg de NMVOC.

Entre 1990 e 1994 importantes mudanças ocorreram no perfil das emissões da frota de veículos leves. As emissões de CO₂ cresceram 44%, as de NO_x 6% e as de N₂O 28% enquanto as emissões dos outros gases diminuíram (CO -19%, CH₄ -16% e NMVOC -21%) apesar do crescimento de 14% da frota. Essas mudanças ocorreram principalmente pela modificação do perfil da frota. Os veículos fabricados mais recentemente apresentam fatores de emissão menores, exceto para os fatores de emissão do CO₂ e do N₂O. O aumento da eficiência na queima dos combustíveis nos modelos mais recentes implicou em maiores emissões de CO₂. Por outro lado, o aumento da parcela de álcool anidro na mistura da gasolina nacional reduziu o ritmo no aumento das emissões líquidas de CO₂.

Também foram estimadas as emissões evitadas pelo fato da frota brasileira de veículos leves consumir etanol, seja puro na forma de álcool hidratado, seja na forma de álcool anidro misturado à gasolina. As emissões evitadas pelo consumo de etanol foram de aproximadamente 72 000 Gg de CO₂ entre 1990 e 1994. Para os outros gases as reduções foram menores mas também significativas.

Transporte Rodoviário - Veículos Pesados

A ONG Energia e Economia - E&E elaborou o trabalho "Estudo sobre emissões causadoras do efeito estufa por veículos de transporte rodoviário no Brasil para o período de 1990 a 1997" que deu origem a este relatório.

Para os veículos pesados também são apresentadas as estimativas das emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N₂O) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) provenientes da queima de diesel, no Brasil, no período de 1990 a 1994.

A frota brasileira de veículos pesados foi estimada, para o ano de 1994, em 1,497 milhões de veículos, dos quais 60% eram caminhões, 28% veículos leves e 13% ônibus. A frota cresceu no período de 1990 a 1994 apenas 10 % e foi responsável, no ano de 1994, por emissões de 58.207 Gg de CO₂, 1.276 Gg de CO, 3,8 Gg de CH₄, 1.640 Gg de NO_x, 0,454 Gg N₂O e 316 Gg de NMVOC.

Transporte Aéreo

Para o transporte aéreo foram estimadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso

(N₂O) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) provenientes da queima de querosene de aviação, no Brasil, para os trajetos domésticos.

A metodologia detalhada *Tier 2* utiliza estatísticas de pousos e decolagens por tipo de aeronave. Foram utilizadas as informações referentes ao ano de 1995, como avaliação metodológica, por não estarem disponíveis informações para os anos anteriores.

As informações necessárias à elaboração deste relatório foram fornecidas pelo Instituto de Aviação Civil/IAC.

No ano de 1995 o Brasil consumiu 1,433 milhões m³ de querosene de aviação em trechos nacionais, dos quais 43% foram consumidos em 547 mil operações de pouso e decolagem e o restante consumido em cruzeiro. As emissões estimadas correspondentes foram de 3.563 Gg de CO₂, 13,18 Gg de CO, 0,32 Gg de CH₄, 10,75 Gg de NO_x, 0,12 Gg N₂O e 3,28 Gg de NMVOC.

1 Transporte Rodoviário - Veículos Leves

Elaborado por:

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA
Avenida Indianópolis, 496 - 04062-900 - São Paulo - SP

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CENPES
Cidade Universitária Quadra 07 - Ilha do Fundão - 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - 05489-900 - São Paulo - SP

Confederação Nacional do Transporte - CNT
SAS Quadra 06 Bloco J - Ed. Camillo Cola - 70070-000 - Brasília - DF

Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro - RJ
Cidade Universitária Bloco G - Centro de Tecnologia - Ilha do Fundão - 21.945 - 970 - Rio de Janeiro RJ

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas - FIEPE/USP
Avenida Professor Luciano Gualberto, 908 Prédio FEA II - Cidade Universitária - 05508-900 - São Paulo - SP

Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT
SAN Quadra 3 Blocos n/o – Edifício Núcleo dos Transportes - 70040-902 - Brasília - DF

Universidade de São Paulo - USP/Instituto de Eletrotécnica e Energia - IEE
Rua Prof. Luciano Gualberto, 1289 - 05508-900 - São Paulo - SP

Mercedes Benz do Brasil - MBBras
Av. Mercedes-Benz, 679 - Distrito Industrial - 13054-750 - Campinas - SP

Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior -MDIC
Esplanada dos Ministérios Bloco J - 70056-900 - Brasília - DF

Ministério das Minas e Energia - MME
Esplanada dos Ministérios - Bl “U” - 70065 - 900 - Brasília - DF

Estratégia Corporativa - PETROBRÁS
Av. República do Chile, 65 - Centro - 20035-900 - Rio de Janeiro - RJ

Prefeitura Municipal de São Paulo
Rua do Paraíso, 387 - Paraíso - 04103-000 - São Paulo - SP

Associação dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo- ÚNICA
Av. Brigadeiro Faria Lima, 2179 - 9º Andar - 05508-900 - São Paulo - SP

Coordenador:

José Cesário Cecchi

Autor Principal:

Eliana dos Santos Lima Fernandes (IEE/USP)

Autores:

José Edison Parro (ANFAVEA), Bernardo Rios Zim(CENPES), Élcio Luiz Farah (CETESB), Renato Ricardo A. Linke (CETESB), Bernardo Rios Zim (CNT), Suzana Kahn Ribeiro (COPPE), João Luiz Correa Samy (GEIPOT), Joaquim do Carmo Pires (GEIPOT), José Luiz Valim (GEIPOT), Maria Lucia Rangel Filardo (FIEPE/USP), Guilherme Moreira (IEE/USP), Sônia Seger P. Mercedes (IEE/USP), Adriana Taqueti (MBBras), Waldir B. Silva (MBBras), Luiz Celso Carisi Negrão (MDIC), Cláudio Júdice (MME), Ana Maria Sousa Machado (PETROBRAS), Eduardo Luiz Correia (PETROBRAS), João Augusto Bastos de Mattos (PETROBRAS), , Laura Tetti (ÚNICA)

1.1 Introdução

Este relatório apresenta os resultados dos cálculos das emissões de gases de efeito estufa diretos (CO_2 , CH_4 e N_2O)¹ e indiretos (CO , NO_x , NMVOC)² para o período de 1990 a 1994, da frota nacional de veículos leves.

As emissões variam segundo o modelo do veículo, o ano de fabricação, a potência do motor, o tipo de manutenção dada, as condições de utilização, a quilometragem rodada, etc. O cálculo preciso das emissões de gases de efeito estufa da frota nacional de veículos leves exigiria, portanto, o conhecimento de muitas variáveis.

Mesmo tendo sido utilizada uma modelagem simples com poucas variáveis, o estudo teve como fator limitante a falta de dados oficiais disponíveis. A principal dificuldade foi a escassez de informação referente à frota nacional de veículos leves e à distância média percorrida anualmente por esses veículos.

A modelagem escolhida para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa da frota nacional de veículos leves leva em consideração apenas a frota nacional circulante, a distância média percorrida e os fatores de emissão. As três variáveis acima foram desagregadas segundo o tipo de combustível (álcool ou gasolina³), o tipo de veículo (automóvel ou comercial leve) e o ano de fabricação. Esse modelo pode ser descrito, de forma simplificada, como:

$$E = \text{FNC} \times \text{FE} \times \text{DM} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde E são as emissões anuais, FNC a frota nacional circulante, ou seja, o número de veículos leves circulando no ano, FE o fator de emissão e DM a distância média percorrida, durante o ano, pela frota em questão.

Nos itens a seguir o modelo de cálculo acima será refinado e cada uma das variáveis explicitada.

O modelo de cálculo será descrito por etapas. Inicialmente são calculadas a frota nacional circulante (item 1.2), a distância média percorrida pela frota (item 1.3) e os fatores de emissão (item 1.4) necessários para o cálculo das emissões veiculares de gases de efeito estufa (item 1.5).

¹ CO_2 (Dióxido de Carbono), CH_4 (Metano) e N_2O (Óxido Nitroso).

² CO (Monóxido de Carbono), NO_x (Óxidos de Nitrogênio) e NMVOC (Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos)

³ Os veículos a gasolina no Brasil utilizam como combustível uma mistura de gasolina pura e álcool anidro em proporções que têm variado ao longo dos anos.

No item 1.6, a partir de algumas hipóteses, são calculadas as emissões evitadas pelo uso de etanol como combustível substituto da gasolina e, finalmente, no item 1.7, são apresentadas as considerações finais.

1.2 Frota nacional circulante – FNC

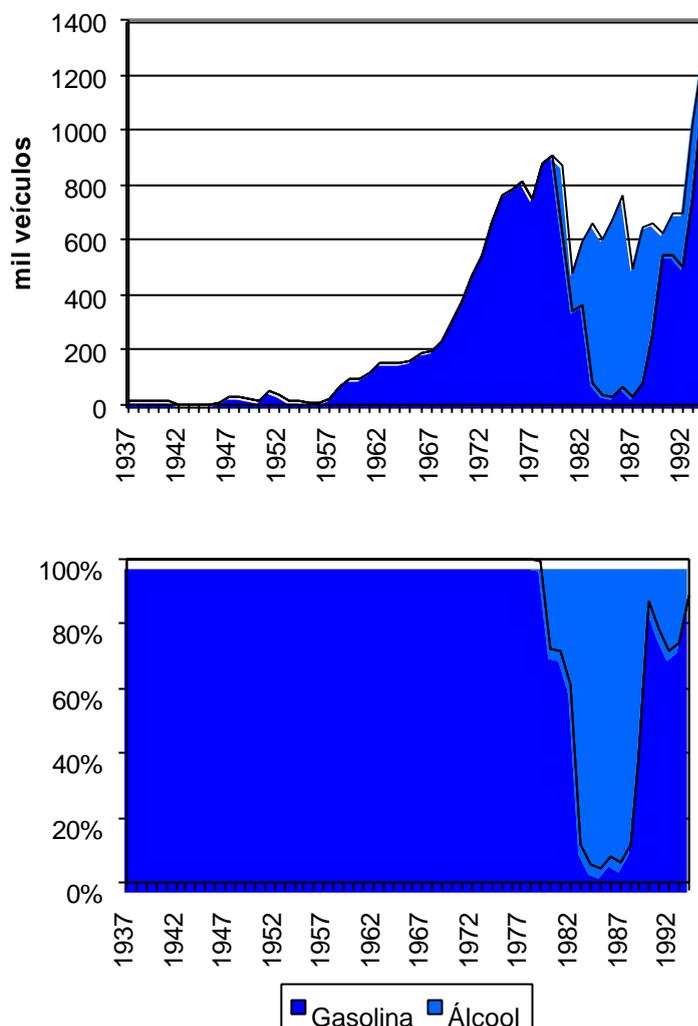
Até 1985, o Ministério dos Transportes, através da Empresa Brasileira de Planejamento e Transportes – GEIPOT, publicava regularmente dados referentes às frotas nacional, estaduais e municipais, calculados a partir da Taxa Rodoviária Única –TRU. Com a extinção da TRU, em 1986, esses dados estatísticos deixaram de ser gerados. A partir de então, várias instituições vêm realizando estudos com o objetivo de estimar a frota nacional de veículos.

Tendo em vista essa limitação, estimou-se a frota circulante, no final de cada ano, a partir de dados sobre a vendas de veículos novos, dados sobre a conversão de veículos de gasolina para álcool e de álcool para gasolina e de curvas de probabilidade de sucateamento de veículos típicos de cada idade. Essa metodologia é a mais usada nos últimos anos, sendo empregada nas indústrias automobilística e de petróleo, em órgãos governamentais e instituições acadêmicas.

1.2.1 Vendas de veículos novos

Os dados sobre vendas de veículos novos nos últimos quarenta anos são da ANFAVEA e constam do Anexo 1. Os mesmos encontram-se resumidos na figura a seguir:

Figura 1 – Vendas de veículos novos



A figura acima evidencia o movimento que houve na década de 1980, onde as vendas de veículos a álcool cresceram rapidamente até absorverem praticamente todo o mercado assim como o movimento inverso, na década de 1990, com a drástica redução das vendas de veículos a álcool.

1.2.2 Processo de conversão

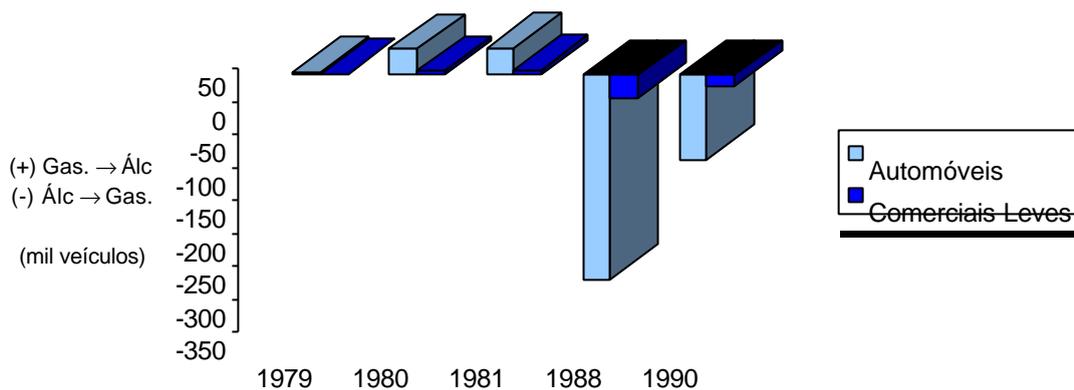
No modelo utilizado é considerado o processo de conversão que consiste na transformação de veículos fabricados para consumir um tipo de combustível em veículos que consomem outro tipo de combustível. O processo de conversão se deu em duas fases distintas e em sentidos opostos.

Na primeira fase, de 1979 a 1981, verificou-se um processo de conversão dos veículos a gasolina para álcool como consequência da política energética adotada para enfrentar o que se convencionou chamar de “segundo choque do petróleo”. Naquele momento, foi criado o Programa Nacional do Álcool que previa uma série de vantagens para os veículos movidos a álcool, dentre as quais, a garantia de preços relativos inferiores tanto para o combustível como para os impostos que incidiam sobre os veículos a álcool.

Na segunda fase, de 1988 a 1990, o movimento se inverte. Verifica-se um processo de conversão dos veículos a álcool para gasolina refletindo a nova situação, onde os preços internacionais do petróleo caem vertiginosamente e a política energética interna deixa de privilegiar os aspectos estratégicos em benefício dos critérios mercadológicos.

A figura abaixo resume os dados sobre conversão de veículos que constam do Anexo 2.

Figura 2 – Processo de conversão de veículos



1.2.3 Curvas de sucateamento

A curva de sucateamento simula o processo pelo qual os veículos saem de circulação. Neste estudo foram escolhidas as curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves utilizadas pelo Serviço de Planejamento da PETROBRAS, calibradas pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios PNAD (1988) e de reconhecida consistência. A função de sucateamento, que estabelece o percentual dos veículos sucateados em função da idade, limita a vida máxima do veículo a 40 anos e é uma função Gompertz com as seguintes características:

$$S(t) = \exp[-\exp(a + b(t))] \quad \text{Equação 2}$$

onde:

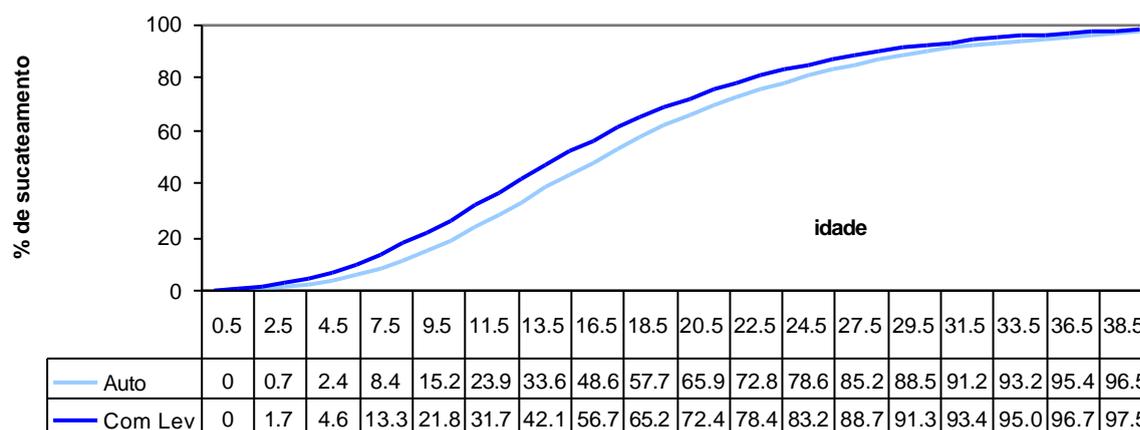
S(t) = fração de veículos sucateada na idade t,

t = idade do veículo

Apresentando os seguintes ajustes para a e b:

	a	b
Automóveis	1,798	-0,137
Comerciais leves	1,618	-0,141

Figura 3 – Curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves - PETROBRAS



A partir da curva de sucateamento é definida a taxa anual de sucateamento que varia segundo a idade do veículo:

$$txS_t = \frac{1 - S_t}{1 - S_{t-1}} - 1$$

Equação 3

Os valores da curva de sucateamento para automóveis e veículos leves assim como as taxas de sucateamento respectivas encontram-se no Anexo 3.

1.2.4 Cálculo da frota nacional circulante

A partir dos dados referentes às vendas de veículos, da curva de sucateamento adotada e das estimativas realizadas pela PETROBRAS para a conversão de veículos a gasolina para álcool no período de 1979 a 1981 e de álcool para gasolina de 1988 a 1990, foi calculada a frota de veículos leves para o período de 1990 a 1994. O cálculo da frota seguiu as seguintes etapas:

1.2.4.1 Estimativa da frota sem conversão (FI)

Inicialmente foi calculada a frota nacional circulante ($\sum_j FI_{i,j}$) para cada ano **i** do período de 1990 a 1994 sem que fosse considerado o processo de conversão dos veículos.

$$\sum_j FI_{i,j} = \sum_j V_j \cdot (1 - S(t))$$

Equação 4

onde

V_j é o número de veículos vendidos no ano **j**

$S(t)$ é a curva de sucateamento para veículos de idade **t**

$t = i - j + 0,5$

$S(t) = 1$ para $t > 40$.

O valor da frota nacional sem levar em consideração o processo de conversão encontra-se na tabela abaixo.

Tabela 1 – Frota nacional de automóveis e comerciais leves sem conversão

Ano	Automóveis		Comerciais Leves		Total	
	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
1990	5.356	3.811	700	458	6.056	4.269
1991	5.450	3.839	723	465	6.172	4.303
1992	5.516	3.882	735	478	6.251	4.359
1993	5.830	3.967	773	494	6.602	4.462
1994	6.484	3.926	840	494	7.324	4.420

Unidade: 1000 veículos

1.2.4.2 Cálculo da frota de veículos convertidos (FC)

A introdução do processo de conversão dos veículos no cálculo da frota foi realizado em duas etapas. Para cada ano **i** do período estudado (1990-1994) foi calculada a frota de veículos convertidos nos dois sentidos, de gasolina para álcool e de álcool para gasolina.

Partiu-se do número de veículos fabricados no ano **j** e convertidos no ano **k** ($C_{j,k}$). Aplicou-se a esses veículos uma taxa de sucateamento (txS) correspondente a sua idade **t** como foi definida na Equação 3.

Calcula-se para cada ano **i** do período a frota convertida (FC) no ano **k** dos veículos fabricados no ano **j**.

$$FC_{i,j,k} = FC_{i-1,j,k} \cdot (1+txS_t) \quad \text{Equação 5}$$

A frota circulante no ano **i** convertida de gasolina para álcool é definida como:

$${}_{g>a}FC_i = \sum_k \sum_j {}_{g>a}FC_{i,j,k} \quad \text{Equação 6}$$

Analogamente, a frota circulante no ano **i** convertida de álcool para gasolina é definida como:

$${}_{a>g}FC_i = \sum_k \sum_j {}_{a>g}FC_{i,j,k} \quad \text{Equação 7}$$

Os valores das frotas convertidas encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 2 – Frota nacional de automóveis e comerciais leves convertidos

Ano	Gasolina>Álcool		Álcool>Gasolina	
	Automóveis	Com. Leves	Automóveis	Com. Leves
1990	53	7,0	422	48
1991	49	6,4	406	46
1992	45	5,8	389	43
1993	41	5,2	369	41
1994	37	4,7	348	38

Unidade: 1000 veículos

1.2.4.3 Cálculo da frota nacional circulante

Somando-se a frota de convertidos - FC (Tabela 2) à frota inicialmente calculada sem levar em conta os veículos convertidos - FI (Tabela 1) chega-se ao resultado final da frota nacional circulante de automóveis e veículos comerciais leves - FNC (Tabela 3):

Para a frota a gasolina:

$${}_G FNC_j = {}_G FI_j + {}_{A \rightarrow G} FC_j - {}_{G \rightarrow A} FC_j \quad \text{Equação 8}$$

Para a frota a álcool:

$${}_A FNC_j = {}_A FI_j + {}_{G \rightarrow A} FC_j - {}_{A \rightarrow G} FC_j \quad \text{Equação 9}$$

Os resultados para as frotas a gasolina e a álcool para automóveis e comerciais leves encontram-se na tabela a seguir:

Tabela 3 – Frota nacional circulante de automóveis e comerciais leves

Ano	Automóveis		Comerciais Leves		Total	
	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
1990	5.724	3.442	741	417	6.466	3.859
1991	5.807	3.481	762	425	6.569	3.907
1992	5.860	3.538	773	440	6.633	3.978
1993	6.158	3.639	808	459	6.966	4.098
1994	6.795	3.615	873	461	7.669	4.076

Unidade: 1000 veículos

1.2.5 Frota nacional circulante por faixa etária

Como as emissões veiculares variam significativamente segundo o ano de fabricação e a idade do veículo, cinco faixas etárias foram definidas para possibilitar a análise das emissões por faixa etária.

Tabela 4 – Definição das faixas etárias para a frota nacional de veículos leves.

Faixa 0-1	Faixa 1-2	Faixa 2-5	Faixa 5-10	Faixa 10-15	Faixa + 15
Até 1 ano	Mais de 1 até 2 anos	Mais de 2 até 5 anos	Mais de 5 até 10 anos	Mais de 10 até 15 anos	Mais de 15 anos

A análise da Tabela 5 e das figuras 8, 9 e 10 a seguir, que mostram a evolução do perfil da frota brasileira por idade, entre 1990 e 1994, permite constatar que:

1. Existe um processo de envelhecimento da frota de veículos a álcool.
2. O crescimento da frota de veículos leves, entre 1990 e 1994, se deu, principalmente, por veículos a gasolina.
3. A idade média da frota decresceu nos últimos anos.

Tabela 5 – Frota por faixa etária

		Gasolina – frota do ano (mil veículos)					Variação
		90	91	92	93	94	90-94
Faixa etária	0-1	541	540	497	760	1.122	107%
	1-2	263	539	538	495	756	188%
	2-5	259	405	885	1.316	1.539	494%
	5-10	1.039	816	515	421	558	-46%
	10-15	2.585	2.270	2.032	1.593	1.110	-57%
	15+	1.779	1.998	2.167	2.382	2.584	45%
	Total	6.466	6.569	6.633	6.966	7.669	14%
Idade média (anos)		12,0	11,7	11,5	10,9	9,8	-18%
		Álcool – frota do ano (mil veículos)					Variação
		90	91	92	93	94	90-94
Faixa etária	0-1	81	150	195	263	141	75%
	1-2	392	80	150	194	262	-33%
	2-5	1.578	1.340	989	606	417	-74%
	5-10	1.607	2.069	2.257	2.338	2.251	40%
	10-15	185	248	367	673	973	425%
	15+	16	19	20	23	32	96%
	Total	3.859	3.907	3.976	4.098	4.076	4%
Idade média (anos)		5,1	5,9	6,5	7,1	7,8	52%
		Total – frota do ano (mil veículos)					Variação
		90	91	92	93	94	90-94
Faixa etária	0-1	622	690	691	1.023	1.263	103%
	1-2	655	619	687	688	1.018	56%
	2-5	1.837	1.745	1.874	1.922	1.956	6%
	5-10	2.646	2.885	2.772	2.759	2.809	6%
	10-15	2.770	2.519	2.399	2.267	2.083	-25%
	15+	1.795	2.017	2.187	2.404	2.615	46%
	Total	10.325	10.476	10.611	11.064	11.745	12%
Idade média (anos)		9,2	9,3	9,5	9,3	9,0	-1%

Figura 4 – Frota de veículos a gasolina por faixa etária

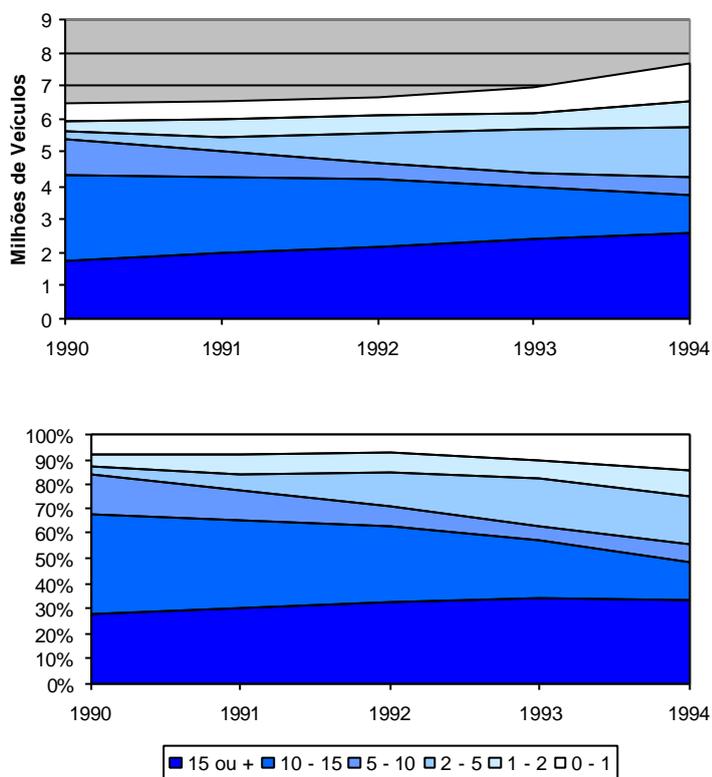


Figura 5 – Frota de veículos a álcool por faixa etária

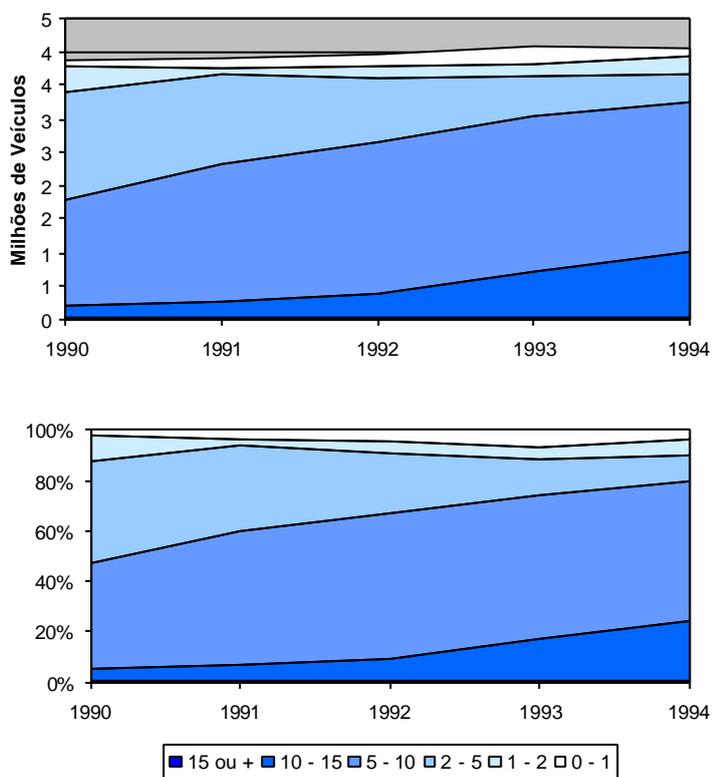
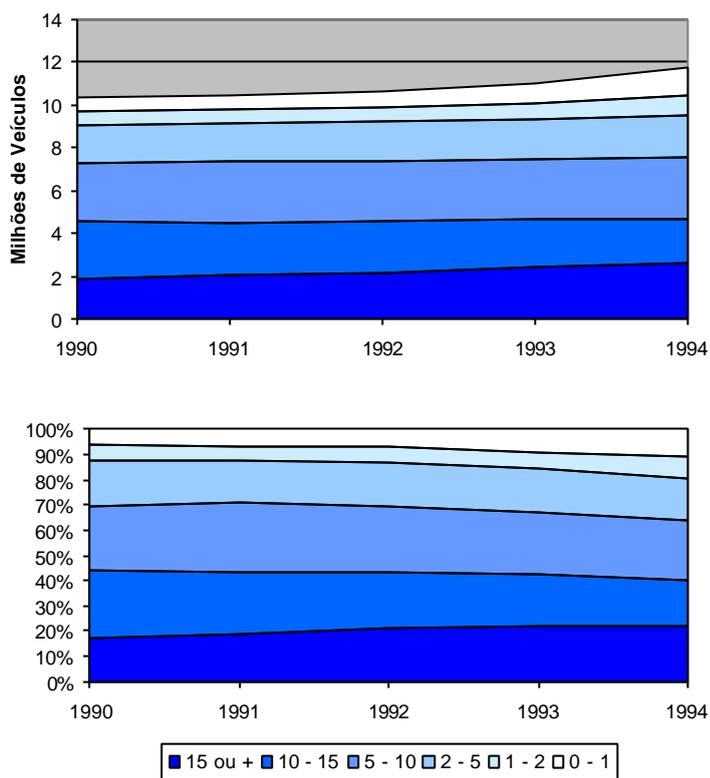


Figura 6 – Frota total de veículos por faixa etária



1.3 Distância média percorrida - DM

A distância média percorrida pelos veículos (ou quilometragem média veicular) é um parâmetro básico na determinação das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, não existem, para a frota nacional, séries temporais oficiais para essa variável, devendo-se adotar um método para a sua estimativa. Nesse relatório, foram utilizadas as estimativas da PETROBRAS, nas quais a quilometragem média veicular é função da idade do veículo, do preço do combustível e do nível de renda da população. A quilometragem média utilizada para o cálculo das emissões é apresentada no Anexo 4.

A figura abaixo resume os dados sobre a distância média percorrida pelos automóveis e comerciais leves para as frotas de 1990 a 1994 segundo o ano de fabricação do veículo.

Figura 7 – Distância média percorrida pela frota do ano (no período de 1990 até 1994), segundo a faixa etária - veículos a gasolina

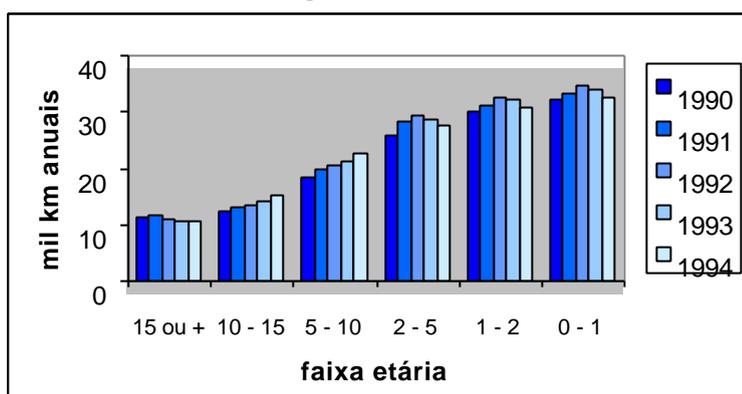
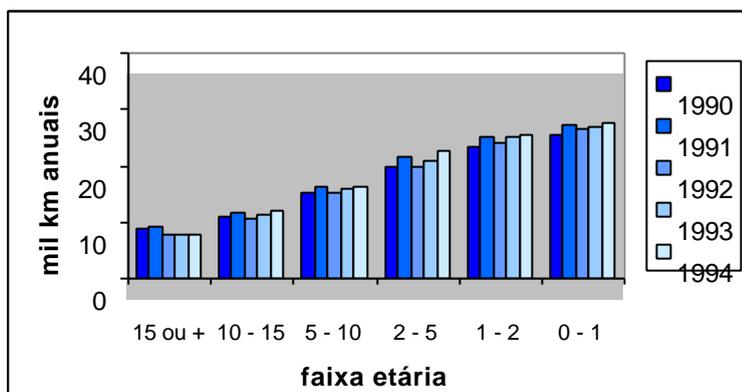


Figura 8 – Distância média percorrida pela frota do ano (no período de 1990 até 1994), segundo a faixa etária - veículos a álcool



1.4 Fatores de emissão

Em um veículo automotor há emissões de gases e partículas pelo tubo de escapamento (emissões de exaustão), de vapores através do sistema de alimentação, de gases e vapores pelo respiro, juntas e conexões (emissões evaporativas), e de partículas originadas do desgaste de pneus e freios. Neste relatório somente as emissões de exaustão e as emissões evaporativas foram consideradas.

Os gases estimados foram o dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N_2O) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC). Alguns dos fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões desses gases foram obtidos diretamente por meio de medições da CETESB e sendo os restantes obtidos indiretamente como será descrito em seguida.

1.4.1 Fatores de emissão de veículos novos

Os fatores de emissão são expressos, neste relatório, em gramas de gás emitido por quilômetro rodado.

A CETESB obteve os fatores de emissão de monóxido de carbono (CO), de hidrocarbonetos (HC) e de óxidos de nitrogênio (NO_x) para a exaustão e também os fatores de emissão para as emissões evaporativas.

Para os veículos novos, os fatores de emissão da exaustão são determinados por meio de ensaios conforme norma NBR-6601 - Análise dos Gases de Escapamento de Veículos Rodoviários Automotores Leves a Gasolina. Nesse teste o veículo é submetido, em um dinamômetro, a ensaios que simulam um ciclo considerado como característico para as vias públicas, apresentando as seguintes condições:

- velocidade média em tráfego urbano de 31,5 km/h;
- temperatura ambiente de 20 a 30°C;
- umidade relativa do ar de 40 a 60%.

No caso de pequenas variações das condições de referência, o ensaio permanece aceitável.

Os fatores de emissão para um determinado ano são o resultado de médias ponderadas dos fatores de emissão de cada modelo de veículo desse ano, pelo volume da produção de veículos. Já os

fatores de emissão para o CO₂ foram obtidos por meio de cálculo estequiométrico. Os resultados obtidos pela CETESB para veículos novos encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 6 – Fatores de emissão da CETESB para veículos leves novos a gasolina

Ano Modelo	CO₂ (g/km)	CO (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)	Evap. (g/km)
Pré - 80	174,72	54	1,2	4,7	4,3
80 - 83	174,72	33	1,4	3	4,3
84 - 85	174,72	28	1,6	2,4	4,3
86 - 87	174,72	22	1,9	2	4,3
88	174,72	18,5	1,8	1,7	4,3
89	174,72	15,2	1,6	1,6	4,3
90	177,11	13,3	1,4	1,4	0,43
91	178,7	11,5	1,3	1,3	0,43
92	193,4	6,2	0,6	0,6	0,32
93	193,4	6,3	0,8	0,6	0,27
94	193,4	6	0,7	0,6	0,26

Tabela 7 – Fatores de emissão da CETESB para veículos leves novos a álcool

Ano Modelo	CO₂ (g/km)	CO (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)	Evap. (g/km)
Pré - 80	164,18	18	1	1,6	1,8
80 - 83	164,18	18	1	1,6	1,8
84 - 85	164,18	16,9	1,2	1,6	1,8
86 - 87	164,18	16	1,8	1,6	1,8
88	164,18	13,3	1,4	1,7	1,8
89	164,18	12,8	1,1	1,6	1,8
90	163,64	10,8	1,2	1,3	0,29
91	163,1	8,4	1	1,1	0,29
92	165,6	3,6	0,5	0,6	0,14
93	165,6	4,2	0,6	0,7	0,17
94	165,6	4,2	0,6	0,7	0,14

Para os outros gases algumas adaptações foram necessárias.

Considerando-se que os hidrocarbonetos totais (HC) constituem-se de uma pequena fração de metano (CH₄) e de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) e que as emissões evaporativas também são constituídas de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), obtém-se para o cálculo dos compostos orgânicos voláteis não metânicos totais (NMVOC) a seguinte equação:

$$\text{NMVOC} = \text{HC} - \text{CH}_4 + \text{Evaporativas} \quad \text{Equação 10}$$

Para o CH₄ foi estimado um fator de emissão que mantivesse a relação entre o CH₄ e o NMVOC que consta do IPCC⁴.

$$\text{FE (CH}_4\text{)/FE(NMVOC)} = 0,0132 \quad \text{Equação 11}$$

Para as emissões de N₂O não existem fatores de emissão para a frota nacional. Para que essas emissões não deixassem de ser estimadas foram utilizados os fatores de emissão do IPCC (1997)⁵ para veículos europeus a gasolina, já que os mesmos são constantes em g/km para diferentes tecnologias.

Os fatores de emissão para veículos novos acima descritos encontram-se nas tabelas a seguir:

⁴ Para os fatores de emissão de veículos europeus de passageiros a gasolina e sem sistemas de controle. IPCC (1997) V.3 pg.1.81 tabela 1-36.

⁵ IPCC (1997) Vol. 3 Tabela 1.36 pg. 1.81

Tabela 8 – Outros fatores de emissão de veículos leves novos a gasolina

Ano Modelo	CH₄ (g/km)	N₂O (g/km)	NMVOC (g/km)
Pré - 80	0,062	0,005	8,9
80 - 83	0,039	0,005	7,3
84 - 85	0,032	0,005	6,7
86 - 87	0,026	0,005	6,3
88	0,022	0,005	6,0
89	0,021	0,005	6,0
90	0,018	0,005	1,8
91	0,017	0,005	1,7
92	0,008	0,005	0,91
93	0,008	0,005	0,86
94	0,008	0,005	0,85

Fontes: para o N₂O, IPCC (1997).

Tabela 9 – Outros fatores de emissão de veículos leves novos a álcool

Ano Modelo	CH₄ (g/km)	N₂O (g/km)	NMVOC (g/km)
Pré - 80	0,021	0,005	3,4
80 - 83	0,021	0,005	3,4
84 - 85	0,021	0,005	3,4
86 - 87	0,021	0,005	3,4
88	0,022	0,005	3,5
89	0,021	0,005	3,5
90	0,017	0,005	1,6
91	0,014	0,005	1,4
92	0,008	0,005	0,73
93	0,009	0,005	0,86
94	0,009	0,005	0,83

Fontes: para o N₂O, o fator de emissão da gasolina do IPCC (1997).

1.4.2 Fatores de deterioração

Os fatores de emissão, especialmente do CO e dos HC, tendem a aumentar ao longo dos anos, como decorrência do uso do veículo mesmo que sob manutenção adequada. Os fatores de emissão

para veículos usados são obtidos multiplicando-se os fatores de emissão dos veículos novos por um fator de deterioração (FD). Como a frota veicular é calculada para o final do ano, o fator de deterioração é aplicado, inclusive, nos veículos fabricados no último ano, cuja média de idade é meio ano. Desta forma, o fator de emissão para uma determinada quilometragem passa a ser:

$$FE = FE \text{ veículo novo} \times FD \quad \text{Equação 12}$$

Os valores utilizados para os fatores de deterioração foram determinados pela *Environmental Protection Agency*, dos EUA, dentro do trabalho *Mobile Source Emission Factors*, publicado em 1981. Adotou-se para os veículos nacionais anteriores a 1977 os fatores de deterioração dos modelos pré-68 dos EUA e para os veículos fabricados a partir de 1977, os fatores dos modelos 68/69 norte-americanos. É o que mostra a tabela abaixo.

Fatores de deterioração

A partir de 1977	Pré 1977
$FD_{CO} = \frac{78,27 + 2,5Y}{78,27}$	$FD_{CO} = \frac{56,34 + 2,55Y}{56,34}$
$FD_{HC} = \frac{7,25 + 0,18Y}{7,25}$	$FD_{HC} = \frac{4,43 + 0,25Y}{4,43}$

Y representa a distância percorrida em mil milhas.

$$Y = \frac{\text{Distância percorrida em quilômetros}}{1,61 \times 10^4} \quad \text{Equação 13}$$

O valor para FD é limitado quando Y atinge 6,21 admitindo-se que o veículo após percorrer 100.000 km tenha estabilizado a degradação nas emissões.

Para o NO_x , considerou-se o fator de deterioração igual a 1 já que existe uma tendência à diminuição da emissão deste gás em consequência do desgaste dos anéis dos pistões e a consequente diminuição da pressão dentro dos cilindros e da temperatura dos gases.

1.5 Cálculo das emissões

A metodologia adotada neste relatório para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa é idêntica àquela utilizada pela E.P.A. - *Environmental Protection Agency*, dos Estados Unidos e pela CETESB no Inventário de Emissões Veiculares.

A metodologia considera que as emissões totais de um determinado gás de efeito estufa **g**, para um ano **a**, é igual ao somatório das emissões desse gás pelos veículos produzidos nos 40 anos precedentes e que ainda circulam, definida abaixo:

$${}_a E_g = \sum_{t=a-40}^a E_{g,t} \quad \text{Equação 14}$$

Para cada ano de origem do veículo, multiplica-se a frota pela distância média percorrida anualmente pelos veículos em circulação e pelo fator de emissão da frota em relação ao gás considerado devidamente ajustado para a idade do veículo. Para cada ano **a**, do período 1990-1994, calcula-se, portanto:

$$E_{g,t} = FE_{g,t} \times FD_{g,t} \times F_{g,t} \times DM_{g,t} \quad \text{Equação 15}$$

Onde,

$E_{g,t}$ = emissão do gás **g** pela frota ano/modelo **t**

$FE_{g,t}$ = fator de emissão do gás **g** característico dos veículos produzidos no ano **t** (g/km)

$FD_{g,t}$ = fator de deterioração do gás **g** atingido em **a** pelos veículos produzidos em **t**

$F_{g,t}$ = frota de veículos movido a combustível **g** produzidos no ano **t** e circulando em **a**

$DM_{g,t}$ = distância média percorrida em **a** pelos veículos movidos a combustível **g** e produzidos no ano **t**.(km)

As emissões para o ano **a** são o somatório das emissões dos veículos produzidos nos últimos 40 anos (t-40) e que ainda circularam no ano **a**. Para os veículos vendidos no próprio ano **a** um ajuste deve ser feito para que as emissões não sejam superestimadas. Como os veículos novos são vendidos ao longo do ano, eles não circulam o ano inteiro e seria errado utilizar a frota de fim de ano para o cálculo das emissões. Para simular essa situação, a frota do último ano é multiplicada por um fator 0,5 o que vai modificar os valores que constam da Tabela 3, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 10 – Frota de automóveis e comerciais leves para cálculo das emissões

Ano	Automóveis		Comerciais Leves		Total	
	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
1990	5.494	3.407	702	411	6.196	3.819
1991	5.576	3.417	723	415	6.299	3.831
1992	5.645	3.455	740	425	6.384	3.881
1993	5.823	3.525	764	441	6.587	3.966
1994	6.293	3.555	814	450	7.108	4.005

Unidade: 1000 veículos

1.5.1 Emissões e fatores de emissão médios

As emissões totais de cada gás de efeito estufa e os fatores de emissão médios da frota, estes calculados posteriormente dividindo-se as emissões pela frota, estão representados nas tabelas a seguir:

Tabela 11 – Emissões e fatores de emissão médios da frota nacional de veículos leves – 1990-1994

Ano	Emissões (Gg)						Fatores de Emissão Médios (g/km)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Veículos a Gasolina												
1990	16.570	4.438	5,2	129	0,47	838	174,9	46,9	0,055	1,4	0,005	8,9
1991	18.721	4.401	5,2	146	0,53	822	175,4	41,2	0,049	1,4	0,005	7,7
1992	20.151	4.060	4,9	149	0,57	754	177,1	35,7	0,043	1,3	0,005	6,6
1993	22.142	3.746	4,5	149	0,62	689	179,9	30,4	0,037	1,2	0,005	5,6
1994	25.840	3.585	4,3	157	0,71	649	182,8	25,4	0,031	1,1	0,005	4,6
Veículos a Álcool												
1990	11.213	1.226	1,6	93	0,34	257	164,2	18,0	0,024	1,4	0,005	3,8
1991	11.495	1.257	1,7	95	0,35	261	164,1	17,9	0,024	1,4	0,005	3,7
1992	10.537	1.104	1,5	84	0,32	229	164,2	17,2	0,023	1,3	0,005	3,6
1993	10.870	1.066	1,5	82	0,33	221	164,3	16,1	0,022	1,2	0,005	3,3
1994	11.048	1.025	1,4	80	0,34	212	164,4	15,3	0,021	1,2	0,005	3,2
Total												
1990	27.783	5.665	6,8	222	0,82	1.095	170,4	34,7	0,042	1,4	0,005	6,7
1991	30.216	5.657	6,9	240	0,88	1.083	171,0	32,0	0,039	1,4	0,005	6,1
1992	30.689	5.164	6,3	233	0,89	982	172,4	29,0	0,036	1,3	0,005	5,5
1993	33.012	4.813	5,9	231	0,95	909	174,4	25,4	0,031	1,2	0,005	4,8
1994	36.887	4.610	5,7	237	1,04	861	176,9	22,1	0,027	1,1	0,005	4,1

Na tabela acima, as emissões de CO₂ referentes ao álcool combustível, tanto na sua forma de álcool hidratado como de álcool anidro, foram contabilizadas, já que os fatores de emissão utilizados não descontam as emissões da biomassa. No entanto, as emissões de CO₂ do etanol devem ser descontadas pois o etanol é proveniente da biomassa (cana-de-açúcar), fonte renovável de energia, e sua queima não contribui para o aumento das emissões de CO₂ já que este foi previamente absorvido no crescimento da cana-de-açúcar.

Para o cálculo das emissões que contribuem para o efeito estufa as emissões referentes ao álcool hidratado são descontadas na sua totalidade. O cálculo da parcela de CO₂ proveniente da queima do álcool anidro contido na gasolina, que deve ser descontada, foi elaborado com base no cálculo estequiométrico (ver Anexo 5). O cálculo leva em consideração diferentes proporções de álcool anidro na gasolina, no período. Os resultados encontram-se na tabela a seguir:

Tabela 12 - Parcela de CO₂ proveniente da queima da gasolina pura na gasolina brasileira - período 1990-1994

Ano	% em volume	% em massa	
	do Álcool Anidro na Gasolina	de CO ₂ proveniente da Gasolina Pura	de CO ₂ proveniente do Álcool Anidro
1990	11,41%	92,08%	7,92%
1991	13,85%	90,31%	9,69%
1992	17,92%	87,29%	12,71%
1993	18,47%	86,87%	13,13%
1994	21,03%	84,91%	15,09%

Constam da tabela a seguir as emissões e fatores de emissão do CO₂ para a gasolina e para o álcool hidratado nos dois casos, ou seja, levando-se em consideração as emissões da energia renovável e descontando essas emissões.

Tabela 13 – Emissões e fatores de emissão médios do CO₂ entre 1990 e 1994 – comparação entre as emissões totais e a parcela que contribui para o efeito estufa.

Emissões (Gg CO₂)						
Emissões totais				Emissões que contribuem para o efeito estufa		
Ano	Veículos a Gasolina	Veículos a Álcool	Total	Veículos a Gasolina	Veículos a Álcool	Total
1990	16.570	11.213	27.783	15.258	0	15.258
1991	18.721	11.495	30.216	16.907	0	16.907
1992	20.151	10.537	30.689	17.590	0	17.590
1993	22.142	10.870	33.012	19.235	0	19.235
1994	25.840	11.048	36.887	21.940	0	21.940

Fator de emissão (g CO₂/km)						
Ano	Veículos a Gasolina	Veículos a Álcool	Total	Veículos a Gasolina	Veículos a Álcool	Total
1990	175	164	170	161	0	94
1991	175	164	171	158	0	96
1992	177	164	172	155	0	99
1993	180	164	174	156	0	102
1994	183	164	177	155	0	105

1.5.2 Emissões por faixa etária da frota

No item precedente são quantificadas as emissões de gases de efeito estufa para a frota de veículos leves dos anos 1990 a 1994. Para cada ano calcula-se as emissões e os fatores de emissão médios. Sabe-se, no entanto, que a frota de cada ano é constituída de veículos produzidos em vários anos e, conseqüentemente, com tecnologias e níveis de desgaste distintos, o que implica em níveis de emissão distintos. A análise das emissões por faixa etária apresentou os seguintes resultados para o ano de 1994:

Figura 9 – Emissões da frota a gasolina por faixa etária - 1994

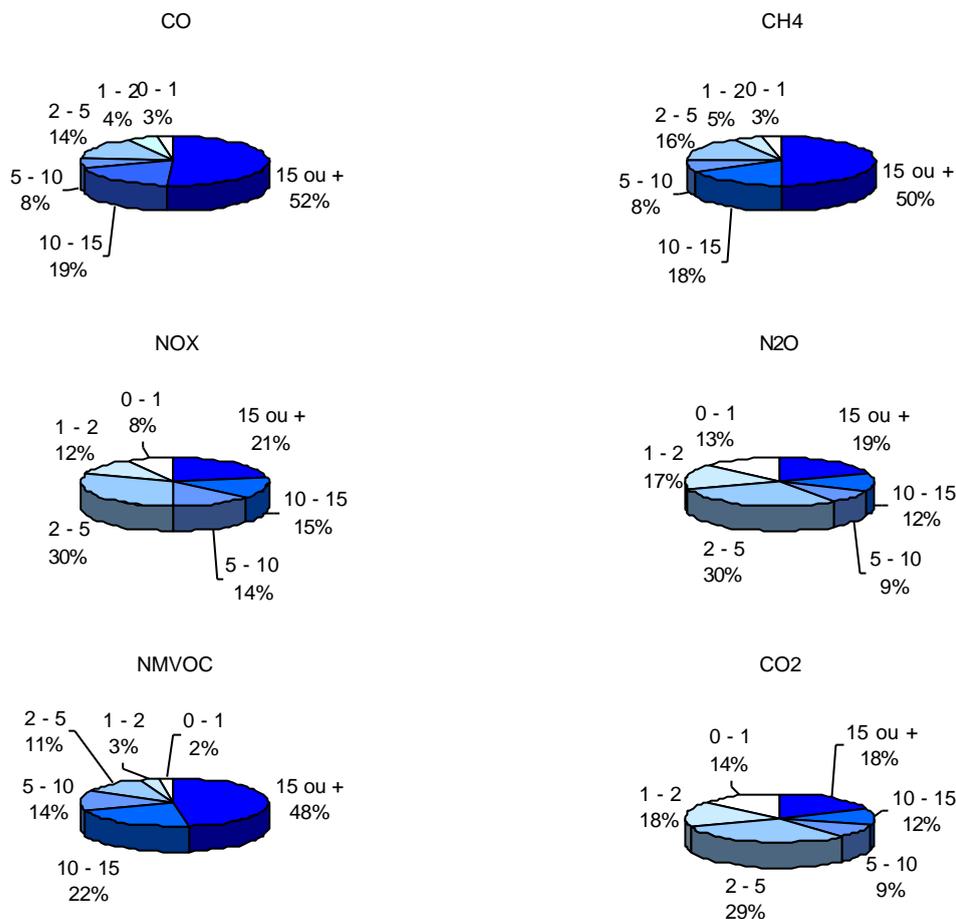


Tabela 14 – Emissões por faixa etária da frota a gasolina para 1994

Frota	CO ₂		CO		CH ₄		NO _x		N ₂ O		NMVOC		
	Faixa etária	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	
0-1	8	3.007	14	113	3	0,15	3	13	8	0,09	13	16	2
1-2	11	3.844	18	161	4	0,20	5	19	12	0,12	17	22	3
2-5	22	6.626	30	519	14	0,71	16	47	30	0,21	30	72	11
5-10	8	1.865	9	284	8	0,35	8	21	14	0,06	9	88	14
10-15	16	2.526	12	663	19	0,76	18	24	15	0,09	12	142	22
15+	36	4.072	19	1.844	51	2,6	50	33	21	0,14	19	310	48
Total	100	21.940	100	3.585	100	4,31	100	157	100	0,71	100	649	100

Figura 10 – Emissões da frota a álcool por faixa etária - 1994

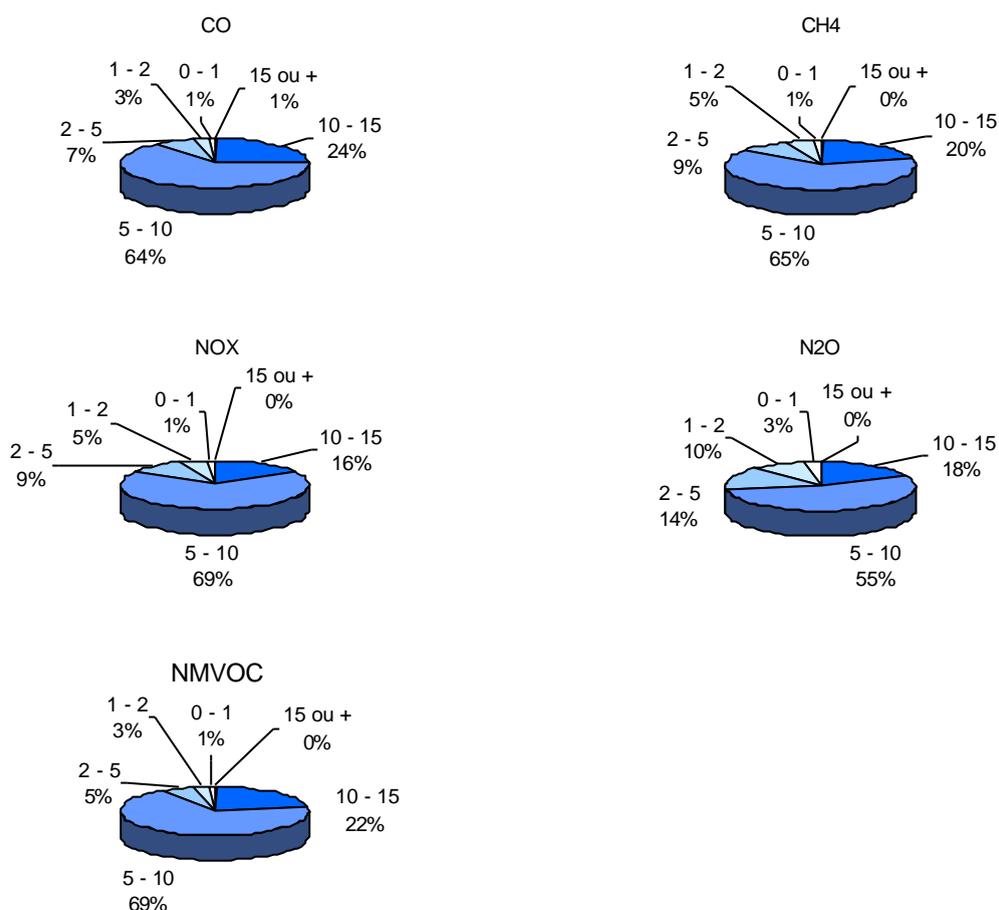
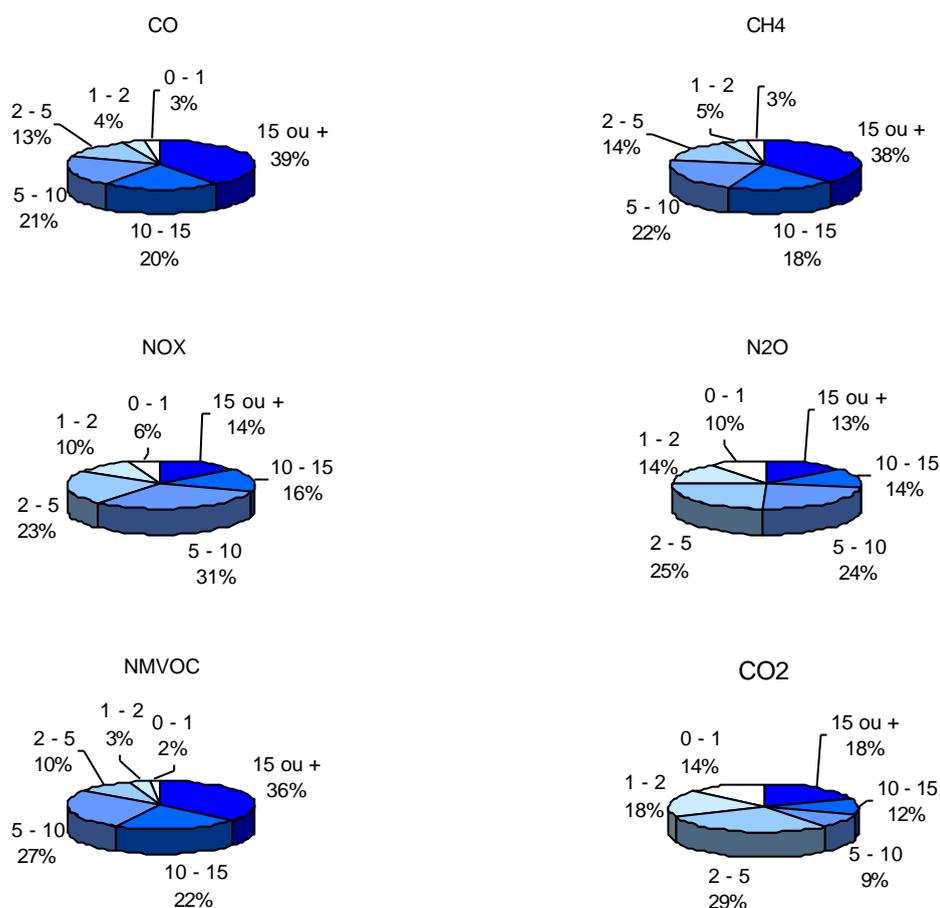


Tabela 15 – Emissões por faixa etária da frota a álcool para 1994

Frota		CO ₂		CO		CH ₄		NO _x		N ₂ O		NMVOC	
Faixa etária	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%
0-1	2	0		8,5	0,82	0,02	1,3	1,2	1,5	0,01	2,9	1,7	0,78
1-2	7	0		30	2,9	0,07	4,6	4,0	5,0	0,03	9,9	6,1	2,9
2-5	10	0		70	6,9	0,12	8,7	7,5	9,3	0,05	14	12	5,5
5-10	56	0		662	65	0,92	65	54	68	0,19	55	145	69
10-15	24	0		249	24	0,29	20	12,8	16	0,06	18	46	22
15+	1	0		5,6	0,54	0,01	0,46	0,25	0,31	0,00	0,37	1,0	0,49
Total	100	0		1.025	100	1,42	100	80	100	0,34	100	212	100

Figura 11 – Emissões da frota total por faixa etária - 1994

Tabela 16 – Emissões por faixa etária da frota total para 1994

Frota		CO ₂		CO		CH ₄		NO _x		N ₂ O		NMVOC	
Faixa etária	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%
0-1	6	3.007	14	122	3	0,17	3	14	6	0,10	10	18	2
1-2	9	3.844	18	191	4	0,26	5	23	10	0,15	14	28	3
2-5	18	6.626	30	590	13	0,83	14	54	23	0,26	25	83	10
5-10	25	1.865	9	946	21	1,6	22	76	32	0,25	24	234	27
10-15	19	2.526	12	912	20	1,1	18	37	16	0,14	14	188	22
15+	24	4.072	19	1850	40	2,2	38	33	14	0,14	13	311	36
Total	100	21.940	100	4610	100	5,7	100	237	100	1,0	100	861	100

Com relação às emissões da frota a gasolina (Figura 9) pode-se observar que a maior parte das emissões (51% das emissões de CO, 50% das emissões de CH₄ e 48% das emissões de NMVOC) provêm da frota com mais de 15 anos.

A maior parte das emissões da frota a álcool é proveniente da frota com idade entre 5 e 10 anos (Figura 10). Esse fato se deve, no entanto, à própria estrutura da frota já que 56% dos veículos encontram-se nessa faixa etária.

De modo geral, a frota mais antiga é a que emite mais (Figura 11). Essa constatação fica mais evidente quando são analisados os fatores de emissão médios por faixa etária. A tabela a seguir mostra os fatores de emissão da frota, por faixa etária, para o ano de 1994.

Tabela 17 – Fatores de emissão médios por faixa etária para a frota 1994

FE médio para frota a gasolina (g/km)						
Faixa Etária	CO₂	CO	CH₄	NO_x	N₂O	NMVOC
0-1	164	6,2	0,01	0,70	0,005	0,87
1-2	164	6,9	0,01	0,80	0,005	0,93
2-5	156	12	0,02	1,1	0,005	1,7
5-10	148	23	0,03	1,7	0,005	7,0
10-15	148	39	0,04	1,4	0,005	8,3
15+	148	67	0,08	1,2	0,005	11
médio	155	25	0,03	1,1	0,005	4,6
FE médio para frota a álcool (g/km)						
Faixa Etária	CO₂	CO	CH₄	NO_x	N₂O	NMVOC
0-1	0	4,3	0,01	0,60	0,005	0,85
1-2	0	4,5	0,01	0,60	0,005	0,91
2-5	0	7,5	0,01	0,79	0,005	1,2
5-10	0	18	0,02	1,5	0,005	3,9
10-15	0	21	0,02	1,1	0,005	3,9
15+	0	22	0,03	1,0	0,005	4,2
total	0	15	0,02	1,2	0,005	3,2
FE médio para frota total (g/km)						
Faixa Etária	CO₂	CO	CH₄	NO_x	N₂O	NMVOC
0-1	148	6,0	0,01	0,69	0,005	0,87
1-2	128	6,4	0,01	0,76	0,005	0,92
2-5	127	11	0,02	1,0	0,005	1,6
5-10	38	19	0,03	1,5	0,005	4,7
10-15	88	32	0,04	1,3	0,005	6,5
15+	147	67	0,08	1,2	0,005	11
total	105	22	0,03	1,1	0,005	4,1

Pode-se observar, que quanto mais recente for o modelo do veículo, menor a quantidade de gases emitida por quilômetro rodado, exceto para o CO₂, onde esta relação se inverte. Quanto mais novo for o modelo, mais eficiente é a queima, gerando menos gases derivados da queima incompleta e portanto mais CO₂.

1.6 Emissões evitadas

As emissões evitadas são definidas como a diferença entre as emissões provenientes de uma situação hipotética, onde a frota de veículos consumisse exclusivamente gasolina pura e aquelas correspondentes à situação real, onde a frota é composta de veículos que consomem uma mistura de gasolina pura com álcool anidro e veículos que consomem álcool hidratado. À frota hipotética foram atribuídos os fatores de emissão da frota real a gasolina. Para o cálculo das emissões de CO₂ foram adotados os fatores de emissão de veículos a gasolina sem que fossem expurgadas as emissões relativas à biomassa.

Os resultados encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 18 – Emissões evitadas

Ano	Emissões Hipotéticas (Gg)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	28.506	6.310	7,4	244	0,82	1.325
1991	30.970	6.306	7,4	263	0,88	1.312
1992	31.433	5.726	6,8	253	0,89	1.179
1993	33.878	5.353	6,4	250	0,95	1.095
1994	37.845	5.128	6,1	256	1,04	1.034
Ano	Emissões Reais (Gg)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	15.258	5.665	6,8	222	0,82	1.095
1991	16.907	5.657	6,9	240	0,88	1.083
1992	17.590	5.164	6,3	233	0,89	982
1993	19.235	4.813	5,9	231	0,95	909
1994	21.940	4.610	5,7	237	1,04	861
Ano	Emissões Evitadas (Gg)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	13.248	645	0,55	22	0	229
1991	14.063	649	0,55	22	0	229
1992	13.843	562	0,47	20	0	197
1993	14.643	540	0,43	20	0	185
1994	15.905	517	0,39	19	0	174
Ano	Redução Percentual (%)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	46	10	7,5	9,0	0	17
1991	45	10	7,4	8,5	0	17
1992	44	10	6,8	7,9	0	17
1993	43	10	6,7	7,8	0	17
1994	42	10	6,4	7,5	0	17

O consumo de álcool etílico pela frota nacional faz com que as emissões de gases de efeito estufa do setor transporte sejam substancialmente inferiores ao que poderia ser se o único combustível utilizado fosse a gasolina pura. As emissões de CO₂ evitadas ficaram entre 42% e 46% das emissões hipotéticas de CO₂ no período. As emissões evitadas de outros gases também foram significativas e variaram entre 6% e 17% das emissões hipotéticas. As emissões evitadas de N₂O

não puderam ser avaliadas, já que foi utilizado o mesmo fator de emissão para os dois combustíveis.

1.7 Considerações finais

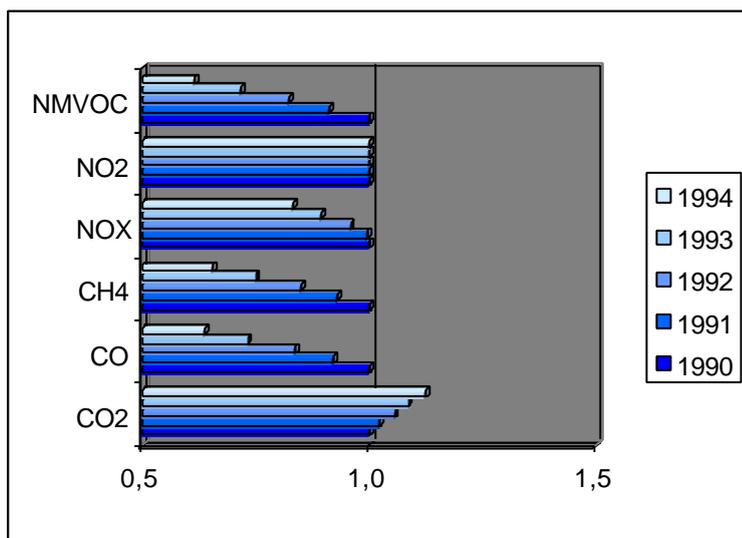
Apesar da característica específica de contar com uma frota de automóveis composta por mais de 35% de veículos a álcool hidratado carburante e a composição da gasolina conter em média 16,5% de álcool anidro, os resultados do estudo indicam que os veículos automotores constituem uma fonte importante e crescente de gases de efeito estufa.

O mais importante gás de efeito estufa, o CO₂, teve suas emissões aumentadas de 44% em 4 anos, passando de 15.258 Gg/ano, em 1990, para 21.940 Gg/ano, em 1994, o que significa uma taxa média de crescimento anual de quase 10%. Esse aumento se deve a três fatores:

- 1 - o crescimento da frota de veículos.
- 2 - a melhoria na eficiência do veículo nacional que ao aumentar a eficiência de queima, reduz as emissões relacionadas à queima incompleta mas aumenta as emissões de CO₂.
- 3 - a mudança na estrutura da frota (ver Tabela 5) que constitui-se cada vez menos de carros movidos a álcool, passando de 37% em 1990 para 35% em 1994.

Apesar do aumento significativo das emissões, os fatores de emissão médios da frota brasileira de veículos leves vem melhorando. Na Figura 12 pode-se constatar que a evolução dos fatores de emissão médios da frota nacional de veículos leves vem melhorando. Tendo como referência os fatores de emissão de 1990, o gráfico abaixo revela uma redução constante dos fatores de emissão, exceto para o CO₂.

Figura 12 – Evolução dos fatores de emissão médios da frota



2 Transporte Rodoviário – Veículos Pesados

Elaborado por:

Economia e Energia - E&E - ONG
Rua Jornalista Jair Silva, 180 - Bairro Anchieta - 30310-290 - Belo Horizonte - MG

Autores:

Carlos Feu Alvim da Silva
Aumara Bastos Feu Alvim Marques
Omar Campos Ferreira
Frida Eidelman

2.1 Introdução

O objetivo deste estudo é estimar as emissões de gases causadores do efeito estufa por veículos pesados no transporte rodoviário, entre os anos de 1990 e 1994, como contribuição ao levantamento nacional da geração desses gases, coordenado pelo MCT.

Como o transporte de cargas e coletivo de passageiros é predominante a diesel, as estimativas dos gases de efeito estufa no transporte pesado do modo rodoviário se restringiram às emissões da combustão de óleo diesel.

Foram estimadas as emissões de CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), CH₄ (metano), NO_x (óxidos de nitrogênio), N₂O (óxido nitroso) e NMVOC (compostos orgânicos voláteis não metânicos).

O presente modelo de cálculo compreende quatro etapas:

- 1) Inicialmente é estimada, para os anos de 1990 a 1994, a frota, por categoria de veículos (caminhões, ônibus e comerciais leves), que consome diesel.
- 2) O consumo de diesel do transporte rodoviário é distribuído por essas categorias (caminhões, ônibus e comerciais leves) por meio de um fator de rateio.
- 3) Os fatores de emissão são estabelecidos a partir dos limites determinados pelo PROCONVE e dos fatores de emissão do IPCC (1997).
- 4) As emissões para cada um dos gases são calculadas segundo a equação abaixo:

$$E_t = \sum_{cat} FatRateio_{cat} \times ConDiesel_t \times FE \quad \text{Equação 16}$$

Onde,

E_t = As emissões para o ano t

$FatRateio_{cat}$ = Fator de rateio do consumo de diesel para cada categoria (caminhão, ônibus e comercial leve)

$ConDiesel_t$ = Consumo de diesel no transporte rodoviário no ano t

FE = Fator de emissão para o gás

2.2 Estimativa da frota

O levantamento da frota de veículos no Brasil sempre foi sujeito a contestações, uma vez que as informações provenientes dos cadastros estaduais continham imprecisões provenientes de registros múltiplos e do registro imperfeito dos veículos que saiam de circulação. Com o levantamento do cadastro único de veículos, que está sendo realizado pelo DENATRAN, ter-se-á uma idéia mais precisa da frota de veículos existente no Brasil.

Devido à pouca confiabilidade dos dados de frota, optou-se por estimá-la a partir dos dados disponíveis de vendas e importações de veículos.

2.2.1 Venda de veículos

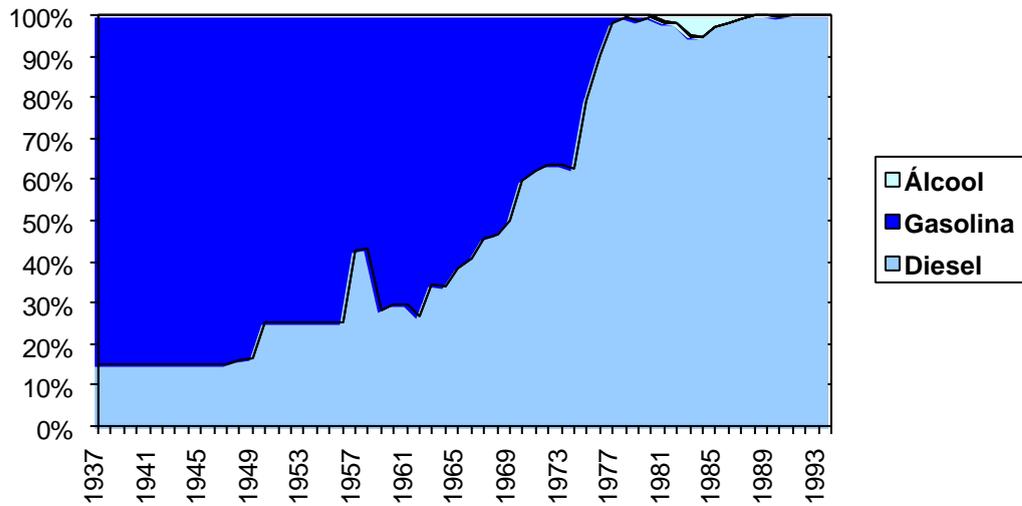
Os dados de venda de veículos de produção nacional, publicados pela ANFAVEA, serviram de base para a estimativa da frota a diesel estão relacionados no Anexo 6, de acordo com publicação da ANFAVEA.

As vendas de veículos importados estão sujeitas a maiores imprecisões, mas foram pouco significativas de 1960 a 1990. Os dados referentes às importações por produtores nacionais afiliados a ANFAVEA são também encontrados nos boletins daquela organização.

A partir dos dados de vendas de veículos nacionais e importados chega-se ao total de veículos vendidos no Brasil, usando a mesma divisão por categoria que foi usada na determinação da frota. Os valores totais e por tipo de combustível são mostrados no Anexo 6.

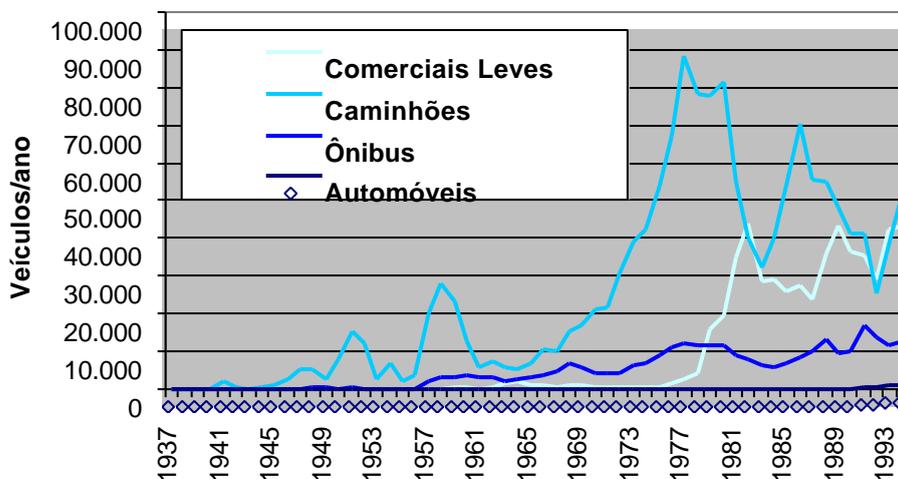
A Figura 13 mostra que as vendas de veículos a diesel sofreram grandes variações no decorrer das três últimas décadas. Na implantação da indústria automobilística no Brasil, o diesel foi definido como de uso exclusivo para carga e transporte coletivo. Essa política tinha como objetivo favorecer o uso social do diesel com um preço menor por energia fornecida. Esta tendência foi acentuada após o primeiro choque de petróleo (1973), quando a participação do diesel nos veículos comerciais pesados chegou a praticamente 100%.

Figura 13 – Participação do diesel nas vendas de veículos pesados por combustível



A venda de veículos pesados a diesel está fortemente condicionada ao crescimento econômico e particularmente ligada aos setores produtivos primários. A venda de ônibus e veículos comerciais leves cresceu de maneira consistente, ao longo das quatro últimas décadas, refletindo o processo de urbanização verificado no período (Ver Figura 14).

Figura 14 – Venda de veículos diesel por tipo de veículo (inclui importados)



2.2.2 Sucateamento de Veículos

Na ausência de estatísticas confiáveis da frota optou-se pela aplicação de uma curva de sucateamento sobre as vendas de veículos novos.

Foram usadas, para ajustes, as estimativas do DENATRAN que fornecem a frota total e a idade média da frota em 1998.

Foi aplicada uma curva logística da forma:

$$Y = Y_0 / (1 + \text{Exp}(a * (t - t_0))) \quad \text{Equação 17}$$

Não se tratando de uma curva com valor 1 no tempo zero é necessária uma renormalização adotando-se a soma da curva “espelhada”, como está definido na equação a seguir:

$$Y = Y_0 / (1 + \text{Exp}(a * (t - t_0))) + Y_0 / (1 + \text{Exp}(a * (t + t_0))) \quad \text{Equação 18}$$

Onde t_0 corresponde ao ponto de inflexão da curva em S (ponto onde o valor remanescente é a metade do valor inicial). Os valores de a e t_0 , foram ajustados para reproduzir aproximadamente os valores da frota e a idade média dos veículos fornecidos para 1997 pelo DENATRAN mostrados na tabela a seguir:

Tabela 19 – Frota DENATRAN

	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus	Micro-ônibus	Total
Tot. licenciado (a)	15.352.638	2.070.977	1.019.889	208.162	73.702	18.725.368
Outros veículos (b)	895.005	184.331	58.221	12.338	11.640	1.161.535
Total Brasil	16.247.643	2.255.308	1.078.110	220.500	85.342	19.886.903
Idade média	9,9	8,3	14,5	10,1	5,9	10

Fonte: Denatran/Ministério da Justiça

Notas:

- a) Os dados referem-se a autoveículos fabricados até 1997 e licenciados até agosto/98;
- b) Outros veículos referem-se aos cadastrados, porém não licenciados até agosto/98.

As curvas utilizadas não sofreram modificações substanciais para os diversos tipos de veículos e são mostradas na Figura 15 a seguir. As constantes de ajuste utilizadas estão registradas na Tabela 20.

Figura 15 – Curvas de sucateamento

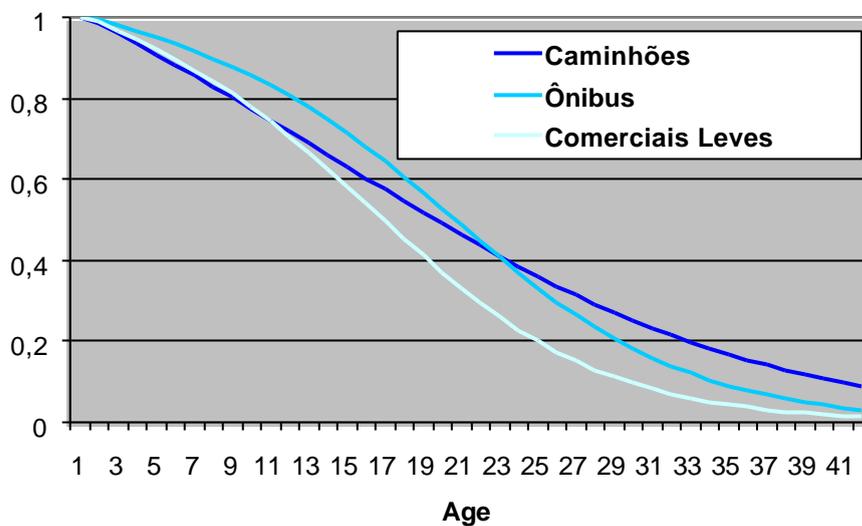
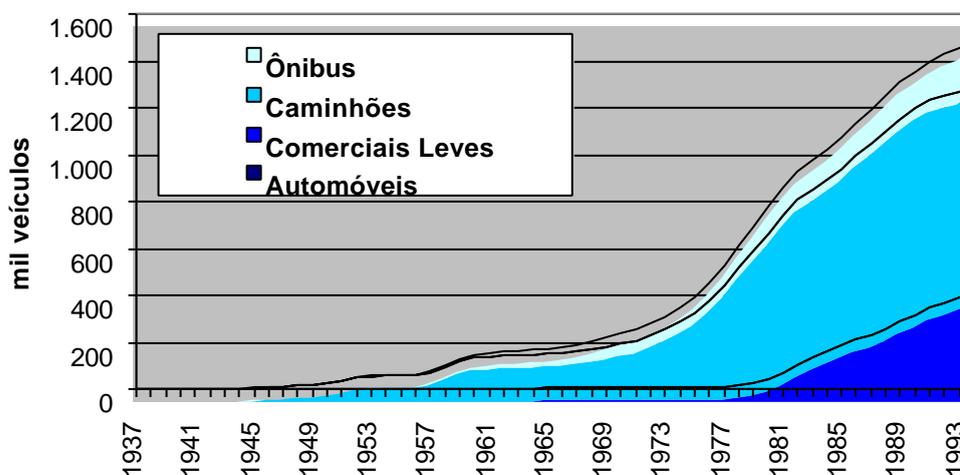


Tabela 20 – Constantes de ajuste

Veículo	t_0	a	Frota estimada 1997 (mil veículos)	Idade estimada	Frota DENATRAN 1997 (mil veículos)	Idade DENATRAN
Automóveis	21,0	0,19	16.187	9,90	16.248	9,90
Comerciais Leves	15,3	0,17	2.416	8,15	2.340	8,21
Caminhões	17,0	0,10	1.096	14,45	1.078	14,50
Ônibus	19,1	0,16	220	10,09	220	10,10

A frota a diesel obtida consta do Anexo 7 e a Figura 16 a seguir ilustra a sua evolução.

Figura 16 – Frota a diesel no Brasil por tipo de veículo


2.2.3 Distribuição da frota por idade de veículos

A partir das vendas de veículos no mercado nacional e das curvas de sucateamento pode-se estimar o valor da frota por ano e o seu comportamento por faixa etária.

Foram consideradas as seguintes faixas de idade:

Frota 0-2 – Veículos do ano (metade da frota ao final do ano) e do ano anterior

Frota 3-5 – Veículos de 3 a 5 anos

Frota 6-10 – Veículos de 6 a 10 anos

Frota 11-15 – Veículos de 11 a 15 anos

Frota 15 + – Veículos com mais de 15 anos

A participação dos veículos a diesel sempre foi desprezível entre os automóveis (- de 0,2%) por restrições legais, já que o diesel, a preços muito inferiores (por unidade de energia) à gasolina era reservado ao transporte de cargas e coletivo. Para efeitos deste trabalho, a frota de comerciais leves será tratada junto com a de automóveis.

As tabelas e figuras a seguir mostram as frotas de caminhões, ônibus e comerciais leves (somadas com a frota de automóveis a diesel) por faixa etária.

Figura 17 – Frota de caminhões a diesel por faixa etária 1990-1994

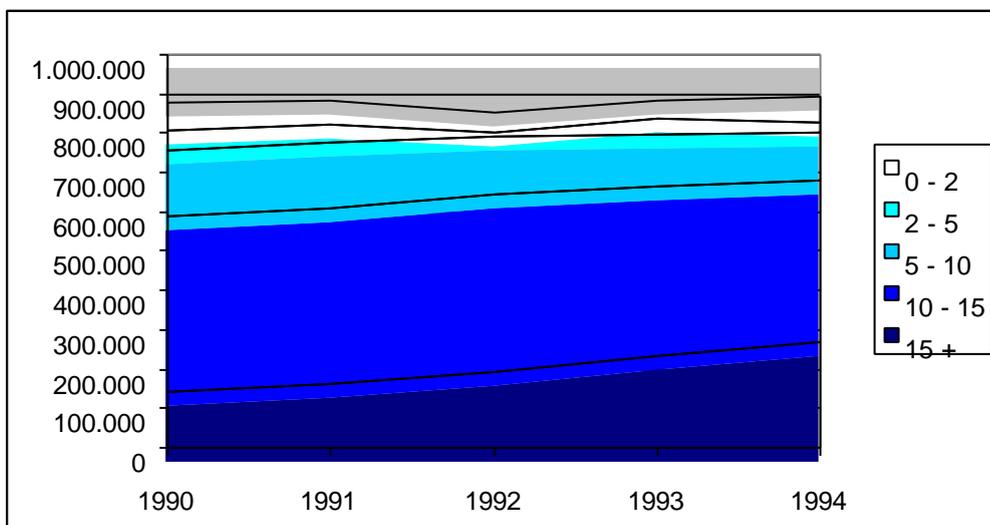
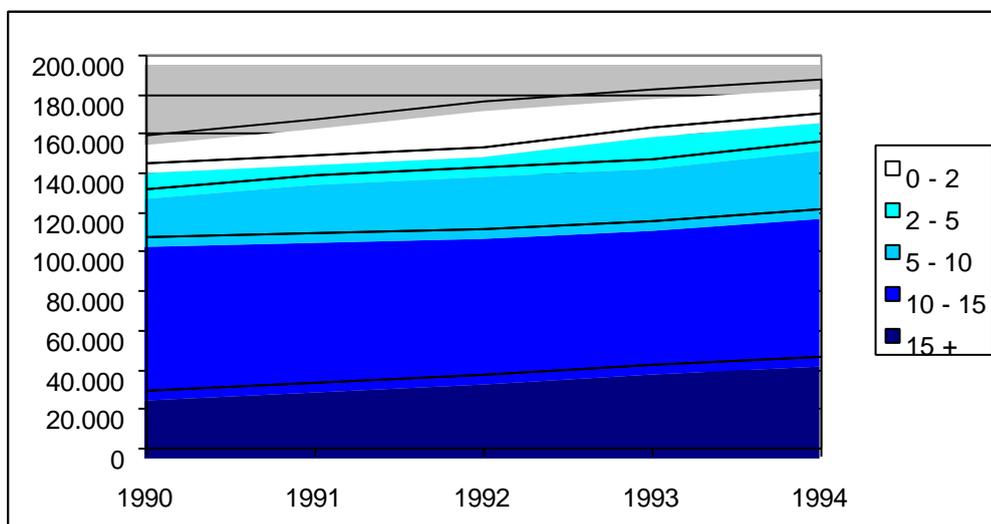


Tabela 21 – Frota de caminhões a diesel por faixa etária 1990-1994

Ano	Caminhões por Faixa Etária					Total
	0 - 2	3 - 5	6 - 10	11 - 15	15 +	
1990	68.662	53.338	165.691	448.035	141.420	877.146
1991	61.855	46.813	166.169	445.686	164.765	885.288
1992	54.135	10.110	145.950	449.957	194.541	854.693
1993	44.752	40.258	132.336	428.993	235.336	881.675
1994	64.479	24.925	120.142	413.932	268.082	891.560

Figura 18 – Frota de ônibus a diesel por faixa etária 1990-1994

Tabela 22 – Frota de ônibus a diesel por faixa etária 1990-1994

Ano	Ônibus por Faixa Etária					Total
	0 - 2	3 - 5	6 - 10	11 - 15	15 +	
1990	14.531	12.779	24.589	78.086	29.763	159.748
1991	18.524	9.347	30.178	76.265	33.146	167.460
1992	23.718	9.944	31.052	74.254	37.724	176.692
1993	19.404	16.620	31.037	73.087	42.661	182.809
1994	17.694	13.507	34.919	74.780	47.140	188.040

Figura 19 – Frota de veículos leves por faixa etária 1990-1994

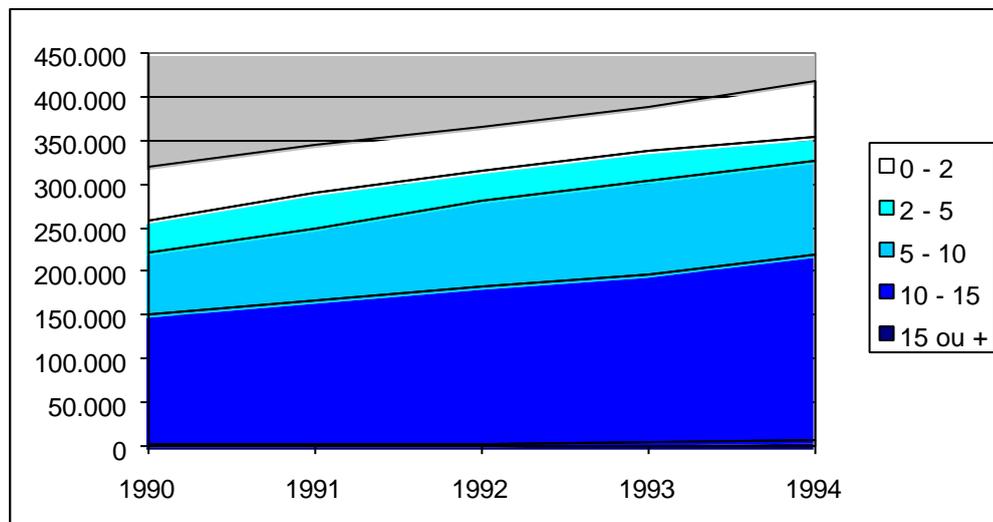


Tabela 23 – Frota de veículos leves a diesel por faixa etária 1990-1994

Ano	Veículos Leves por Faixa Etária					Total
	0 - 2	3 - 5	6 - 10	11 - 15	15 +	
1990	61.856	35.252	72.057	146.722	2.985	318.872
1991	54.131	42.656	81.518	163.545	3.020	344.870
1992	49.931	35.688	96.883	180.033	3.426	365.961
1993	50.584	34.520	108.293	191.573	4.401	389.371
1994	63.278	28.648	107.390	212.086	6.175	417.577

2.3 Cálculo do fator de rateio

Como foi visto na Equação 16, as emissões são calculadas a partir de uma multiplicação dos fatores de emissão, expressos em gramas de gases por unidade de energia, pela quantidade de diesel consumida por cada categoria da frota, determinada pelo fator de rateio.

O total do consumo de diesel no transporte rodoviário, para o período de 1990 a 1994, consta do Balanço Energético Nacional, mas não consta a sua distribuição pelas diferentes categorias de transporte pesado. O total do diesel deve ser distribuído pelas categorias de transporte rodoviário (caminhão, ônibus e comerciais leves) para cada ano, segundo um fator de rateio dado por:

$$rat_i = \frac{X_i P_i C_i}{\sum_i X_i P_i C_i}$$

Equação 19

Sendo **X** a participação da categoria na frota, **P** a potência típica da categoria e **C** o consumo específico correspondente.

A participação das categorias na frota **X** (em %) está mostrada na Tabela 24 e foi calculada a partir dos dados de frota que constam das tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 24 – Participação na frota diesel (%)

Ano	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus
1990	23,5	647	11,8
1991	24,7	63,3	12,0
1992	26,2	61,2	12,6
1993	26,8	60,6	12,6
1994	27,9	59,5	12,6

As informações sobre a potência típica para várias categorias e o correspondente consumo específico mínimo foram fornecidas pela Mercedes Benz do Brasil SA. O consumo específico médio é calculado como média ponderada dos consumos específicos das categorias sendo o fator de ponderação o produto da participação de cada categoria na frota pela potência nominal da categoria. Os resultados estão resumidos na tabela abaixo:

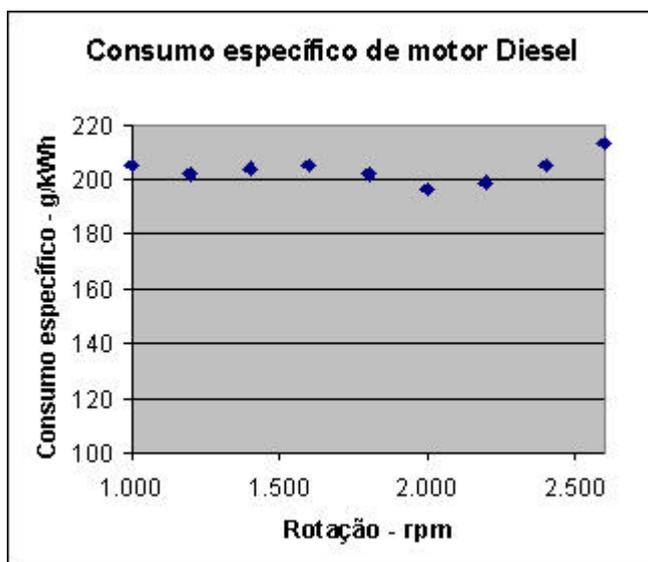
Tabela 25 – Parâmetros adicionais para cálculo das emissões

Categoria	Potência Nominal kW	Consumo Específico Mínimo g/kWh
Comerciais Leves	90	201
Caminhões	195	192
Ônibus	155	197

Dado a semelhança das curvas de desempenho informadas pela Mercedes Benz do Brasil para essas categorias, e a relativa constância do consumo específico em ampla faixa de rotação, em

motores diesel (Figura 20), supõe-se que os consumos específicos nas condições de uso sejam proporcionais aos consumos específicos mínimos.

Figura 20 – Consumo específico em função da rotação do motor



Estabelecida esta hipótese, o consumo de óleo diesel no Setor de Transporte Rodoviário, retirado do Balanço Energético Nacional (1998), é distribuído pelas categorias segundo o fator de rateio definido na Equação 19.

Na tabela a seguir estão indicadas as participações no consumo por categoria de veículos pelos diversos anos.

Tabela 26 – Fatores de rateio do diesel

Categoria	1990	1991	1992	1993	1994
Comerciais Leves	0,133	0,140	0,150	0,154	0,159
Caminhões	0,755	0,745	0,727	0,723	0,718
Ônibus	0,112	0,115	0,123	0,122	0,123

Observação: automóveis estão incluídos em Comerciais Leves devido à pequena participação na frota (menor que 0,2%).

2.4 Fatores de emissão

2.4.1 Fatores de emissão para os gases CO, HC e NO_x

No cálculo das emissões de CO, HC e NO_x foram usados fatores de emissão construídos a partir dos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para as emissões de veículos novos.

O controle das emissões veiculares no Brasil é exercido através do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE - instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA- em Portaria nº 18 /1985.

O PROCONVE estabeleceu ainda a obrigatoriedade da Certificação de Conformidade dos motores aos níveis de emissão prescritos.

A implantação do Programa vem sendo feita desde a Portaria 18/85 de modo gradual. Até há dois anos, não contava com laboratório de emissões para veículos diesel instalado e operado por entidade pública nacional. Atualmente, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, em S. Paulo, opera um laboratório equipado com os recursos necessários à essa finalidade.

Os limites estabelecidos pelo PROCONVE estão apresentados na tabela do Anexo 3, incluindo-se para 1993, os fatores de emissão da Comunidade Européia, na unidade adotada pelo PROCONVE (grama de poluente por kWh). Observe-se que os gases de efeito estufa mais relevantes (CO₂ e CH₄) ainda não constam das prescrições.

Abaixo encontra-se a tabela com os fatores de emissão que foram utilizados no cálculo das emissões.

Tabela 27 – Fatores de emissão em g/kWh

Ano	FE (g/kWh)		
	CO	HC	NO _x
1993 e anterior ¹	14,0	3,5	18,0
1994 ²	13,8	3,4	17,7

¹ ECE-49 - *European Community Regulation* n° 49;

² Portaria IBAMA.

Por conveniência os fatores de emissão acima foram convertidos de g/kWh para g/L usando o consumo específico médio para a frota (195 g/ kWh) e a densidade do óleo (852 g/L)⁶ como mostrado na Tabela a seguir.

Tabela 28 – Fatores de emissão em gramas por litro (g/L) de combustível

Ano	FE (g/L)		
	CO	HC	NOx
1993 e anterior	61,4	15,4	78,9
1994	60,5	14,9	77,6

2.4.2 Fatores de emissão para os gases CH₄, N₂O e NMVOC

Não existe legislação nem fatores de emissão para o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) nem os NMVOC (compostos orgânicos voláteis não metânicos) no Brasil.

Para o CH₄ e o N₂O foram utilizados os fatores de emissão default do IPCC (1997). Essa categoria de fatores de emissão são recomendadas para quando não se tem nenhuma informação além da quantidade de combustível consumida e envolve um alto grau de incerteza.

Como se sabe, o CH₄ (metano) é uma fração dos hidrocarbonetos totais (HC). Os NMVOC (compostos orgânicos voláteis não metânicos) são definidos como os hidrocarbonetos totais subtraído o metano, como na equação abaixo:

$$\text{NMVOC} = \text{HC} - \text{CH}_4$$

Equação 20

As emissões de NMVOC foram calculadas pela diferença entre as emissões de HC e de CH₄.

2.4.3 Fator de emissão para o CO₂

O cálculo das emissões de CO₂ para toda a frota é calculado a partir do conteúdo de carbono do combustível. O conhecimento do conteúdo de carbono no diesel pode ser deduzido a partir do

⁶ BEN (1998)

Número de Cetano. Esta característica varia de uma refinaria a outra, sendo necessário admitir-se um valor médio para todo o diesel consumido. Consideradas as especificações vigentes para o diesel metropolitano, o rodoviário e para outros usos, a distribuição do consumo por esses usos e a variação de características entre refinarias, um valor representativo é $NC = 42$. Com este dado, pode-se representar a composição do diesel, para efeito do balanço de carbono, pela mistura de 42% de n-hexadecano - $C_{16}H_{34}$ - que tem as mesmas características de inflamabilidade que o óleo diesel considerado, e 58% de alfa-metil-nafteno - $C_{11}H_{10}$, cuja adição ao hexadecano permite aferir o número de cetano da amostra.

O combustível médio consumido contendo 42% de hexa-decano tem 89,6% de sua massa correspondendo ao carbono.

O conteúdo de carbono do combustível é portanto definido como:

$$ContCarb = ConDie (1000 tep) \times FaCo(m^3/1000tep) \times FrCa (\%)$$

$$ContCarb = ConDie \times 0,852 t/m^3 \times 0,896$$

$$ContCarb = ConDie (m^3) \times 0,7634$$

E o conteúdo de CO_2 como:

$$ContCO_2 = ConDie (m^3) \times 0,7634 \times 44/12$$

$$FE CO_2 = ContCO_2 (g) / ConDie (L)$$

$$FE CO_2 = 2799 g/L$$

Onde *ContCarb* é o conteúdo de carbono, *ConDie* o consumo de diesel, *FaCO* o fator de conversão, *FrCa* a fração de carbono e o *ContCO₂* o conteúdo de dióxido de carbono.

A tabela abaixo resume os fatores de emissão utilizados no cálculo das emissões.

Tabela 29 – Fatores de emissão em g/L combustível.

Ano de fabricação	FE (g/L)

	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1993 e anterior	2.799	61,40	0,182	78,9	0,022	15,22
1994	2.799	60,50	0,182	77,6	0,022	14,72

2.5 Cálculo das emissões

As emissões totais da frota a diesel são calculadas multiplicando-se o consumo total de diesel pelos fatores de emissão e encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 30 – Emissões pela frota diesel

Ano	Consumo (10 ⁹ L)	Emissões (mil toneladas)					
		CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1990	18,3	51.127	1.121	3,33	1.441	0,399	278
1991	19,0	53.322	1.170	3,47	1.503	0,416	290
1992	19,4	54.276	1.191	3,53	1.530	0,424	295
1993	19,9	55.695	1.222	3,62	1.570	0,435	303
1994	20,8	58.207	1.276	3,79	1.640	0,454	316

2.5.1 Emissões por categoria de veículos

Calculadas as emissões da frota, as emissões por categorias são distribuídas aplicando-se às emissões o fator de rateio do consumo que consta da Tabela 26. Os resultados encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 31 – Emissões de C₂O por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	5.735	38.610	6.782	51.127
1991	6.127	39.718	7.476	53.322
1992	6.653	39.459	8.163	54.276

1993	6.812	40.286	8.596	55.695
1994	7.160	41.626	9.420	58.207

Unidade: 1.000 t

Tabela 32 – Emissões de CO por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	126	847	149	1.121
1991	134	871	164	1.170
1992	146	866	179	1.191
1993	149	884	189	1.222
1994	157	913	207	1.276

Unidade: 1.000 t

Tabela 33 – Emissões de CH₄ por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	0,37	2,51	0,44	3,33
1991	0,40	2,58	0,49	3,47
1992	0,43	2,57	0,53	3,53
1993	0,44	2,62	0,56	3,62
1994	0,47	2,71	0,61	3,79

Unidade: 1.000 t

Tabela 34 – Emissões de NO_x por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	162	1.088	191	1.441
1991	173	1.120	211	1.503
1992	188	1.112	230	1.530
1993	192	1.136	242	1.570
1994	202	1.173	265	1.640

Unidade: 1.000 t

Tabela 35 – Emissões de N₂O por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	0,045	0,301	0,053	0,399
1991	0,048	0,310	0,058	0,416
1992	0,052	0,308	0,064	0,424
1993	0,053	0,315	0,067	0,435
1994	0,056	0,325	0,074	0,454

Unidade: 1.000 t

Tabela 36 – Emissões de NMVOC por categoria de veículos

Ano	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves	Total
1990	31	210	37	278
1991	33	216	41	290
1992	36	215	44	295
1993	37	219	47	303
1994	39	226	51	316

Unidade: 1.000 t

3 Transporte Aéreo

Elaborado por:

Instituto de Aviação Civil - IAC
Av. Almirante Sílvio de Bnoronha 369 - 3º Andar - 20021-010-Rio de Janeiro - RJ

Autor:

Fabio Scatolini

3.1 Introdução

As diretrizes para cálculo das emissões (IPCC Guidelines) apresentam dois métodos para cálculo das emissões de gases de efeito estufa devidas ao transporte aéreo. O método mais simplificado (*Tier 1*) baseia-se apenas no consumo de combustíveis do setor, enquanto o método detalhado (*Tier 2*) baseia-se no número de operações de decolagem/aterrissagem e no consumo de combustíveis.

No presente trabalho estima-se as emissões de gases de efeito estufa devidas ao transporte aéreo, no ano de 1995, utilizando-se o método detalhado.

As diretrizes da Convenção-Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNFCCC) estabelecem que as emissões relativas ao tráfego aéreo doméstico devem ser relatadas separadamente das emissões relativas ao tráfego aéreo internacional. Essas últimas não devem ser totalizadas como emissões nacionais e sim consideradas como *bunker fuels*.

3.2 Metodologia

A metodologia detalhada (*Tier 2*) baseia-se no consumo de combustível e no número de operações de pouso e decolagem (LTO), por tipo de aeronave. A metodologia *Tier 2* aplica-se apenas a aviões com turbinas a jato que consomem querosene de aviação. Para pequenos aviões, que consomem gasolina de aviação, deve ser utilizada a metodologia simplificada.

A metodologia detalhada consiste na separação das emissões que ocorrem durante as operações de pouso e decolagem das emissões que ocorrem durante vôo de cruzeiro. Para sua aplicação, é necessário conhecer o número de operações de pouso e decolagem realizadas por tipo de aeronave.

Também é necessário discriminar as operações por vôo doméstico ou vôo internacional, já que apenas as emissões associadas aos vôos domésticos devem ser consideradas no inventário nacional. As demais são classificadas como *bunker fuels*.

Para cada gás de efeito estufa considerado (CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x, NMVOC), a estimativa de emissão é calculada utilizando as fórmulas a seguir:

$$E_i = E_{LTOi} + E_{Ci} \quad \text{Equação 21}$$

onde: E_i é a emissão total das aeronaves do tipo i

E_{LTOi} é a emissão das aeronaves do tipo i em operações de pouso e decolagem

E_{Ci} é a emissão das aeronaves do tipo i em vôo de cruzeiro

A emissão em operações de pouso e decolagem por tipo de aeronave (E_{LTOi}) é calculada como:

$$E_{LTOi} = N_{LTOi} \cdot EF_{LTOi} \quad \text{Equação 22}$$

onde: N_{LTOi} é o número de operações de pouso e decolagem realizadas por aeronaves do tipo i

EF_{LTOi} é o fator de emissão por operação de pouso e decolagem para aeronaves do tipo i

A emissão total em voo de cruzeiro por tipo de aeronave (E_{Ci}) é calculada como:

$$E_{Ci} = F_{Ci} \cdot EF_{Ci} \quad \text{Equação 23}$$

onde: F_{Ci} é a quantidade total de combustível consumida pelas aeronaves de tipo i , durante os vôos de cruzeiro

EF_{Ci} é o fator de emissão por unidade de combustível consumido quando em voo de cruzeiro pelas aeronaves do tipo i

A quantidade total de combustível consumida pelas aeronaves de tipo i em voo de cruzeiro (F_{Ci}) é calculada como:

$$F_{Ci} = (F_T - F_{LTO}) \cdot N_{LTOi} / N_{LTO} \quad \text{Equação 24}$$

onde: F_T é a quantidade total de combustível consumido

F_{LTO} é a quantidade total de combustível consumida em operações de pouso e decolagem

N_{LTO} é o número total de operações de pouso e decolagem

A quantidade total de combustível consumida em operações de pouso e decolagem (F_{LTO}) é igual à soma das quantidades totais consumidas em operações de pouso e decolagem por cada tipo de aeronave (F_{LTOi}) que são calculadas como:

$$F_{LTOi} = N_{LTOi} \cdot CF_{LTOi} \quad \text{Equação 25}$$

onde: CF_{LTOi} é o consumo de combustível por operação de pouso e decolagem para aeronaves do tipo i

3.3 Resultados

O consumo de querosene de aviação foi obtido das empresas distribuidoras (Petrobras, Shell e Esso), das estatísticas do Balanço Energético Nacional (BEN) e da ANP.

Tabela 37 – Consumo de Querosene de Aviação - Empresas Distribuidoras

Consumo de Querosene de Aviação em 1995	Volume (10 ³ m ³)
Consumo de empresas nacionais em trajeto doméstico	1.433
Consumo em trajetos internacionais	1.427
Consumo total	2.860

Fonte: Petrobras, Shell e Esso

Tabela 38 – Consumo de Querosene de Aviação - Comparação entre dados do BEN e da ANP

Operações com Querosene de Aviação em 1995	Volume (10^3 m ³)		Diferença
	BEN	ANP	
Produção das Refinarias	3.136	3.156	- 20
Importação	640	640	0
Exportação	- 870	- 32	- 838
Varição de Estoques, Perdas e Ajustes	- 41	- 61	20
Consumo Final – Transporte Aéreo	2.865	3.703	- 838

As estatísticas das empresas distribuidoras (Petrobras, Shell e Esso) indicam vendas de combustível para empresas nacionais em trajetos domésticos e para transporte internacional (empresas nacionais e estrangeiras) cujo total é aproximadamente igual ao valor de consumo apresentado pelo BEN.

A diferença para o total de vendas apresentado pela ANP (843 mil m³) corresponde aproximadamente à diferença entre o valor de exportações apresentado pelo BEN e o valor apresentado pela ANP (838 mil m³).

Neste trabalho, assume-se que essa diferença entre os valores do BEN e a ANP corresponde a fornecimento adicional à empresas estrangeiras mas que foram contabilizadas no BEN como exportações. Sendo assim, essa diferença é adicionada ao consumo de combustíveis em trajetos internacionais, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 39 – Consumo de Querosene de Aviação - Valores adotados no trabalho

Consumo de Querosene de Aviação em 1995	Volume (10^3 m ³)
Consumo de empresas nacionais em trajeto doméstico	1.433
Consumo em trajetos internacionais	2.270
Consumo total	3.703

Na tabela a seguir, são apresentados os valores calculados de consumo de combustível em operações de pouso e decolagem e em vôo de cruzeiro por tipo de aeronave, para as operações domésticas e internacionais. Para os valores de consumo de combustível por operação de pouso e decolagem para cada tipo de aeronave, foram adotados os valores default sugeridos pelo IPCC.

Como descrito na metodologia, o consumo total de combustível em vôo de cruzeiro, por tipo de aeronave, é considerado proporcional ao número de vôos de cada tipo de aeronave.

Tabela 40 – Dados sobre vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Número de LTO	Consumo de Combustível por LTO (kg)	Consumo total de Combustível por LTO (t)	Combustível Vendido (t)	Combustível Consumido em Cruzeiro (t)
	N_{LTOi}	CF_{LTOi}	$FLTOi$	F	F_{Ci}
Boeing 737-300, 400 e 500	157.993	830	131.134		186.932
Boeing 737-200 / ADV	83.933	920	77.218		99.307
Boeing 767-200 e 300	26.552	1.710	45.404		31.416
DC-10/30 e MD-11	9.501	2.360	22.422		11.241
Fokker 100	91.901	740	68.007		108.734
BEM-110 / Bandeirante	7.691	300	2.307		9.100
BEM-120 / Brasília	18.971	300	5.691		22.446
Fokker 50	27.814	670	18.635		32.909
Learjet 25	25.570	680	17.388		30.254
Learjet 35/55	65.753	680	44.712		77.797
Boeing 747-200	10	3.380	34		12
Boeing 747-400	2.250	3.390	7.628		2.662
Boeing 727-100 e 200	16.552	1.410	23.338		19.584
Airbus A300/A340	10.576	1.730	18.296		12.513
Boeing 707 e MD-8	1.626	1.860	3.024		1.924
TOTAIS	546.693		485.240	1.132.070	646.830

Tabela 41 – Dados sobre vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Número de LTO	Consumo de Combustível por LTO (kg)	Consumo total de Combustível por LTO (t)	Combustível Vendido (t)	Combustível Consumido em Cruzeiro (t)
	N_{LTOi}	CF_{LTOi}	F_{LTOi}	F	F_{ci}
Boeing 737-300, 400 e 500	1.485	870	1.292		37.741
Boeing 737-200 / ADV	1.497	920	1.377		38.046
Boeing 767-200 e 300	23.833	1.710	40.754		605.710
DC-10/30 e MD-11	20.364	2.360	48.059		517.546
Fokker 100	0	740	0		0
EMB-110 / Bandeirante	0	300	0		0
EMB-120 / Brasília	0	300	0		0
Fokker 50	0	670	0		0
Learjet 25	1.382	680	940		35.123
Learjet 35/55	3.454	680	2.349		87.783
Boeing 747-200	5.421	3.380	18.323		137.773
Boeing 747-400	1.754	3.390	5.946		44.578
Boeing 727-100 e 200	1.239	1.410	1.747		31.489
Airbus A300/A340	4.388	1.730	7.591		111.520
Boeing 707 e MD-8	929	1.860	1.728		23.610
TOTAIS	65.442		130.106	1.793.300	1.663.194

A partir dos valores de número de operações de pouso e decolagem por tipo de aeronave e do total de combustível consumido por cada tipo de aeronave em vôo de cruzeiro, foram estimadas as emissões de gases de efeito estufa.

Os fatores de emissão adotados, tanto para quantidade de emissão por operação de pouso e decolagem como para quantidade de emissão por unidade de combustível consumido em vôo de cruzeiro, foram os valores default sugeridos pelo IPCC.

As tabelas a seguir apresentam os resultados para cada um dos gases de efeito estufa considerados.

Tabela 42 – Emissões de CO₂ - Vôos Domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	2.625	414.732	3.150	588.837	1.004
Boeing 737-200 / ADV	2.905	243.825	3.150	312.817	557
Boeing 767-200 e 300	5.405	143.514	3.150	98.959	242
DC-10/30 e MD-11	7.460	70.877	3.150	35.410	106
Fokker 100	2.340	215.048	3.150	342.513	558
EMB-110 / Bandeirante	945	7.268	3.150	28.664	36
EMB-120 / Brasília	945	17.928	3.150	70.705	89
Fokker 50	2.115	58.827	3.150	103.662	162
Learjet 25	2.150	54.976	3.150	95.299	150
Learjet 35/55	2.150	141.369	3.150	245.060	386
Boeing 747-200	10.680	107	3.150	37	0
Boeing 747-400	10.710	24.098	3.150	8.386	32
Boeing 727-100 e 200	3.980	65.877	3.150	61.689	128
Airbus A300/A340	5.470	57.851	3.150	39.417	97
Boeing 707 e MD-8	5.880	9.561	3.150	6.060	16
Total Doméstico					3.563

Tabela 43 – Emissões de CO₂ - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	2.625	3.898	3.150	118.884	123
Boeing 737-200 / ADV	2.905	4.349	3.150	119.845	124
Boeing 767-200 e 300	5.405	128.817	3.150	1.907.987	2.037
DC-10/30 e MD-11	7.460	151.915	3.150	1.630.271	1.782
Fokker 100	2.340	0	3.150	0	0
EMB-110 / Bandeirante	945	0	3.150	0	0
EMB-120 / Brasília	945	0	3.150	0	0
Fokker 50	2.115	0	3.150	0	0
Learjet 25	2.150	2.971	3.150	110.638	114
Learjet 35/55	2.150	7.426	3.150	276.515	284
Boeing 747-200	10.680	57.896	3.150	433.986	492
Boeing 747-400	10.710	18.785	3.150	140.419	159
Boeing 727-100 e 200	3.980	4.931	3.150	99.190	104
Airbus A300/A340	5.470	24.002	3.150	351.288	375
Boeing 707 e MD-8	5.880	5.463	3.150	74.373	80
Total Internacional					5.674

Tabela 44 – Emissões de CO - vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF_{LTOi}	E_{LTOi}	EF_{Ci}	E_{Ci}	E_i
Boeing 737-300, 400 e 500	12,20	1.927,51	7	1.308,53	3,24
Boeing 737-200 / ADV	6,20	520,38	7	695,15	1,22
Boeing 767-200 e 300	20,30	539,01	7	219,91	0,76
DC-10/30 e MD-11	59,30	563,41	7	78,69	0,64
Fokker 100	13,00	1.194,71	7	761,14	1,96
EMB-110 / Bandeirante	22,10	169,97	7	63,70	0,23
EMB-120 / Brasília	22,10	419,26	7	157,12	0,58
Fokker 50	54,80	1.524,21	7	230,36	1,75
Learjet 25	8,50	217,35	7	211,78	0,43
Learjet 35/55	8,50	558,90	7	544,58	1,10
Boeing 747-200	91,00	0,91	7	0,08	0,00
Boeing 747-400	45,00	101,25	7	18,63	0,12
Boeing 727-100 e 200	24,50	405,52	7	137,09	0,54
Airbus A300/A340	34,40	363,81	7	87,59	0,45
Boeing 707 e MD-8	92,40	150,24	7	13,47	0,16
Total Doméstico					13,18

Tabela 45 – Emissões de CO₂ - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{ci}	E _{ci}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	12,20	18,12	5	188,70	0,21
Boeing 737-200 / ADV	6,20	9,28	5	190,23	0,20
Boeing 767-200 e 300	20,30	483,81	5	3.028,55	3,51
DC-10/30 e MD-11	59,30	1.207,59	5	2.587,73	3,80
Fokker 100	13,00	0,00	5	0,00	0,00
EMB-110 / Bandeirante	22,10	0,00	5	0,00	0,00
EMB-120 / Brasília	22,10	0,00	5	0,00	0,00
Fokker 50	54,80	0,00	5	0,00	0,00
Learjet 25	8,50	11,75	5	175,62	0,19
Learjet 35/55	8,50	29,36	5	438,91	0,47
Boeing 747-200	91,00	493,31	5	688,87	1,18
Boeing 747-400	45,00	78,93	5	222,89	0,30
Boeing 727-100 e 200	24,50	30,36	5	157,44	0,19
Airbus A300/A340	34,40	150,95	5	557,60	0,71
Boeing 707 e MD-8	92,40	85,84	5	118,05	0,20
Total Internacional					10,95

Tabela 46 – Emissões de CH₄ - vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,08	12,64	0	0,00	0,01
Boeing 737-200 / ADV	0,20	16,79	0	0,00	0,02
Boeing 767-200 e 300	0,40	10,62	0	0,00	0,01
DC-10/30 e MD-11	2,10	19,95	0	0,00	0,02
Fokker 100	0,20	18,38	0	0,00	0,02
EMB-110 / Bandeirante	1,40	10,77	0	0,00	0,01
EMB-120 / Brasília	1,40	26,56	0	0,00	0,03
Fokker 50	5,50	152,98	0	0,00	0,15
Learjet 25	0,10	2,56	0	0,00	0,00
Learjet 35/55	0,10	6,58	0	0,00	0,01
Boeing 747-200	3,60	0,04	0	0,00	0,00
Boeing 747-400	1,20	2,70	0	0,00	0,00
Boeing 727-100 e 200	0,70	11,59	0	0,00	0,01
Airbus A300/A340	1,00	10,58	0	0,00	0,01
Boeing 707 e MD-8	9,80	15,93	0	0,00	0,02
Total Doméstico					0,32

Tabela 47 – Emissões de CH₄ - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{ci}	E _{ci}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,08	0,12	0	0,00	0,00
Boeing 737-200 / ADV	0,20	0,30	0	0,00	0,00
Boeing 767-200 e 300	0,40	9,53	0	0,00	0,01
DC-10/30 e MD-11	2,10	42,76	0	0,00	0,04
Fokker 100	0,20	0,00	0	0,00	0,00
EMB-110 / Bandeirante	1,40	0,00	0	0,00	0,00
EMB-120 / Brasília	1,40	0,00	0	0,00	0,00
Fokker 50	5,50	0,00	0	0,00	0,00
Learjet 25	0,10	0,14	0	0,00	0,00
Learjet 35/55	0,10	0,35	0	0,00	0,00
Boeing 747-200	3,60	19,52	0	0,00	0,02
Boeing 747-400	1,20	2,10	0	0,00	0,00
Boeing 727-100 e 200	0,70	0,87	0	0,00	0,00
Airbus A300/A340	1,00	4,39	0	0,00	0,00
Boeing 707 e MD-8	9,80	9,10	0	0,00	0,01
Total Internacional					0,09

Tabela 48 – Emissões de NO_x - vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{ci}	E _{ci}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	8,20	1.295,54	9	1.682,39	2,98
Boeing 737-200 / ADV	8,00	671,46	7	724,94	1,40
Boeing 767-200 e 300	26,70	708,94	11	348,71	1,06
DC-10/30 e MD-11	41,00	389,54	15	173,12	0,56
Fokker 100	5,70	523,84	7	804,63	1,33
EMB-110 / Bandeirante	0,30	2,31	11	100,10	0,10
EMB-120 / Brasília	0,30	5,69	11	246,90	0,25
Fokker 50	5,30	147,41	9	279,72	0,43
Learjet 25	5,60	143,19	11	332,79	0,48
Learjet 35/55	5,60	368,22	11	855,77	1,22
Boeing 747-200	53,20	0,53	16	0,18	0,00
Boeing 747-400	56,50	127,13	15	39,67	0,17
Boeing 727-100 e 200	9,20	152,28	8	164,50	0,32
Airbus A300/A340	27,21	287,77	11	137,65	0,43
Boeing 707 e MD-8	10,80	17,56	11	21,16	0,04
Total Doméstico					10,75

Tabela 49 – Emissões de NO_x - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO (kg/LTO)	Emissão Total em LTO (t)	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro (kg/t)	Emissão Total em Vôo Cruzeiro (t)	Emissão Total por Tipo de Aeronave (10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{ci}	E _{ci}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	8,20	12,18	9	339,67	0,35
Boeing 737-200 / ADV	8,00	11,98	7	277,74	0,29
Boeing 767-200 e 300	26,70	636,34	11	6.723,38	7,36
DC-10/30 e MD-11	41,00	834,92	15	7.970,22	8,81
Fokker 100	5,70	0,00	7	0,00	0,00
EMB-110 / Bandeirante	0,30	0,00	11	0,00	0,00
EMB-120 / Brasília	0,30	0,00	11	0,00	0,00
Fokker 50	5,30	0,00	9	0,00	0,00
Learjet 25	5,60	7,74	11	386,36	0,39
Learjet 35/55	5,60	19,34	11	965,61	0,98
Boeing 747-200	53,20	288,40	16	2.135,49	2,42
Boeing 747-400	56,50	99,10	15	664,20	0,76
Boeing 727-100 e 200	9,20	11,40	8	264,51	0,28
Airbus A300/A340	27,21	119,40	11	1.226,72	1,35
Boeing 707 e MD-8	10,80	10,03	11	259,71	0,27
Total Internacional					23,26

Tabela 50 – Emissões de N₂O - vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,10	15,80	0	18,69	0,03
Boeing 737-200 / ADV	0,10	8,39	0	9,93	0,02
Boeing 767-200 e 300	0,20	5,31	0	3,14	0,01
DC-10/30 e MD-11	0,20	1,90	0	1,12	0,00
Fokker 100	0,10	9,19	0	10,87	0,02
EMB-110 / Bandeirante	0,03	0,23	0	0,91	0,00
EMB-120 / Brasília	0,03	0,57	0	2,24	0,00
Fokker 50	0,10	2,78	0	3,29	0,01
Learjet 25	0,10	2,56	0	3,03	0,01
Learjet 35/55	0,10	6,58	0	7,78	0,01
Boeing 747-200	0,30	0,00	0	0,00	0,00
Boeing 747-400	0,30	0,68	0	0,27	0,00
Boeing 727-100 e 200	0,10	1,66	0	1,96	0,00
Airbus A300/A340	0,20	2,12	0	1,25	0,00
Boeing 707 e MD-8	0,20	0,33	0	0,19	0,00
Total Doméstico					0,12

Tabela 51 – Emissões de N₂O - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,10	0,15	0	3,77	0,00
Boeing 737-200 / ADV	0,10	0,15	0	3,80	0,00
Boeing 767-200 e 300	0,20	4,77	0	60,57	0,07
DC-10/30 e MD-11	0,20	4,07	0	51,75	0,06
Fokker 100	0,10	0,00	0	0,00	0,00
EMB-110 / Bandeirante	0,03	0,00	0	0,00	0,00
EMB-120 / Brasília	0,03	0,00	0	0,00	0,00
Fokker 50	0,10	0,00	0	0,00	0,00
Learjet 25	0,10	0,14	0	3,51	0,00
Learjet 35/55	0,10	0,35	0	8,78	0,01
Boeing 747-200	0,30	1,63	0	13,78	0,02
Boeing 747-400	0,30	0,53	0	4,46	0,00
Boeing 727-100 e 200	0,10	0,12	0	3,15	0,00
Airbus A300/A340	0,20	0,88	0	11,15	0,01
Boeing 707 e MD-8	0,20	0,19	0	2,36	0,00
Total Internacional					0,18

Tabela 52 – Emissões de NMVOC - vôos domésticos - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF_{LTOi}	E_{LTOi}	EF_{Ci}	E_{Ci}	E_i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,60	94,80	1	130,85	0,23
Boeing 737-200 / ADV	2,00	167,87	1	69,51	0,24
Boeing 767-200 e 300	3,20	84,97	1	21,99	0,11
DC-10/30 e MD-11	19,20	182,42	1	7,87	0,19
Fokker 100	1,20	110,28	1	76,11	0,19
EMB-110 / Bandeirante	12,70	97,68	1	6,37	0,10
EMB-120 / Brasília	12,70	240,93	1	15,71	0,26
Fokker 50	49,30	1.371,23	1	23,04	1,39
Learjet 25	1,20	30,68	1	21,18	0,05
Learjet 35/55	1,20	78,90	1	54,46	0,13
Boeing 747-200	32,00	0,32	1	0,01	0,00
Boeing 747-400	10,80	24,30	1	1,86	0,03
Boeing 727-100 e 200	6,30	104,28	1	13,71	0,12
Airbus A300/A340	9,30	98,36	1	8,76	0,11
Boeing 707 e MD-8	87,80	142,76	1	1,35	0,14
Total Doméstico					3,28

Tabela 53 – Emissões de NMVOC - vôos internacionais - 1995

Tipo de Aeronave	Fator de Emissão por LTO	Emissão Total em LTO	Fator de Emissão por Unidade de Combustível em Vôo Cruzeiro	Emissão Total em Vôo Cruzeiro	Emissão Total por Tipo de Aeronave
	(kg/LTO)	(t)	(kg/t)	(t)	(10 ³ t)
	EF _{LTOi}	E _{LTOi}	EF _{CI}	E _{CI}	E _i
Boeing 737-300, 400 e 500	0,60	0,89	3	101,90	0,10
Boeing 737-200 / ADV	2,00	2,99	3	102,72	0,11
Boeing 767-200 e 300	3,20	76,27	3	1.635,42	1,71
DC-10/30 e MD-11	19,20	390,99	3	1.397,38	1,79
Fokker 100	1,20	0,00	3	0,00	0,00
EMB-110 / Bandeirante	12,70	0,00	3	0,00	0,00
EMB-120 / Brasília	12,70	0,00	3	0,00	0,00
Fokker 50	49,30	0,00	3	0,00	0,00
Learjet 25	1,20	1,66	3	94,83	0,10
Learjet 35/55	1,20	4,14	3	237,01	0,24
Boeing 747-200	32,00	173,47	3	371,99	0,55
Boeing 747-400	10,80	18,94	3	120,36	0,14
Boeing 727-100 e 200	6,30	7,81	3	85,02	0,09
Airbus A300/A340	9,30	40,81	3	301,10	0,34
Boeing 707 e MD-8	87,80	81,57	3	63,75	0,15
Total Internacional					5,31

A tabela a seguir resume os valores estimados para as emissões de gases de efeito estufa resultantes do transporte aéreo, para o ano de 1995.

Tabela 54 - Emissões totais de gases de efeito estufa do transporte aéreo - 1995

Emissões do transporte aéreo em 1995	Emissões (Gg)					
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Vôos Domésticos	3.563	13,18	0,32	10,75	0,12	3,28
Vôos Internacionais	5.674	10,95	0,09	23,26	0,18	5,31

Referências Bibliográficas

AEA, 1995. *Projeção de Demanda de Combustíveis para Veículos do Ciclo OTTO*, Estudos AEA, AEA, SP.

ANFAVEA, 1995. *Anuário Estatístico da Indústria Automobilística*, ANFAVEA, SP.

CETESB, 1994. *Inventário das Emissões Veiculares – Metodologia de Cálculo*, Departamento de Tecnologia de Emissões de Veículos, CETESB, SP.

CETESB, 1994. *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo*, Departamento de Tecnologia de Emissões de Veículos, CETESB, SP.

EPA, 1981. *Mobile Source Emission Factors*, Ann Arbor Laboratory, EPA, USA.

GEIPOT (Vários Anos), *Anuário Estatístico dos Transportes*, Ministério dos Transportes, Brasília.

MATTOS *et al.*, 1996. *Uma Nova Estimativa da Frota de Veículos Automotivos no Brasil*, VII Congresso Brasileiro de Energia, Anais, pág.1267-1277, RJ.

Anexos

Anexo 1 – Vendas de veículos novos (1950-1994)	91
Anexo 2 – Conversão de veículos	92
Anexo 3 – Curva e taxa de sucateamento para automóveis e veículos leves	93
Anexo 4 – Quilometragem média	94
Anexo 5 – Cálculo da parcela emitida de CO ₂ pela gasolina	97
Anexo 6 – Dados de venda de veículos	99
Anexo 7 – Frota de veículos a diesel	102
Anexo 8 – PROCONVE - Programa de Controle de Emissões por Veículos Automotores - Limites de Emissão	104

Anexo 1
Vendas de veículos novos (1950-1994)

Ano	Automóveis		Comerciais Leves		Total
	Gas.	Álcool	Gas.	Álcool	
1937	14439				14439
1938	11847				11847
1939	12038				12038
1940	13885				13885
1941	12777				12777
1942	2666				2666
1943	48				48
1944	15				15
1945	58				58
1946	9649				9649
1947	28794				28794
1948	31752				31752
1949	21390				21390
1950	15717				15717
1951	47274				47274
1952	36250				36250
1953	14738		380		15118
1954	12795		531		13326
1955	3281		353		3634
1956	3391		243		3634
1957	13081		10275		23356
1958	34892		26892		61784
1959	52238		41640		93878
1960	48187		48801		96988
1961	60856		55326		116182
1962	83674		66533		150207
1963	95034		53696		148730
1964	103806		51458		155264
1965	115035		46790		161825

Ano	Automóveis		Comerciais Leves		Total
	Gas.	Álcool	Gas.	Álcool	
1966	128434		58675		187109
1967	140871		54657		195528
1968	167433		65983		233416
1969	242291		62059		304350
1970	308407		66138		374545
1971	396247		72037		468284
1972	458112		89460		547572
1973	558846		105822		664668
1974	641829		116339		758168
1975	662523		117636		780159
1976	695282		113537		808819
1977	678827		69252		748079
1978	797946		79353		877299
1979	826478	2271	79248	843	908840
1980	566676	226352	59791	14291	867110
1981	318929	128679	25499	7563	480670
1982	344468	211761	20931	20814	597974
1983	70098	538401	8512	40927	657938
1984	28670	503565	4811	61971	599017
1985	23892	578177	4761	67374	674204
1986	53094	619290	8822	77759	758965
1987	23084	387176	8105	71507	489872
1988	64734	492010	12578	74472	643794
1989	220984	345598	39837	53931	660350
1990	462618	70250	80271	11746	624885
1991	463742	129139	78505	21843	693229
1992	432002	164840	66805	30663	694310
1993	673336	227289	89585	36946	1027156
1994	1007823	119203	118547	22631	1268204

Unidade: veículos

Gas. - gasolina

Anexo 2

Conversão de veículos

Veículos convertidos de gasolina para álcool

Ano/Modelo	Ano de conversão					
	1979	1980	1981	1979	1980	1981
	automóveis			comerciais leves		
1968	139	1167		21	174	
1969	197	1657		29	248	
1970	258	2189		39	327	
1971	340	2913		51	435	
1972	416	3587		62	536	
1973	524	4554		78	680	
1974	616	5392		92	806	
1975	648	5714		97	854	
1976	684	6062		102	906	
1977	641	5706		96	853	
1978			7440			1112
1979			16238			2426
1980			17979			2687

Veículos convertidos de álcool para gasolina

Ano/Modelo	Ano de conversão			
	1988	1990	1988	1990
	automóveis		comerciais leves	
1980	42655		4739	
1981	25160		2796	
1982	26206	11879	2912	1073
1983	79713	30732	8857	4292
1984	57638	18397	6404	2175
1985	30979	27735	3442	3124
1986	26043	22320	2894	2741
1987	12451	6651	1383	1218
1988	10265	6657	1141	995
1989		3473		537
1990		709		121

Anexo 3

Curva e taxa de sucateamento para automóveis e veículos leves

Idade t	Automóveis		Veículos Leves	
	S(t)	txS(t)	S(t)	txS(t)
0,5	0,996439	0,36%	0,990902	0,91%
1,5	0,992672	0,38%	0,98312	0,79%
2,5	0,986249	0,65%	0,971127	1,22%
3,5	0,976194	1,02%	0,95398	1,77%
4,5	0,961583	1,50%	0,93101	2,41%
5,5	0,94169	2,07%	0,901939	3,12%
6,5	0,916099	2,72%	0,866916	3,88%
7,5	0,884772	3,42%	0,826495	4,66%
8,5	0,848048	4,15%	0,781551	5,44%
9,5	0,806593	4,89%	0,733171	6,19%
10,5	0,761316	5,61%	0,682539	6,91%
11,5	0,713265	6,31%	0,630833	7,58%
12,5	0,663535	6,97%	0,57914	8,19%
13,5	0,613183	7,59%	0,528407	8,76%
14,5	0,563165	8,16%	0,479409	9,27%
15,5	0,514301	8,68%	0,432742	9,73%
16,5	0,467252	9,15%	0,388831	10,15%
17,5	0,422523	9,57%	0,347947	10,51%
18,5	0,380465	9,95%	0,310226	10,84%
19,5	0,3413	10,29%	0,2757	11,13%
20,5	0,305134	10,60%	0,244315	11,38%
21,5	0,271982	10,86%	0,215956	11,61%
22,5	0,241785	11,10%	0,190465	11,80%
23,5	0,214435	11,31%	0,167654	11,98%
24,5	0,189782	11,50%	0,147323	12,13%
25,5	0,167654	11,66%	0,129263	12,26%
26,5	0,147867	11,80%	0,113267	12,37%
27,5	0,13023	11,93%	0,099138	12,47%
28,5	0,114553	12,04%	0,086683	12,56%
29,5	0,100653	12,13%	0,075727	12,64%
30,5	0,088355	12,22%	0,066106	12,71%
31,5	0,077494	12,29%	0,057668	12,76%
32,5	0,067918	12,36%	0,050278	12,81%
33,5	0,059486	12,41%	0,043813	12,86%
34,5	0,052072	12,46%	0,038163	12,90%
35,5	0,04556	12,51%	0,033228	12,93%
36,5	0,039845	12,54%	0,028922	12,96%
37,5	0,034834	12,58%	0,025167	12,98%
38,5	0,030442	12,61%	0,021894	13,01%
39,5	0,026597	12,63%	0,019042	13,02%
40,5	0	100,00%	0	100,00%

Anexo 4

Quilometragem média

(1 de 3)

Frota a Gasolina

Distância média percorrida para os anos de 1990 a 1994 segundo o ano/modelo do veículo

Ano/ Modelo	Distância média percorrida				
	1990	1991	1992	1993	1994
pré 75	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1975	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1976	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1977	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1978	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1979	11,5	11,7	11,1	10,6	10,6
1980	15,7	15,8	15,0	14,3	14,1
1981	16,7	16,7	16,0	15,2	14,9
1982	17,8	17,8	17,0	16,2	15,8
1983	19,3	19,2	18,4	17,4	16,8
1984	20,8	20,5	19,7	18,6	17,8
1985	22,3	22,0	21,1	19,9	19,0
1986	24,0	23,5	22,7	21,3	20,2
1987	26,7	26,1	25,1	23,5	22,0
1988	28,0	27,3	26,4	24,7	23,0
1989	30,1	29,2	28,3	26,4	24,5
1990	32,2	31,2	30,3	28,2	26,1
1991	0	33,4	32,4	30,1	27,7
1992	0	0	34,5	32,1	29,4
1993	0	0	0	33,9	30,9
1994	0	0	0	0	32,7
Total	16,0	17,6	18,5	19,5	20,8

Unidade: 1000 km

(2 de 3)

Frota a Álcool

Distância média percorrida para os anos de 1990 a 1994 segundo o ano/modelo do veículo

Ano/ Modelo	Distância média percorrida				
	1990	1991	1992	1993	1994
pré 75	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1975	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1976	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1977	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1978	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1979	8,9	9,2	7,8	7,8	7,9
1980	11,3	11,6	10,0	9,8	10,0
1981	12,1	12,4	10,7	10,6	10,7
1982	13,3	13,5	11,7	11,5	11,5
1983	14,2	14,4	12,6	12,3	12,2
1984	15,6	15,8	13,8	13,4	13,3
1985	16,9	17,0	14,9	14,5	14,2
1986	18,3	18,3	16,1	15,6	15,3
1987	20,2	20,2	17,8	17,2	16,7
1988	21,6	21,5	19,0	18,4	17,7
1989	23,3	23,2	20,6	19,8	19,1
1990	25,4	25,2	22,4	21,5	20,6
1991		27,2	24,2	23,2	22,1
1992			26,4	25,3	23,9
1993				27,0	25,5
1994					27,7
Total	18,0	18,5	16,8	17,0	17,0

Unidade: 1000 km

(3 de 3)

Frota Total

Distância média percorrida para os anos de 1990 a 1994 segundo o ano/modelo do veículo

Ano/ Modelo	Distância média percorrida				
	1990	1991	1992	1993	1994
pré 75	11,4	11,7	11,0	10,6	10,6
1975	11,4	11,7	11,0	10,6	10,6
1976	11,4	11,7	11,0	10,6	10,6
1977	11,4	11,7	11,0	10,6	10,6
1978	11,4	11,7	11,0	10,6	10,6
1979	11,4	11,6	11,0	10,6	10,6
1980	14,6	14,8	13,8	13,3	13,1
1981	15,7	15,8	14,8	14,2	14,0
1982	16,4	16,5	15,4	14,7	14,4
1983	15,9	16,0	14,4	13,9	13,7
1984	16,7	16,8	15,0	14,5	14,2
1985	17,6	17,7	15,8	15,3	14,9
1986	19,2	19,1	17,1	16,5	16,0
1987	20,9	20,8	18,6	17,9	17,2
1988	22,5	22,4	20,1	19,3	18,5
1989	26,0	25,6	23,7	22,5	21,2
1990	31,3	30,4	29,2	27,3	25,3
1991		32,0	30,6	28,6	26,5
1992			32,2	30,2	27,8
1993				32,2	29,5
1994					32,1
Total	26,2	26,8	25,5	25,3	25,3

Unidade: 1000 km

Anexo 5

Cálculo da parcela emitida de CO₂ pela gasolina

A parcela emitida de CO₂ pela gasolina depende da composição de gasolina pura e álcool anidro da mistura que varia ano a ano. Abaixo estão mostrados os cálculos, passo a passo, para o ano de 1994. A tabela com os resultados para os anos de 1990 a 1994 encontra-se logo em seguida.

Gasolina - % em volume: 78,97% gasolina pura + 21,03 de etanol anidro

densidade do gasolina = 0,7350 kg/L

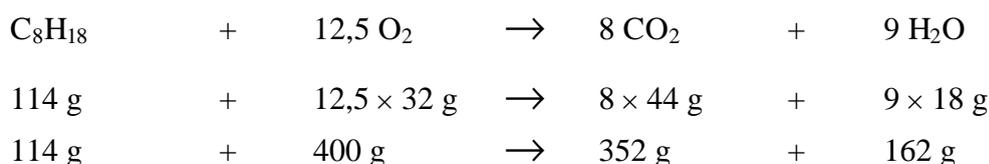
densidade do etanol = 0,7915 kg/L

Composição de 1 litro de gasolina:

$0,7897 \times 0,735 \text{ kg/L} = 0,5804 \text{ kg de C}_8\text{H}_{18}$ (gasolina pura)

$0,2103 \times 0,7915 \text{ kg/L} = 0,1664 \text{ kg de C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol)

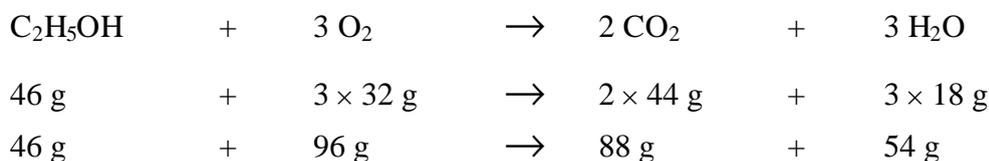
A queima de 1 litro de gasolina apresenta a seguinte relação estequiométrica:



Para a queima de 580,4 g de gasolina a quantidade em massa de CO₂ será:

$$\begin{array}{l} 114 \text{ g} \quad \text{-----} \quad 352 \text{ g} \\ 580,4 \text{ g} \quad \text{-----} \quad X \quad \quad X = 1792 \text{ g CO}_2 \end{array}$$

A queima de 1 litro de etanol apresenta a seguinte relação estequiométrica:



Para a queima de 166,5 g de etanol a quantidade em massa de CO₂ será:

$$\begin{array}{l} 46 \text{ g} \quad \text{-----} \quad 88 \text{ g} \\ 166,5 \text{ g} \quad \text{-----} \quad X \quad \quad X = 318 \text{ g CO}_2 \end{array}$$

Em 1 litro de gasolina, a porcentagem de CO₂ emitido pela gasolina pura e pelo etanol terá os seguintes valores em 1994:

Porcentagem de CO₂ devida à gasolina pura = 1792 / 2111 = 84,91 %

Porcentagem CO₂ devida ao etanol = 318 / 2111 = 15,09 %

A tabela mostra os valores utilizados no período 1990-1994.

Ano	% em volume	% em massa	
	do Álcool Anidro na Gasolina	de CO ₂ proveniente da Gasolina Pura	de CO ₂ proveniente do Álcool Anidro
1990	11,41%	92,08%	7,92%
1991	13,85%	90,31%	9,69%
1992	17,92%	87,29%	12,71%
1993	18,47%	86,87%	13,13%
1994	21,03%	84,91%	15,09%

Anexo 6

Dados de venda de veículos

Tabela A6-1 – Vendas de autoveículos a diesel de produção nacional ao mercado interno - 1957/1997

Ano	Automóveis			Comerciais Leves				Comerciais Pesados			Total Geral
	Passageiros	Uso Misto	Total	Camionetas	Utilitários	Camionetas	Total	Caminhões	Ônibus	Total	
1957								8.106	1.904	10.010	10.010
1958								11.313	3.333	14.646	14.646
1959					466		466	10.100	2.830	12.930	13.396
1960					310		310	9.742	3.422	13.164	13.474
1961					4		4	5.714	2.850	8.564	8.568
1962					538		538	7.403	3.193	10.596	11.134
1963				177	1.047	265	1.489	5.977	2.299	8.276	9.765
1964				455	1.123	644	2.222	5.482	2.553	8.035	10.257
1965				130	433	416	979	6.759	2.927	9.686	10.665
1966				87	348	424	859	10.334	3.609	13.943	14.802
1967				48	218	382	648	10.007	4.765	14.772	15.420
1968				58	189	674	921	15.058	6.995	22.053	22.974
1969				67	226	621	914	16.875	5.621	22.496	23.410
1970				30	116	443	589	21.100	4.100	25.200	25.789
1971				27	107	370	504	21.771	4.304	26.075	26.579
1972				21	106	462	589	30.441	4.205	34.646	35.235
1973				20	67	486	573	38.930	6.333	45.263	45.836
1974				23	51	471	545	42.048	7.070	49.118	49.663
1975				33	83	610	726	53.551	8.780	62.331	63.057
1976				116	140	1.193	1.449	66.762	10.972	77.734	79.183
1977				192	176	2.246	2.614	88.373	12.012	100.385	102.999
1978				295	204	3.816	4.315	78.372	11.859	90.231	94.546
1979				271	203	15.396	15.870	77.526	11.524	89.050	104.920
1980				340	272	19.074	19.686	81.350	11.532	92.882	112.568
1981				388	289	34.222	34.899	54.819	9.171	63.990	98.889
1982				309	343	43.331	43.983	40.217	8.042	48.259	92.242
1983				188	267	28.183	28.638	32.322	6.575	38.897	67.535
1984				141	367	28.675	29.183	40.189	5.983	46.172	75.355
1985				124	453	25.592	26.169	53.748	7.141	60.889	87.058
1986				192	556	26.673	27.421	70.236	8.488	78.724	106.145
1987				136	765	22.858	23.759	55.795	10.068	65.863	89.622
1988				175	1.027	34.840	36.042	54.769	12.968	67.737	103.779
1989				221	801	42.590	43.612	48.069	9.485	57.554	101.166
1990		71	71	175	809	35.431	36.415	41.186	10.091	51.277	87.763
1991		291	291	201	810	33.846	34.857	41.338	16.865	58.203	93.351
1992		489	489	92	350	28.175	28.617	25.594	13.706	39.300	68.406
1993		1.136	1.136	122	241	40.153	40.516	37.703	11.390	49.093	90.745
1994		1.008	1.008	89	228	38.409	38.726	50.386	10.313	60.699	100.433
1995				114	246	12.218	12.578	56.954	14.839	71.793	84.371
1996				188	244	12.886	13.318	40.573	12.589	53.162	66.480
1997				1.464	318	16.829	18.611	52.305	14.091	66.396	85.007

Fonte: ANFAVEA - Anuário Estatístico 1998

Autoveículos - produção, vendas internas e exportações

Vendas de autoveículos a diesel de produção nacional ao mercado interno - 1957/1997

Tabela A6-2 – Importação (até 1990) e vendas de veículos importados no Brasil Movidos a Diesel

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Comerciais Pesados		Total Geral
			Caminhões	Ônibus	
1937	0	0	28	0	28
1938	0	0	36	0	36
1939	0	0	103	0	103
1940	0	0	31	0	31
1941	0	0	1.853	0	1.853
1942	0	0	767	0	767
1943	0	0	101	0	101
1944	0	0	314	0	314
1945	0	0	1.164	0	1.164
1946	0	0	2.815	0	2.815
1947	0	0	5.555	0	5.555
1948	0	0	5.278	481	5.759
1949	0	0	2.819	355	3.174
1950	0	0	8.188	130	8.318
1951	0	0	15.412	290	15.702
1952	0	0	12.304	204	12.508
1953	0	0	2.611	63	2.674
1954	0	0	6.641	72	6.713
1955	0	0	2.318	24	2.342
1956	0	0	3.783	30	3.813
1957	0	0	20.206	1.959	22.165
1958	0	0	28.041	3.411	31.452
1959	0	466	23.420	3.153	27.039
1960	0	310	12.809	3.477	16.596
1961	0	4	5.715	2.949	8.668
1962	0	538	7.418	3.260	11.216
1963	0	1.489	5.989	2.330	9.808
1964	0	2.222	5.498	2.577	10.297
1965	0	979	6.769	2.928	10.676
1966	0	859	10.352	3.610	14.821
1967	0	648	10.025	4.765	15.438

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Comerciais Pesados		Total Geral
			Caminhões	Ônibus	
1968	0	922	15.118	6.995	23.035
1969	0	917	16.909	5.622	23.448
1970	0	595	21.149	4.100	25.844
1971	0	506	21.865	4.304	26.675
1972	0	593	30.519	4.206	35.318
1973	0	574	38.990	6.335	45.899
1974	0	546	42.184	7.077	49.807
1975	0	726	53.940	8.784	63.450
1976	0	1.449	67.010	10.974	79.433
1977	0	2.614	88.461	12.012	103.087
1978	0	4.315	78.522	11.861	94.698
1979	0	15.871	77.725	11.525	105.121
1980	0	19.686	81.350	11.532	112.568
1981	0	34.899	54.819	9.171	98.889
1982	0	43.983	40.217	8.042	92.242
1983	0	28.638	32.322	6.575	67.535
1984	0	29.183	40.189	5.983	75.355
1985	0	26.169	53.748	7.141	87.058
1986	0	27.421	70.236	8.488	106.145
1987	0	23.759	55.795	10.068	89.622
1988	0	36.042	54.769	12.968	103.779
1989	0	43.612	48.069	9.485	101.166
1990	71	36.415	41.186	10.091	87.763
1991	291	34.998	41.338	16.865	93.492
1992	489	28.793	25.594	13.706	68.582
1993	1136	41.468	38.316	11.396	92.316
1994	1008	40.339	52.325	12.595	106.267
1995	0	15.614	58.725	17.368	91.707
1996	0	15.868	42.527	15.518	73.913
1997	0	26.171	54.885	14.862	95.918

Tabela A6-3 – Venda de veículos movidos a diesel no Brasil

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Comerciais Pesados		Total Geral
			Caminhões	Ônibus	
1937	0	0	28	0	28
1938	0	0	36	0	36
1939	0	0	103	0	103
1940	0	0	31	0	31
1941	0	0	1.853	0	1.853
1942	0	0	767	0	767
1943	0	0	101	0	101
1944	0	0	314	0	314
1945	0	0	1.164	0	1.164
1946	0	0	2.815	0	2.815
1947	0	0	5.555	0	5.555
1948	0	0	5.278	481	5.759
1949	0	0	2.819	355	3.174
1950	0	0	8.188	130	8.318
1951	0	0	15.412	290	15.702
1952	0	0	12.304	204	12.508
1953	0	0	2.611	63	2.674
1954	0	0	6.641	72	6.713
1955	0	0	2.318	24	2.342
1956	0	0	3.783	30	3.813
1957	0	0	20.206	1.959	22.165
1958	0	0	28.041	3.411	31.452
1959	0	466	23.420	3.153	27.039
1960	0	310	12.809	3.477	16.596
1961	0	4	5.715	2.949	8.668
1962	0	538	7.418	3.260	11.216
1963	0	1.489	5.989	2.330	9.808
1964	0	2.222	5.498	2.577	10.297
1965	0	979	6.769	2.928	10.676
1966	0	859	10.352	3.610	14.821
1967	0	648	10.025	4.765	15.438
1968	0	922	15.118	6.995	23.035
1969	0	917	16.909	5.622	23.448
1970	0	595	21.149	4.100	25.844
1971	0	506	21.865	4.304	26.675
1972	0	593	30.519	4.206	35.318
1973	0	574	38.990	6.335	45.899
1974	0	546	42.184	7.077	49.807
1975	0	726	53.940	8.784	63.450
1976	0	1449	67.010	10.974	79.433
1977	0	2614	88.461	12.012	103.087
1978	0	4315	78.522	11.861	94.698
1979	0	15871	77.725	11.525	105.121
1980	0	19686	81.350	11.532	112.568
1981	0	34899	54.819	9.171	98.889
1982	0	43.983	40.217	8.042	92.242
1983	0	28.638	32.322	6.575	67.535
1984	0	29.183	40.189	5.983	75.355
1985	0	26.169	53.748	7.141	87.058
1986	0	27.421	70.236	8.488	106.145
1987	0	23.759	55.795	10.068	89.622
1988	0	36.042	54.769	12.968	103.779
1989	0	43.612	48.069	9.485	101.166
1990	71	36.415	41.186	10.091	87.763
1991	291	34.998	41.338	16.865	93.492
1992	489	28.793	25.594	13.706	68.582
1993	1.136	41.468	38.316	11.396	92.316
1994	1.008	40.339	52.325	12.595	106.267
1995	0	15.614	58.725	17.368	91.707
1996	0	15.868	42.527	15.518	73.913
1997	0	26.171	54.885	14.862	95.918

Anexo 7

Frota de veículos a diesel

(1 de 2)

a) Automóveis a diesel

Ano	0-2	3-5	6-10	11-15	15 +	Total
1990	36	0	0	0	0	36
1991	217	0	0	0	0	217
1992	536	71	0	0	0	606
1993	1.057	289	70	0	0	1.416
1994	1.640	486	356	0	0	2.482
1995	1.008	1.128	836	0	0	2.972
1996	0	1.001	1.881	68	0	2.951
1997	0	0	2.580	347	0	2.928

b) Comerciais leves a diesel

Ano	0-2	3-5	6-10	11-15	15 +	Total
1990	61.820	35.252	72.057	146.722	2.985	318.835
1991	53.914	42.656	81.518	163.545	3.020	344.653
1992	49.395	35.617	96.883	180.033	3.426	365.352
1993	49.527	34.231	108.223	191.573	4.401	387.956
1994	61.638	28.162	107.034	212.086	6.175	415.094
1995	48.146	40.559	93.243	232.028	13.783	427.760
1996	23.548	39.454	98.283	242.652	22.717	426.654
1997	28.954	15.272	103.389	243.487	38.731	429.832

c) Caminhões a diesel

Ano	0-2	3-5	6-10	11-15	15 +	Total
1990	68.662	53.338	165.691	448.035	141.420	877.146
1991	61.855	46.813	166.169	445.686	164.765	885.288
1992	54.135	40.110	145.950	449.957	194.541	884.693
1993	44.752	40.258	132.336	428.993	235.336	881.674
1994	64.479	24.925	120.142	413.932	268.082	891.559
1995	81.688	37.315	99.202	394.206	298.488	910.898
1996	79.989	50.958	96.888	367.210	329.224	924.269
1997	69.970	57.190	107.796	357.102	342.477	934.535

d) Ônibus a diesel

Ano	0-2	3-5	6-10	11-15	15 +	Total
1990	14.531	12.779	24.589	78.086	29.763	159.747
1991	18.524	9.347	30.178	76.265	33.146	167.460
1992	23.718	9.944	31.052	74.254	37.724	176.692
1993	19.404	16.620	31.037	73.087	42.661	182.808
1994	17.694	13.507	34.919	74.780	47.140	188.039
1995	21.279	11.230	38.894	73.516	51.049	195.968
1996	25.127	12.412	39.996	72.891	54.636	205.062
1997	22.949	17.115	35.986	80.146	56.349	212.545

(2 de 2)

e) Total a diesel

Ano	0-2	3-5	6-10	11-15	15 +	Total
1990	145.049	101.369	262.337	672.843	174.168	1.355.766
1991	134.510	98.816	277.865	685.496	200.931	1.397.618
1992	127.784	85.742	273.885	704.244	235.691	1.427.346
1993	114.740	91.398	271.666	693.653	282.398	1.453.855
1994	145.451	67.080	262.451	700.798	321.397	1.497.177
1995	152.121	90.232	232.175	699.750	363.320	1.537.598
1996	128.664	103.825	237.048	682.821	406.577	1.558.935
1997	121.873	89.577	249.751	681.082	437.557	1.579.840

Anexo 8

PROCONVE - Programa de Controle de Emissões por Veículos Automotores - Limites de Emissão

Data de vigência	Aplicação	Limites de emissão (g/kWh)			
		CO	HC	NO _x	Partículas
01/01/1991	ECE R49	14,0	3,5	18,0	
01/01/1987	ÔNIBUS URBANOS DIESEL				
01/01/1989	TODOS OS VEÍCULOS DIESEL				
01/01/1994	TODOS OS VEÍCULOS IMPORTADOS	4,9	1,2	9,0	0,7/0,4
01/03/1994	80% DOS ÔNIBUS URBANOS NACIONAIS 20% DOS ÔNIBUS URBANOS E 80% DOS DEMAIS VEÍCULOS DIESEL NACIONAIS	11,2	2,4	14,4	
01/01/1996	20% DOS VEÍCULOS NACIONAIS 80% DOS VEÍCULOS NACIONAIS	4,9	1,2	9,0	0,7/0,4
01/01/1998	20% DOS ÔNIBUS URBANOS NACIONAIS 60% DOS ÔNIBUS URBANOS NACIONAIS TODOS OS VEÍCULOS IMPORTADOS	4,0	1,1	7,0	0,15
01/01/2000	80% DOS VEÍCULOS NACIONAIS 20% DOS VEÍCULOS NACIONAIS	4,9	1,2	9,0	0,7/0,4
01/01/2002	TODOS OS VEÍCULOS	4,0	1,1	7,0	0,15

OBS: A partir de 01/01/1989, o limite de emissão de fumaça para todos os veículos Diesel corresponde a $k = 2,5$ do coeficiente da fórmula.

Emissões pelo cárter

Data de vigência	Aplicação	Emissões pelo cárter
01/01/1988	ÔNIBUS URBANO DIESEL	EMISSÃO NULA EM QUALQUER CONDIÇÃO DO MOTOR
01/01/1989	TODOS OS VEÍCULOS OTTO	
01/07/1989	TODOS OS VEÍCULOS DIESEL COM ASPIRAÇÃO NATURAL	
01/01/1993	TODOS OS VEÍCULOS TURBO ALIMENTADOS	EMISSÃO NULA EM QUALQUER CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO DO MOTOR OU INCORPORADA À EMISSÃO DE HC DO ESCAPAMENTO
01/01/1996	TODOS OS VEÍCULOS DIESEL TURBO ALIMENTADOS	EMISSÃO NULA EM QUALQUER CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO DO MOTOR