

O TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS GLOBAIS: EMISSÕES DE CO₂ E ALTERNATIVAS DE
MITIGAÇÃO

André Felipe Simões

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Aprovada por:

Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

Prof^ª. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof. Respicio Antônio Espírito Santo Junior , D.Sc.

Dr. Márcio Macedo Costa, D.Sc.

Dr. Erivelton Pires Guedes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2003

SIMÕES, ANDRÉ FELIPE

O Transporte Aéreo Brasileiro no
Contexto de Mudanças Climáticas Globais:
Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação
[Rio de Janeiro] 2003

XXVI, 288 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Planejamento Energético, 2003)

Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Mudanças Climáticas
2. Transporte Aéreo
3. Consumo de Energia
4. Emissões de CO₂
5. Alternativas de Mitigação

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À Daniela Dantas Ribeiro Simões, minha esposa. Á Daniela minha vida, minha paixão intensa, meu eterno amor. À Daniela que participou ativamente da digitação e formatação deste trabalho À Daniela que não me deixou desanimar em nenhum momento, me ajudando a afastar a sensação, por vezes sentida, de ausência de “luz no fim do túnel”. À Daniela que me faz ter a certeza de que viver é uma dádiva.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Roberto Schaeffer, meu orientador, por me fazer crer, ainda mais, na busca do conhecimento e no respeito à ciência. Agradeço pela orientação extremamente dedicada e pela oportunidade em participar de projetos no Programa de Planejamento Energético – atividade esta que auxiliou, decisivamente, em minha formação de “Planejador Energético” e viabilizou recursos para que eu pudesse concluir este trabalho. Agradeço, sobretudo, por não impor distanciamentos, me passando toda a segurança e confiança necessária ao desenvolvimento desta tese. Sempre muito ocupado, o Professor Roberto jamais deixou a parte acadêmica em segundo plano, nunca deixando de me atender para discutir questões pertinentes a esta tese.

Ao Professor Emilio Lèbre La Rovere, pelas excelentes oportunidades de trabalho oferecidas ao longo dos dois últimos anos de meu doutoramento. Oportunidades estas que auxiliaram decisivamente em meu amadurecimento profissional e pessoal, nas quais sempre busquei fazer o melhor em vista de minha grande admiração e respeito pelo cientista Emilio Lèbre La Rovere. Concluir esta tese relaciona-se, sem dúvida, a um certo “*upgrade* de auto-confiança profissional” que pude adquirir trabalhando sob a coordenação do Professor Emilio Lèbre La Rovere.

Ao meu pai e grande amigo, José Antônio Simões, meu eterno herói “Super-Dínamo”. Agradeço pelo apoio financeiro (fundamental em determinados momentos de meu doutorado, em especial, quando não tive mais direito à bolsa institucional), carinho, amor, incentivo total à busca pelo conhecimento e por lutar sempre pelo melhor, de todas as formas possíveis, tanto para mim como para meu irmão Gustavo. Agradeço, sobretudo, pelo exemplo de ética, honestidade e respeito ao próximo. Agradeço, também, à companheira de meu pai, Maria Antonieta, pelo apoio e incentivo.

À minha querida mãe Dirce Cortinhas, pelo carinho, amor incondicional e dedicação. Agradeço por me fazer uma pessoa crente na possibilidade de se extrair alegria das situações mais simples e (aparentemente) banais da vida. Agradeço por ter feito o melhor pelos filhos, enquanto “dona de casa” – função árdua e, lamentavelmente, pouco valorizada pela sociedade.

Ao meu querido irmão, o destacado e competente engenheiro, Gustavo José Simões, pelo passado e futuro de muitas alegrias e intensa amizade.

Aos meus tios, Maria de Fátima Simões Costa e José Jairo de Melo Costa, pelo carinho e inestimável “apoio logístico e infra-estrutural” prestado ao longo de meu

doutoramento. Agradeço, sobretudo, pela transmissão de valores fraternos, pela certeza de pertencer a uma família muito unida e sempre construtiva. Agradeço, também, aos meus primos Daniel e Joana Simões de Melo Costa, pelo agradabilíssimo convívio, fruto de verdadeira amizade. Agradeço, em especial, à Joana, pela grande ajuda prestada nos preparativos finais desta Tese.

A meus sogros, José Ricardo Martins Ribeiro e Stela Dantas Martins Ribeiro, pessoas de grande valor moral, que sempre me apoiaram da forma mais “zero stress” possível, transmitindo, sempre, muito carinho e amizade. Agradeço pelo apoio incondicional e por me tratarem mais como filho que como genro.

Aos amigos e colegas de PPE, Carolina Burle Schmidt Dubeux, Jacqueline Barboza Mariano, Norma Baptista, Jeferson Borghetti, Ricardo Gorini, Amaro Olímpio, Alexandre Morais, Carlos Henrique Duarte, André Pereira, Alexandre D’Avignon, Tatiana, Adriana, Claude Cohen, Ednaldo, Silvia Muylaert, Cesar Abbud, Carlos Henrique Duarte, Cícero, Christiano, Kátia e Diego, que através do seu carinho, tornaram minha jornada na COPPE muito agradável e enriquecedora. De fato, pude superar alguns momentos difíceis e multiplicar alegrias no convívio com meus amigos do PPE.

Aos Professores Alexandre Szklo e Giovani Vitória Machado, pelas desafiantes oportunidades de trabalho oferecidas e pelo convívio sempre muito amistoso, agradável e, sobretudo, intelectualmente fértil.

À Professora Suzana Kahn Ribeiro, pela extrema gentileza ao me sugerir relevantes nomes para a composição da banca avaliadora desta tese e por ter sido muito gentil e prestativa, no início de 2000, ao me ceder alguns artigos muito bons sobre o tema “aviação e meio ambiente atmosférico”.

Ao Professor Respicio Antônio Espírito Santo Júnior pelas fundamentais contribuições científicas fornecidas na Defesa de Tese e pela minuciosa revisão (que, sem dúvida, muito contribui para o aprimoramento deste trabalho).

Aos doutores Márcio Macedo Costa e Erivelton Pires Guedes por aceitarem meu convite para integrarem a banca avaliadora desta tese e pelas inúmeras sugestões enriquecedoras ofertadas.

Aos sempre solícitos, simpáticos e gentis funcionários da secretaria do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, em especial à Simone, Sandra, Paulo, Cláudia e Fernando. Agradeço, também, às excelentes bibliotecárias Rita, Mônica e à

estagiária Vanessa, pela busca de referências nem sempre triviais e, sobretudo, por muitos e muitos papos descontraídos e doidos, no melhor dos sentidos.

À CAPES, pelo apoio financeiro para a realização do doutorado que culmina nesta tese.

A todos os meus queridos amigos da natação master do América Football Club. Agradeço. Fazer parte, desde 1989, da “Equipemasterafc”   uma honra e motivo de alegria intensa. Sei que sempre procurarei estar ao lado de meus queridos amigos “aquáticos”, desfrutando os benefícios deste sensacional esporte que é a natação. Em diversas oportunidades, renovei minhas energias no convívio com meus amigos de “Equipemasterafc”.

Agradeço aos meus queridos e já falecidos avós paternos, José Simões e Izaura Carvalho Simões (dedicada av  e engrac d ssima figura humana), pelo amor incondicional, e sempre, muito carinho. Em especial, agradeço a meu avô José Simões, pelo inesquecível exemplo de vida, dignidade e caráter. Agradeço, também, ao meu querido av  materno, Gérson Cortinhas (falecido há cerca de um ano), pela amizade, preocupação e fantásticas piadas e “causos” inacreditáveis. Agradeço, também ao carinho e amor incondicional de minha avó materna, Maria de Jesus Cortinhas (recentemente falecida).

Por fim e, sobretudo, mais uma vez, agradeço todo o esforço feito por meu amor, Daniela Dantas Ribeiro Simões, na confecção desta tese. Sem o incentivo e dedicação de minha querida esposa Daniela, eu jamais teria concluido este trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

O TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS GLOBAIS: EMISSÕES DE CO₂ E ALTERNATIVAS DE
MITIGAÇÃO

André Felipe Simões

Dezembro / 2003

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

Esta tese discute o transporte aéreo brasileiro no contexto das mudanças climáticas globais, traçando projeções de emissões de CO₂ por parte do setor aéreo nacional para o período 2003 – 2023 e propondo alternativas de mitigação dessas emissões técnica e economicamente factíveis de serem implementadas no curto e médio prazo. Nesse sentido, apresenta-se uma caracterização do setor aéreo brasileiro; analisa-se a aviação enquanto força-motriz para a intensificação de problemas ambientais globais; discorre-se sobre as políticas internacionais voltadas a imprimir sustentabilidade ao setor aéreo; apresenta-se a evolução histórica da demanda por aviação no país construindo-se projeções de longo prazo (20 anos) para a evolução futura desta demanda; analisam-se os aspectos estruturais e conjunturais associados ao consumo de energia pelo transporte aéreo brasileiro elaborando-se projeções de longo prazo (20 anos) para a evolução futura desta demanda; apresenta-se o inventário para as emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil projetando-se até 2023; e elaboram-se 10 estratégias de mitigação para tais emissões, investigando o potencial de cada uma delas sob a perspectiva ambiental, energética e/ou econômica.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

THE BRAZILIAN AIR TRANSPORTATION SECTOR IN THE CONTEXT OF
GLOBAL CLIMATE CHANGE: CO₂ EMISSIONS AND MITIGATION
ALTERNATIVES

André Felipe Simões

December / 2003

Advisor: Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning Program

This thesis discusses the air transportation sector in Brazil in the broader context of global climate change, building CO₂ emissions projections for this sector for the 2003 – 2023 period and proposing mitigation alternatives for these emissions that technically and economically feasible in the short and medium terms. Therefore, this work characterizes the air transportation sector in Brazil; analyzes the contribution of aviation activities for global environmental problems; discusses international policies aimed at improving the sustainability of the aviation sector; presents the historical evolution of the demand for aviation in the country building projections for the next 20 years; assesses structural and conjuntural aspects connected to energy use by the air transportation sector in Brazil with the construction of long-term (20 years) projections for the future evolution of demand; presents a CO₂ emissions inventory for air transportation in Brazil until 2023; and proposes ten mitigation strategies, investigating the potential of each strategy from the environmental, energy and economic points of view.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR AÉREO BRASILEIRO.....	11
1.1 – Evolução Histórica.....	11
1.1.1 – A aviação através dos séculos: de Ícaro a Santos Dumont.....	11
1.1.2 – Desenvolvimento inicial da aviação mundial.....	14
1.1.3 – Primórdios da aviação no Brasil.....	15
1.1.4 – As empresas aéreas pioneiras.....	16
1.1.5 – As intervenções federais na década de 1940.....	17
1.1.6 – Diretrizes ditadas pela Convenção de Chicago.....	18
1.1.7 – Evolução no período pós-guerra.....	19
1.1.8 – A crise na década de 1960 e a aviação a jato.....	20
1.1.9 – A aviação brasileira ao longo das três últimas décadas do século XX.....	23
1.2 – Os Processos de Regulamentação e Desregulamentação.....	26
1.2.1 – A regulamentação da aviação nacional.....	26
1.2.2 – O recente processo de desregulamentação.....	27
1.3 – Desempenho Recente.....	30
1.3.1 – Influência do Plano Real.....	30
1.3.2 – A expansão e a diversificação da oferta.....	31
1.3.3 – Taxa de ocupação.....	32
1.3.4 – A crise das empresas aéreas brasileiras.....	33
1.3.5 – Influência dos atentados terroristas de 11 de setembro de 2001.....	35
1.4 – Características Gerais.....	38
1.4.1 – Frota brasileira de aeronaves.....	38
1.4.2 – Vôos regulares e não-regulares no Brasil.....	42
1.4.3 – Segmento doméstico regional.....	43
1.4.4 – Segmento doméstico nacional.....	45
1.4.5 – Segmento internacional.....	46
1.4.6 – Movimentação aeroportuária.....	48
1.4.7 – Pax-km e ton-km: evolução e comparação internacional.....	51

1.4.8 – Nível de segurança.....	55
1.4.9 – Indústria aeronáutica brasileira.....	58
1.4.10 – A aviação militar no Brasil.....	61
CAPÍTULO II – A AVIAÇÃO COMO UM PROBLEMA AMBIENTAL GLOBAL (E LOCAL).....	64
2.1 – Aviação Enquanto Atividade Causadora de Problemas Ambientais Locais: O Primeiro “Sinal de Alerta Ambiental”.....	64
2.1.1 – Poluição do solo e da água.....	64
2.1.2 – O ruído e a aviação.....	66
2.1.3 – Poluição do ar local.....	70
2.2 – A Aviação como Força-Motriz para a Intensificação de Problemas Ambientais Globais.....	73
2.2.1 – Aviação e Efeito Estufa.....	79
2.2.1.1 – Singularidade na contribuição de cada poluente.....	79
2.2.1.2 – Aviação e o estoque de carbono.....	81
2.2.1.3 – Emissões devido à aviação: uma mistura de substâncias indutoras ao aquecimento global e a importância do CO ₂ nesse contexto.....	85
2.2.1.4 – Emissões devido à aviação sob a ótica das camadas atmosféricas.....	88
2.2.1.5 – Rastros de condensação: nuvens atuando como um “Efeito Estufa Local”	89
2.2.1.6 – Vapor d’água gerado pelo tráfego aéreo.....	91
2.2.1.7 – As emissões aeronáuticas de aerossóis.....	91
2.2.2 – Aviação e Depleção da Camada de Ozônio.....	93
2.2.2.1 – Óxidos de nitrogênio e depleção do ozônio estratosférico...93	
2.2.2.2 – A influência dos “Halons”.....	95
2.2.3 – Aviação e chuva ácida.....	97
2.2.4 – <i>Aviation and the Global Atmosphere: O Relatório Especial do IPCC</i>	101

CAPÍTULO III – A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE: POLÍTICAS INTERNACIONAIS.....	105
3.1 – A Organização Internacional de Aviação Civil.....	105
3.1.1 – A questão ambiental sob a perspectiva da ICAO.....	108
3.1.2 – O comitê de proteção ambiental da aviação.....	110
3.2 - Meio Ambiente X Aviação: Exemplos Internacionais de Regulamentações.....	112
3.2.1 – Taxação da passagem aérea no Reino Unido.....	113
3.2.2 – O “Imposto Verde” na Noruega.....	114
3.2.3 – Taxações para emissões na Suécia.....	115
3.2.4 – Taxação ao consumo do querosene de aviação nos Estados Unidos.....	116
3.3 – O Conceito de “Comércio de Emissões”.....	117
3.4 – A Informação como Importante Instrumento para Tratar os Problemas Ambientais Decorrentes da Atividade Aérea.....	119
CAPÍTULO IV – ASPECTOS SOBRE A DEMANDA POR AVIAÇÃO NO BRASIL.....	122
4.1 – Caracterização da Demanda por Transportes.....	122
4.1.1 – Metodologias para previsão da demanda por transportes.....	123
4.2 – O Setor Aéreo e a Demanda.....	125
4.2.1 – Modelos de previsão para a demanda por transporte aéreo.....	132
4.3 – Fatores Determinantes da Demanda por Aviação no Brasil.....	134
4.3.1 – Nível de atividade econômica.....	134
4.3.2 – Nível de renda.....	135
4.3.3 – Valor das tarifas e frequências.....	137
4.3.4 – Distâncias percorridas.....	138
4.4 – Indicadores da Demanda por Aviação no Brasil.....	139
4.5 – Projeções para a Demanda Futura por Aviação no Brasil.....	141
4.5.1 – Descrição do contexto associado às projeções	143
4.5.2 – Resultado das projeções.....	150

4.6 – Estudo de Demanda Detalhada do Departamento e do Instituto de Aviação Civil.....	151
---	------------

CAPÍTULO V – CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO.....	158
--	------------

5.1 – Panorama Mundial do Consumo Energético pela Aviação.....	158
---	------------

5.2 – O Mercado de QAV e de Gasolina de Aviação no Brasil.....	162
---	------------

5.2.1 – O programa de qualidade para QAV da Petrobras.....	167
---	------------

5.2.2 – O atendimento a demanda por QAV sob a ótica de flexibilização do mercado petrolífero brasileiro.....	171
---	------------

5.3 – Evolução do Consumo de Energia pela Aviação no Brasil.....	174
---	------------

5.4 – Projeções para a Evolução do Consumo Energético Associado ao Transporte Aéreo Brasileiro.....	180
--	------------

5.4.1 – Apresentação da Projeção Referencial/Energia.....	183
--	------------

5.5 – Inventário para as Emissões de CO₂ Devido ao Transporte Aéreo no Brasil.....	184
--	------------

5.5.1 – Metodologias aplicáveis ao cálculo do inventário.....	185
--	------------

5.5.2 – O inventário atual.....	191
--	------------

5.6 – Evolução das Emissões de CO₂ em Projeção Referencial.....	193
---	------------

CAPÍTULO VI – ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO PARA AS EMISSÕES DE CO₂ GERADAS PELO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL.....	196
--	------------

6.1 – Amplo Emprego de Materiais de Baixa Densidade na Construção de Aeronaves.....	196
--	------------

6.1.1 – Evolução dos materiais empregados na indústria aeronáutica.....	196
--	------------

6.1.2 – Aspectos tecnológicos associados à utilização de ligas do sistema alumínio-lítio na construção de aeronaves.....	199
---	------------

6.1.3 – Redução do consumo energético e das emissões de CO₂ devido ao emprego de materiais de baixa densidade na construção de aeronaves.....	202
---	------------

6.2 – Introdução de Combustíveis Alternativos.....	205
---	------------

6.2.1 – Querosene vegetal.....	206
---------------------------------------	------------

6.2.1.1 – Primórdios do projeto do querosene vegetal no Brasil.....	206
--	------------

6.2.1.2 – Aspectos tecnológicos, energéticos, ambientais, econômicos e sociais associados à retomada do projeto.....	209
6.2.1.3 – O emprego do querosene vegetal de aviação (Prosene) como estratégia de mitigação de emissões de CO ₂	213
6.2.2 – Álcool hidratado.....	215
6.2.3 – Hidrogênio líquido.....	219
6.3 – Introdução de Sistema Amplo e Integrado de Controle de Tráfego Aéreo...	223
6.3.1 – Otimização do consumo de QAV e redução nas emissões de CO ₂ pela implementação do sistema GFTA.....	225
6.4 – Taxação ao Consumo de Querosene de Aviação no Brasil.....	227
6.5 – Substituição Intermodal no Trecho Rio de Janeiro – São Paulo.....	231
6.5.1 – Proposta de substituição intermodal: Trens de Alta Velocidade X Aeronaves.....	233
6.5.2 – Refinamento da proposta.....	236
6.5.3 – A intermodalidade “Aviões X Trens de Alta Velocidade” na perspectiva de redução nas emissões de CO ₂	238
6.6 – Exame Preliminar de Outras Alternativas.....	241
6.6.1 – Redução da velocidade média dos vôos.....	241
6.6.2 – Aumento da taxa de ocupação das aeronaves.....	243
6.6.3 – Aplicação de regulamentações específicas.....	243
6.7 – Quadro-Síntese: Redução nas Emissões de CO ₂ pelas Alternativas de Mitigação Analisadas.....	245
6.8 – Hierarquização das Alternativas de Mitigação Analisadas.....	247
6.9 – Emissões de CO ₂ Devido à Atividade Aérea no Brasil: Projeção Referencial/Emissões x Projeção “Ampla Mitigação”.....	250
CAPÍTULO VII – DISCUSSÃO FINAL, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	253
7.1 – Sugestões para Trabalhos Futuros.....	260
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	263
ANEXOS.....	289

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1: Taxa de crescimento do uso de energia nos transportes por modal no Brasil, 1995-2000 (médias anuais para o período).....2

Figura 2: Intensidade energética (consumo de energia em KJ/passageiro-km) por modais de transporte. Valor médio registrado para o ano de 2000 nos países da América Latina.....3

CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR AÉREO BRASILEIRO

Figura 1.1: Evolução da taxa de ocupação (em percentual) do setor aéreo brasileiro. Período: 1988 a 2000.....33

Figura 1.2: Evolução da quantidade de aviões operantes no Brasil por tipo de propulsão. Período: 1990 – 2000.....40

Figura 1.3: Evolução da quantidade de helicópteros operantes no Brasil. Período: 1990-2000.....40

Figura 1.4: Segmento doméstico regional – Evolução de mercado: assentos-km ($\times 10^9$) versus anos (de 1986 a 2000).....44

Figura 1.5: Segmento doméstico nacional – Evolução de mercado: assentos-km ($\times 10^9$) versus anos (de 1986 a 2000).....46

Figura 1.6: Número total de passageiros transportados em vôos internacionais versus anos (1995-2000).....47

Figura 1.7: Taxa de crescimento percentual para o parâmetro pax-km transportados. Segmentos: regional, doméstico nacional e internacional (companhias brasileiras e estrangeiras). Período: 1996 a 2001.....48

Figura 1.8: Número de pousos e decolagens realizados em vôos nacionais. Período: 1995 a 2000.....50

Figura 1.9: Número de passageiros embarcados em vôos nacionais. Período: 1995 a 2000.....50

Figura 1.10: Quantidade de toneladas de carga embarcadas e desembarcadas em vôos internacionais. Período: 1995 a 2000.....51

Figura 1.11: Índice de acidentes por milhão de decolagens (média registrada para os anos de 1991 a 2000) x países selecionados.....58

CAPÍTULO II – A AVIAÇÃO COMO UM PROBLEMA AMBIENTAL GLOBAL (E LOCAL)

Figura 2.1: Variações da temperatura média da superfície da Terra de 1000 a 2100.....77

Figura 2.2: Forçamento radiativo devido à aviação em 1992.....78

Figura 2.3: Emissão de toneladas de CO₂ per capita para países selecionados (1995).....82

Figura 2.4: Áreas do globo com alta concentração de tráfego aéreo.....90

Figura 2.5: Emissões de SO₂ (a) e NO_x (b) por fonte nos Estados Unidos, 1992.....99

CAPÍTULO III – A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE: POLÍTICAS INTERNACIONAIS

CAPÍTULO IV – ASPECTOS SOBRE A DEMANDA POR AVIAÇÃO NO BRASIL

Figura 4.1: Evolução da demanda histórica por aviação nos Estados Unidos: taxa de ocupação (= número de assentos ocupados/número de assentos oferecidos), 1947-1997.....128

Figura 4.2: Distribuição percentual global, em 1990 (a) e 2000 (b), dos setores de mercado por aviação de acordo com a quantidade de combustível consumido....129

Figura 4.3: Passageiros-quilômetros transportados: tráfego aéreo total (regional + nacional + internacional) no Brasil, 1978 a 2001.....139

Figura 4.4: Toneladas-quilômetros transportadas. Tráfego aéreo total (regional + nacional + internacional). Período: 1986 a 2001.....139

Figura 4.5: Crescimento acumulado (%) do número de passageiros-quilômetros transportados (pax-km): Brasil e países selecionados, 1994-1998.....141

Figura 4.6: Evolução do parâmetro pax-km transportados/tráfego aéreo total ($\times 10^3$): Projeções (2002-2023): Baixa/Aviação, Referencial/Aviação e Alta/Aviação.....150

Figura 4.7: Evolução do parâmetro ton-km transportadas/tráfego aéreo total ($\times 10^3$): Projeções (2002-2023): Baixa/Aviação, Referencial/Aviação e Alta/Aviação.....151

Figura 4.8 – Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de passageiros transportados via aérea no Brasil, 2002-2023.....152

Figura 4.9 – Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número total de cargas (em toneladas) transportadas via aérea no Brasil, 2002-2023.....153

Figura 4.10 – Prévia para a Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de pax-km, transporte aéreo brasileiro, 2002-2023.....154

Figura 4.11 – Prévia para a Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de ton-km, transporte aéreo brasileiro, 2002-2023.....154

CAPÍTULO V – CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO

Figura 5.1: Evolução do consumo de combustível por modelos de aeronaves por 100 assentos-quilômetros ofertados.....159

Figura 5.2: Evolução do consumo mundial de energia pelo modal aéreo (milhões de barris de combustíveis fósseis/dia), 1980-2000.....160

Figura 5.3: Distribuição percentual do consumo mundial de derivados de petróleo por modais de transporte, 2000.....160

Figura 5.4: Distribuição percentual do consumo mundial de petróleo por setor, 2000.....162

Figura 5.5: Distribuição do mercado brasileiro de QAV por regiões do Brasil, 2001 (mercado \approx 4,6 milhões de m³).....163

Figura 5.6: Evolução mensal do volume de QAV comercializado no Brasil: 1999, 2000 e 2001 (10³ m³).....165

Figura 5.7: Vendas nacionais de gasolina de aviação pelas distribuidoras (10m³), 1991-2001.....167

Figura 5.8: Distribuição percentual do consumo de energia por fontes energéticas e por tipo de motor pelo transporte aéreo no Brasil, 2001.....177

Figura 5.9: Evolução do consumo de energia total pelo modal aéreo (10^3 tEP), 1984-2002.....178

Figura 5.10: Taxas de crescimento (em percentual) do consumo energético total pelo setor aéreo no Brasil e no mundo. Períodos: 1980/1985, 1985/1990, 1990/1995 e 1995/2000.....179

Figura 5.11: Projeções para a evolução do consumo energético associado ao transporte aéreo brasileiro – Projeções: Baixa/Energia, Referencial/Energia e Alta/Energia, 2002 a 2023 (10^3 tEP).....183

Figura 5.12: Evolução das emissões totais de CO_2 pelo transporte aéreo no Brasil.....192

Figura 5.13: Projeção Referencial para a evolução das emissões de Gg de CO_2 devido à atividade aérea no Brasil, 2003-2023.....194

CAPÍTULO VI – ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO PARA AS EMISSÕES DE CO_2 GERADAS PELO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL

Figura 6.1: Utilização de materiais estruturais em um avião.....197

Figura 6.2: Distribuição em peso nas partes da estrutura de uma moderna aeronave.....198

Figura 6.3: Esquematização da aplicabilidade das ligas de alumínio em componentes de uma aeronave.....199

Figura 6.4: Preço médio das exportações mundiais de óleos vegetais x preço médio internacional do QAV (em US\$/tonelada).....213

Figura 6.5: Energia primária requerida: LH_2 (produzido a partir do CH_4), LH_2 renovável e QAV (em MJ/Assento-Km).....221

Figura 6.6: Esboço do traçado do TAV, com estimativa para o volume de passageiros por trecho.....237

Figura 6.7: Emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro: histórico (1984-2002) e Projeção Referencial/Emissões x Projeção “Ampla Mitigação”(2003-2023) (Gg CO₂).....251

CAPÍTULO VII – DISCUSSÃO FINAL, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

ÍNDICE DE TABELAS

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR AÉREO BRASILEIRO

Tabela 1.1: Discriminação da frota nacional de aviões comerciais (empresas aéreas brasileiras regulares): 1990-2002.....39

Tabela 1.2: Quadro de oferta: segmento doméstico regional (assentos-km/ano, participação %), 2000.....44

Tabela 1.3: Número de passageiros-quilômetros transportados ($\times 10^6$), em vôos nacionais e internacionais, por país (com respectiva área territorial), 1994 a 1998.....53

Tabela 1.4: Quantidade de toneladas-quilômetro transportadas ($\times 10^6$), em vôos nacionais e internacionais, por país de 1994 a 1998.....54

Tabela 1.5: Número de aeronaves produzidas no Brasil (de 1996 a 2000) por fabricante, modelo e tipo.....60

CAPÍTULO II – A AVIAÇÃO COMO UM PROBLEMA AMBIENTAL GLOBAL (E LOCAL)

Tabela 2.1: Evolução do ruído gerado por modelos de aeronaves: decibéis x anos.....68

Tabela 2.2: Utilização de transporte coletivo no acesso aos aeroportos.....72

Tabela 2.3: Percentual na emissão global de CO₂ por modal de transporte (1995).....79

Tabela 2.4: Influência de Gases de Efeito Estufa no aquecimento global por modal de transporte. Padrão: CO₂.....81

Tabela 2.5: Avaliação climática comparativa, por diferentes rotas aéreas.....84

CAPÍTULO III – A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE: POLÍTICAS INTERNACIONAIS

CAPÍTULO IV – ASPECTOS SOBRE A DEMANDA POR AVIAÇÃO NO BRASIL

Tabela 4.1: Dados representativos para a demanda global por aviação: dados referentes ao transporte aéreo de passageiros, em 2000.....131

Tabela 4.2: Taxas de crescimento (% ao ano) do PIB e dos parâmetros pax-km transportados e ton-km transportado, 1972-2001.....143

Tabela 4.3: Premissas adotadas para a elaboração das Projeções Referencial, Baixa e Alta – Evolução da demanda por transporte aéreo no Brasil – Período: 2002 a 2023.....150

Tabela 4.4: Projeções Alta, Referencial e Baixa versus Superior, Média e Baixa.....156

CAPÍTULO V – CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO

Tabela 5.1: Intensidades energéticas no transporte de passageiros e de cargas.....161

Tabela 5.2: Refinarias da Petrobras produtoras de QAV – localização, produção mensal e processo de produção empregado, em 2000.....164

Tabela 5.3: Parâmetros de avaliação da estabilidade térmica do QAV empregado no Brasil.....170

Tabela 5.4: Estágio dos processos de desregulamentação do setor petrolífero nos países da América Latina, 2000.....172

Tabela 5.5: Fontes de energia utilizadas pelo setor de transportes no Brasil, 2000.....175

Tabela 5.6: Consumo de energia (em 10³ tEP) pelo modal aéreo no Brasil, por fontes, de 1984 a 2002178

Tabela 5.7: Parâmetros adotados na elaboração das Projeções Referencial/Energia, Baixa/Energia e Alta/Energia – consumo energético pela aviação no Brasil, 2002 a 2023.....183

Tabela 5.8: Evolução das emissões de CO₂ pelas fontes energéticas empregadas no transporte aéreo brasileiro, 1984-2002.....192

CAPÍTULO VI – ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO PARA AS EMISSÕES DE CO₂ GERADAS PELO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL

Tabela 6.1: Comparação entre os requisitos energéticos do QAV e do Prosene.....211

Tabela 6.2: Emissões do Prosene face ao QAV.....212

Tabela 6.3: Emissões de poluentes das misturas.....212

Tabela 6.4: Características do QAV e do LH₂ líquido.....220

Tabela 6.5: Consumo médio de QAV pelas aeronaves mais utilizadas no Brasil.....225

Tabela 6.6: Características básicas de exemplos internacionais de introdução no setor aéreo de instrumentos econômicos voltados a preservação ambiental.....228

Tabela 6.7: Valoração do imposto IADS em rotas aéreas selecionadas.....230

Tabela 6.8: Principais características da rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo, 2002.....232

Tabela 6.9: Características da demanda de passageiros na ligação aérea Rio de Janeiro – São Paulo.....233

Tabela 6.10: Previsão de custos necessários à implementação do TAV no trecho Rio de Janeiro – São Paulo.....238

Tabela 6.11: Alternativas de mitigação e redução nas emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil.....246

CAPÍTULO VII – DISCUSSÃO FINAL, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

LISTA DE SIGLAS

- AEF – Aviation Environment Federation**
- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil**
- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**
- ANP – Agência Nacional do Petróleo**
- ARPEL – Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean**
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**
- CAEE – Committee for Aeronautic Engine Emissions**
- CAEP – Committee for Aviation Environmental Protection**
- CAM – Correio Aéreo Militar**
- CAN – Committee for Aeronautic Noise**
- CAN – Correio Aéreo Naval**
- CBA – Código Brasileiro de Aeronáutica**
- CDM – Clean Development Mechanism**
- CENIPA – Comissão de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos**
- CERNAI – Centro de Estudos Relativos à Navegação Aérea Internacional**
- CETEM – Centro de Tecnologia Mineral**
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**
- COMAER – Comando Militar da Aeronáutica**
- CONAC – Conferência Nacional de Aviação Comercial**
- CTA – Centro Técnico Aeroespacial**
- DAC – Departamento de Aviação Civil**
- EIA – Energy Information Administration**
- EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica**
- EMBRATUR – Empresa Brasileira de Turismo**
- EPA – Environmental Protection Agency**
- FAA – Federal Aviation Administration**
- FAB – Força Aérea Brasileira**
- GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes**
- GFTA – Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo**
- IAC – Instituto de Aviação Civil**
- IATA – International Airline Transport Association**

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO – International Civil Aviation Organization
IEA – International Energy Agency
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MME – Ministério das Minas e Energia
NASA – National Aeronautic and Space Administration
OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development
OMC – Organização Mundial do Comércio
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PETROBRAS – Petróleo do Brasil S.A.
RAB – Registro Aeronáutico Brasileiro
RBHA – Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáuticos
SPL – Subdepartamento de Planejamento
SNEA – Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias
T&E – European Federation for Transport and Environment

“Só uma revolução econômica e social permitiria às sociedades paleolíticas sair do impasse em que se encontravam: os homens deveriam associar-se à natureza e não mais serem seus parasitas (...) veio o dia em que os grãos destes cereais foram semeados nos solos que lhes convinham e dos quais se arrancavam as ervas daninhas para proteger a colheita: o passo decisivo tinha sido dado. O crescimento da produção iria permitir enfrentar o desenvolvimento da população. Esta etapa, a primeira da revolução neolítica, permite distinguir os bárbaros dos selvagens”.

(Ge Childe, “De la préhistoire à l’histoire”, 1975)

“Após heróica pertinácia em estudos de laboratório, eles se arrojavam a experimentar máquinas frágeis, primitivas, perigosas. Foram centenas de vítimas que lutaram com mil dificuldades, sempre recebidos como malucos, que não conseguiram ver o triunfo dos seus sonhos, mas que colaboraram com o sacrifício de sua vida. Eu também tive a honra de trabalhar ao lado de alguns desses bravos, porém o Todo Poderoso não quis que o meu nome figurasse junto deles. Não fosse a audácia, digna de todas as nossas homenagens dos Capitães Ferber, Lilienthal, Pilcher, Barão de Bradsky, Augusto Severo, Sachet, Charles, Morin, Delagrangue, irmãos Nieuport, Chaver e tantos outros – verdadeiros mártires da ciência – e não assistiríamos a esse progresso maravilhoso da aeronáutica, conseguindo à custa dessas vidas, quando ficava sempre uma lição. Aos jovens, a maior parte dos meus leitores suplico-lhes: Não se esqueçam desses nomes”.

(Alberto Santos Dumont, “O que Eu vi, o que Nós Veremos”, 1918)

INTRODUÇÃO

Os modelos de desenvolvimento nas sociedades contemporâneas têm se mostrado agressores à natureza, na medida em que propõem os recursos naturais apenas como matéria-prima para o crescimento econômico, sem a preocupação fundamental de conhecer suas limitações e suas perspectivas de auto sustentação. A utilização irrestrita destes recursos tem provocado discussões amplas, as quais abrangem o seu esgotamento, sua degradação e suas conseqüências à qualidade de vida. Todavia, partindo-se da premissa de desenvolvimento sustentável, o atendimento satisfatório da demanda por transportes, mesmo em um país em desenvolvimento, pode ser factível, desde que estejam contempladas, nas ações de planejamento global da sociedade, as importantes questões energéticas e ambientais.

A questão ambiental tem sido considerada prioritária no estabelecimento das políticas de governo, tanto em países industrializados quanto naqueles em desenvolvimento. A degradação ambiental, de uma forma geral, é prejudicial à saúde humana, reduz a produtividade econômica e energética e induz à perda de “conforto”, termo que designa as variadas formas pelas quais as pessoas se beneficiam de um meio ambiente não poluído. Vital para a moderna economia globalizada, o setor de transportes, dentre os vários segmentos econômicos, está entre aqueles que mais têm contribuído para aceleração da degradação ambiental devido, basicamente, à queima de combustíveis fósseis e à conseqüente geração de poluentes gasosos para a atmosfera. As emissões de CO₂ devido aos transportes têm preocupado a comunidade científica mundial pela magnitude das taxas de crescimento, e pelo fato de o CO₂ ser o principal gás de Efeito Estufa¹ (GEE) produzido pelo homem. Atualmente, o setor de transportes contribui com 13% das emissões antropogênicas de GEE (IPCC, 2001).

Em todo o mundo, o modal rodoviário é o principal responsável pelas emissões de CO₂ devido aos transportes (SCHÄFER e VICTOR, 1998; SHIPPER e MARIE-LILLIU, 1999). A expressiva frota mundial de cerca de 800 milhões de veículos automotivos (AZUAGA, 2000) explica, em parte, essa “indesejável” supremacia. No entanto, as maiores

¹ Considera-se o CO₂ como o principal gás de efeito estufa produzido pelo homem devido ao expressivo porte das emissões antropogênicas deste gás para o meio ambiente atmosférico (SCHÄFER e VICTOR, 1998). Em 2000, tais emissões atingiram o valor de 8,5 Giga-toneladas (IPCC, 2001).

taxas mundiais de crescimento para tais emissões, desde o início da década de 1990, têm sido registradas no modal aéreo que, atualmente, responde por cerca de 3,5% da contribuição antropogênica para o aquecimento global pela queima de combustíveis fósseis, ou cerca de 300.000 Gg² (Giga-gramas)/ano de CO₂ (SCHÄFER e VICTOR, 1998; BTS, 1999).

Especialmente nos países em desenvolvimento e de base industrial como o Brasil, têm-se verificado as maiores taxas de crescimento para a demanda por transporte aéreo e para as emissões de CO₂ associadas³ (SCHÄFER e VICTOR, 1998; IPCC, 1999).

Estreitamente relacionado ao aumento nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo está a notável expansão da taxa de crescimento do uso de energia por esse modal, quando comparada a de outros modais, para o período 1995-2000, conforme explicita a Figura 1 para o caso brasileiro.

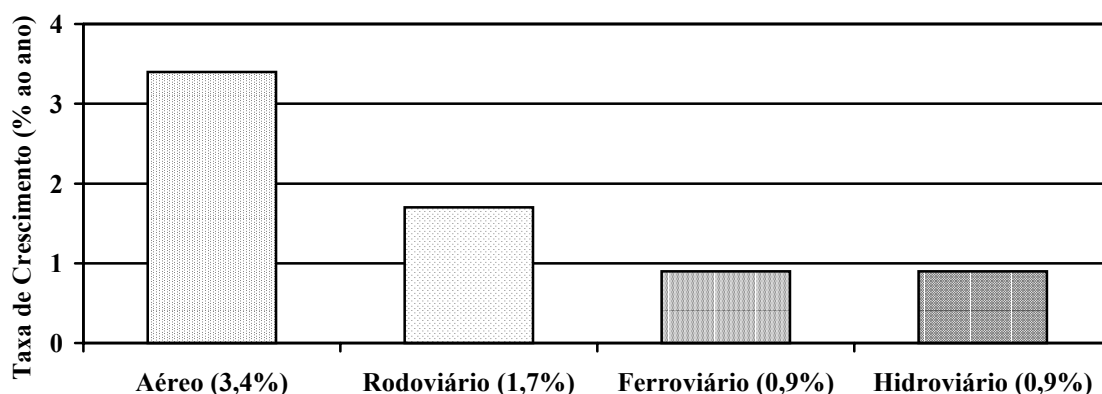


Figura 1: Taxa de crescimento do uso de energia nos transportes por modal no Brasil, 1995-2000⁴ (médias anuais para o período)

Fonte: PETROBRAS, 2001.

² Gg = Giga-gramas, onde 1 Gg = 10⁶ Giga-toneladas (Gt). Assim, 300.000 Gg = 0,3 Gt. Cabe ressaltar, nesse contexto, que a unidade mais utilizada pela literatura especializada em emissões aeronáuticas de CO₂ (um dos principais temas abordados neste trabalho) é o Giga-grama. O relatório especial do IPCC sobre aviação e meio ambiente atmosférico (IPCC, 1999), por exemplo, utiliza amplamente a unidade Gg (de CO₂).

³ A despeito das diversas crises financeiras enfrentadas, desde fins da década de 1980, pelas principais companhias aéreas brasileiras, a demanda por aviação no Brasil vem, de um modo geral (medida pelo consumo energético associado e pelos parâmetros passageiros e/ou cargas transportados, por exemplo), se expandindo, ano após ano. Os Capítulos IV e V deste trabalho discutem com mais ênfase tal afirmação.

⁴ De acordo com estimativa realizada pela BR Distribuidora para quinquênio 2000-2005, a taxa anual de crescimento do uso de energia pela aviação (médias anuais para o período) deverá alcançar o patamar de 3,8%, enquanto que as mesmas taxas referentes aos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário irão atingir 2,0%; 0,8%; e 0,8%, respectivamente (BR, 2003).

A importância do transporte aéreo no problema do aquecimento global torna-se ainda mais evidente, pois o modal aéreo é de longe o de maior intensidade energética⁵ (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998), ou seja, é o que consome mais energia por tonelada de carga ou passageiro por quilômetros transportados. A Figura 2, apresentada a seguir, ilustra o quão energo-intensivo é o setor aéreo em comparação a outros modais de transporte.

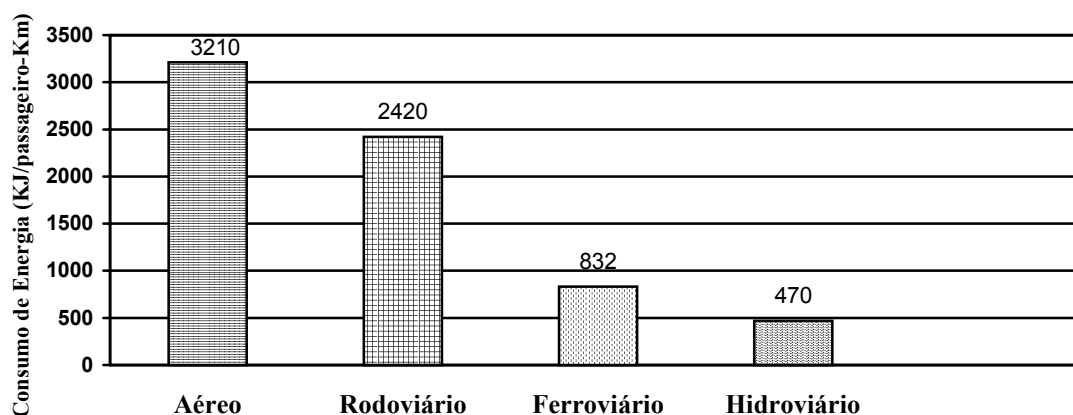


Figura 2: Intensidade energética (consumo de energia em KJ/passageiro-km) por modais de transporte. Valor médio registrado para o ano de 2000 nos países da América Latina

Fonte: PETROBRAS, 2001.

Trabalhos conduzidos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (IPCC, 1999) e pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) (ICAO, 1993; ICAO, 1996) relacionam a rápida expansão do transporte aéreo com o crescimento econômico mundial. O transporte aéreo de passageiros e de cargas, de 1960 a 2000, cresceu cerca de 9% ao ano (IPCC, 1999). Esse percentual representa uma taxa de crescimento anual superior ao produto interno bruto (PIB) da maioria dos países industrializados (PETROBRAS, 2001b). Estudo realizado pela OECD (*Organization for Economic Co-Operation and Development*) (OECD, 1997) aponta que a taxa de crescimento ao ano do PIB dos 20 países mais ricos foi de cerca de 6% (valor médio para os países analisados) nos últimos 40 anos.

⁵ A típica maior intensidade energética do modal aéreo (frente aos demais modais) relaciona-se diretamente ao que se considera como a maior vantagem comparativa deste meio de transporte: a grande velocidade (que, conseqüentemente, gera notória redução no tempo da viagem).

O IPCC, em seu relatório especial sobre aviação (IPCC, 1999), estima que a taxa de crescimento ao ano do setor aéreo para o período de 2002 a 2010 seja de 5% em países industrializados, e de 7 a 8% em países em desenvolvimento. Segundo o citado relatório, existe uma clara tendência de aumento de consumo energético associado à expansão do transporte aéreo mundial. Sob tal contexto, a preocupação ambiental torna-se evidente, tendo em vista que a crescente demanda por energia pela aviação tem provocado um proporcional aumento na quantidade de poluentes emitidos, quais sejam: o supracitado dióxido de carbono (CO₂); os óxidos de nitrogênio (NO_x); os óxidos de enxofre (SO_x); o monóxido de carbono (CO); o metano (CH₄); o vapor d'água; e as partículas de aerossóis (poeira ≈ compostos sulfatados) (IPCC, 1999).

O efeito direto no clima terrestre causado pelas emissões aeronáuticas relaciona-se aos dois principais problemas ambientais globais: o incremento antropogênico do fenômeno do Efeito Estufa – os poluentes emitidos pelas aeronaves, especialmente o CO₂, aumentam o aprisionamento de raios infravermelhos reirradiados da superfície terrestre (SINGER, 1996; EPA, 1997) – e a Depleção da Camada de Ozônio, na qual as emissões de NO_x pelos motores aeronáuticos guardam relação direta (JOHNSON, HERSHAW, McINNES, 1992). Em menor escala, o problema ambiental da chuva ácida, também é afetado pelas emissões das aeronaves (em especial, as emissões aeronáuticas de óxidos de enxofre).

Outro problema ambiental gerado pela aviação e que tem sido alvo de diversas pesquisas (BROCKHAGEN, 1996; KLUG, BAKAN e GAYLOR, 1996) é a questão dos “rastros de condensação”. Tais rastros surgem quando o avião atravessa regiões do espaço aéreo onde há grande umidade. Eles são bastante visíveis, especialmente em dias claros, quando o avião está voando em cruzeiro, ou seja, voando entre 11.550 e 13.860 metros⁶. Nessa altitude, a temperatura do ar é muito baixa, cerca de 40° a 50°C negativos. Com a queima do combustível, o querosene de aviação, os gases gerados em forma de vapor entram em contato com o ar gelado em que o avião voa, se condensam, deixando longos rastros brancos (rastros de condensação) atrás das aeronaves. No Canadá, em especial, a questão dos rastros têm sido alvo de grande interesse científico em diversas regiões, uma vez que, nestas regiões, há carência de luz solar em várias épocas do ano. Já na Europa os

⁶ Geralmente, no caso dos jatos, o voo em altitude de cruzeiro ocorre entre o nível FL 310 (31.000 pés ou 9.450 metros) e FL 390 (39.000 pés ou 11.887 metros).

rastros de condensação têm sido percebidos não só no meio científico, mas também pela população devido ao fato de serem muito visíveis e de grandes proporções, reduzindo a luminosidade dos, já raros, dias de sol naquele continente. Os rastros de condensação juntam-se para formar grandes nuvens tipo *cirrus*.

As prioridades a serem estabelecidas por países em desenvolvimento com relação ao meio ambiente e aos transportes de uma forma geral tendem a não ser aquelas que os países industrializados irão adotar. A tendência para países em desenvolvimento é de dar menos prioridade ao conforto, enquanto não tiverem sido atendidas as necessidades básicas da população (a despeito de tais prioridades não serem mutuamente excludentes). Portanto, em países como o Brasil, é de se esperar que ocorra uma compatibilização entre os objetivos de crescimento e desenvolvimento dos transportes e a minimização da degradação ao meio ambiente, de forma a se garantir o potencial produtivo e a expansão das atividades econômicas.

Em uma perspectiva de médio e longo prazo, não se deve descartar uma futura eventual obrigatoriedade de o Brasil ter de reduzir suas emissões de GEE⁷. Afinal, já há, no cenário atual certa pressão exercida por alguns países do ANEXO I (em especial, Estados Unidos e Canadá) no sentido de que países em desenvolvimento e de relevante parque industrial (tais como, Brasil, China e Índia), em futuro próximo, também sejam obrigados a reduzir suas emissões de GEE. Nesse contexto, elaborar, desde já, estratégias que visem mitigar as emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil (um dos objetivos deste trabalho) torna-se absolutamente oportuno.

O Trabalho aqui proposto ganha maior relevância devido ao fato de haver, no Brasil, uma notória carência de pesquisas que enfoquem o tênue relacionamento entre aviação, energia e meio ambiente. Ao contrário do Brasil, em diversos países (em especial nos mais industrializados, tais como, Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra, França ou Japão), estudos vêm sendo conduzidos no sentido de compreender a influência do setor aeronáutico no contexto de Mudanças Climáticas Globais (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998; SCHÄFER, 1992; SCHUMANN, 1996). A confecção de um amplo e embasado estudo, o relatório especial do IPCC, *Aviation and Global Atmosphere*

⁷ De acordo com a Convenção do Clima, o Brasil não integra o chamado grupo do ANEXO I (composto, basicamente, pelas nações industrializadas do planeta). E, segundo o Protocolo de Quioto, os países não integrantes do ANEXO I não necessitam reduzir suas emissões de GEE.

(IPCC, 1999), elaborado pelos mais renomados cientistas e pesquisadores do mundo na área, denota a grande importância conferida a esse tema, pela comunidade científica mundial.

Cenarizações do IPCC (IPCC, 1999) apontam para uma “explosão” na demanda por transporte aéreo em países em desenvolvimento a partir de 2015. Nesse contexto, cabe ressaltar que o Brasil possui determinadas características que corroboram para tal previsão. Nesse sentido, pode-se citar as dimensões continentais⁸; o fato de o país possuir uma das maiores redes aeroportuárias do mundo – fazendo com que o transporte aéreo brasileiro represente um importante instrumento de desenvolvimento e integração nacional; e a demanda reprimida relativa à utilização da aviação como meio de transporte. Cabe ressaltar, porém, que tais características não poderão traduzir-se em alicerces para uma futura acentuada expansão na demanda por aviação no Brasil, caso não haja (nos próximos dez ou quinze anos) um constante e expressivo crescimento econômico e um claro cenário de liberdade político-econômica estabelecido para o setor aéreo (ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, 2003).

Nesse contexto emergem as forças-motrizes norteadoras para o estabelecimento dos principais objetivos deste Trabalho:

1. Atualizar, compatibilizar e projetar as emissões de CO₂ advindas da atividade aérea no Brasil para os próximos 20 anos;
2. Propor alternativas de mitigação para tais emissões, através da elaboração de uma série de estratégias possíveis de serem implementadas no setor com vias a reduzir seu consumo de energia e suas conseqüentes emissões atmosféricas;
3. Fornecer subsídios para que o planejamento estratégico de logo prazo dos agentes atuantes neste setor da economia nacional (em especial, as companhias aéreas, o Governo e a indústria aeronáutica) priorize o uso eficiente da energia e a minimização de impactos ao meio ambiente atmosférico.

Nesse contexto, este trabalho se propõe, dentre outras coisas, a buscar conhecer em mais detalhes a situação do transporte aéreo brasileiro à luz da questão das Mudanças

⁸ O Brasil possui a quinta maior superfície do mundo, com 8.511.965 Km².

Climáticas Globais. Neste sentido, analisar e buscar alternativas que minimizem os problemas ambientais causados pela aviação no Brasil pode, efetivamente, tornar-se um útil instrumento para definição e aplicação de políticas nacionais de transporte e energia que aliem as necessidades de crescimento econômico a racionais níveis de perturbação ao meio ambiente.

Busca-se, com isso, o embasamento necessário para que determinadas perguntas possam ser discutidas. As seguintes indagações parecem pertinentes:

1. Há indícios de que a demanda por aviação no Brasil sofra acentuada expansão nos próximos 15 ou 20 anos (conforme previsto pelo IPCC para países em desenvolvimento e de base industrializada, como o Brasil)?
2. Em possível cenário futuro de acentuada expansão do setor de aviação no Brasil, como se daria o atendimento à demanda energética associada?
3. De que forma o setor aéreo mundial influencia no agravamento de problemas ambientais de magnitude global (tais como o Efeito Estufa, a Depleção da Camada de Ozônio e a Chuva Ácida)?
4. Qual o porte das emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil frente ao setor aéreo mundial?
5. Qual o efetivo potencial gerado por estratégias de mitigação na perspectiva de redução das emissões de CO₂ advindas do transporte aéreo brasileiro?
6. Há estratégias de mitigação de emissões de GEE por parte do setor aéreo nacional técnica e economicamente viáveis de serem implementadas no curto e médio prazo?

Estas são algumas das questões que esta tese se propõe a discutir.

Isso posto, a metodologia empregada para que os objetivos deste Trabalho possam ser alcançados compreende as seguintes etapas:

- Confecção de projeção (até 2023) para a evolução da demanda por aviação no Brasil e apresentação de projeção correlata do IAC (Instituto de Aviação Civil);

- Com base em recente projeção elaborada pelo IAC para a evolução da demanda por aviação no Brasil, elabora-se uma projeção (até 2023) sobre a evolução do consumo de energia devido à atividade aérea no Brasil;
- Para elaboração de projeção, até 2023, a respeito das emissões de CO₂ devidos à atividade aérea no Brasil, aplica-se a metodologia *top-down* (recomendada pelo IPCC, 1994) aos valores numéricos da projeção relativa ao consumo de energia por este setor da economia nacional;
- Elaboração de alternativas de mitigação para tais emissões e investigação do potencial de redução (nas emissões de CO₂) gerado pelas diferentes estratégias. Para tanto, cada alternativa responde por determinada redução percentual, quando confrontada à Projeção Referencial para a evolução das emissões de CO₂;
- Elaboração da Projeção “Ampla Mitigação” (com base na adoção conjunta de todas as alternativas de mitigação analisadas) e rebatimento desta com a Projeção Referencial (para a evolução das emissões de CO₂ pela aviação no Brasil);
- Análise crítica dos resultados.

Para o desenvolvimento do trabalho optou-se, intencionalmente, por uma estrutura a mais abrangente possível.

O Capítulo I apresenta uma caracterização para o setor aéreo brasileiro. Optou-se por uma caracterização a mais abrangente possível. Afinal, o tipo de evolução futura deste setor guardará, necessariamente, algum tipo de relação com os aspectos históricos, com os processos de regulação (e desregulamentação), com as características gerais e com o desempenho recente do setor de aviação no Brasil. Admite-se, aqui, que a evolução futura da demanda por aviação no país estará alicerçada em aspectos estruturais (e mesmo conjunturais) associados à evolução deste setor da economia nacional, ocorrida até o presente.

O Capítulo II discute e analisa a aviação enquanto atividade causadora de problemas ambientais de abrangência local e global. Este capítulo é pertinente na medida em que se considerou relevante um entendimento mais aprofundado a respeito da tênue relação entre o

setor aéreo e o meio ambiente atmosférico. Os aspectos analisados no Capítulo II visam alicerçar a compreensão de como o transporte aéreo mundial e brasileiro se insere no contexto de mudanças climáticas globais.

O Capítulo III discorre sobre as políticas elaboradas pelos principais agentes do setor aéreo mundial no intuito de conter ou minimizar os impactos da atividade aérea causados no meio ambiente atmosférico. Considera-se tal capítulo relevante na medida em que é praticamente inexistente, no Brasil, a discussão ou a introdução deste tipo específico de política. Em última instância, visa-se grifar exemplos de políticas capazes de serem aplicadas no caso do transporte aéreo brasileiro no sentido de que este setor da economia nacional se desenvolva da forma menos ambientalmente degradante possível.

O Capítulo IV analisa os principais aspectos ligados à formação da demanda por aviação no Brasil. Para tanto, analisam-se as metodologias adotadas para a previsão da demanda por transportes, os modelos empregados para a previsão da demanda por transporte aéreo, os fatores determinantes associados à demanda por serviços aéreos no país, e os principais indicadores desta demanda. Por fim, elabora-se uma projeção a respeito da evolução futura da supracitada demanda.

O Capítulo V analisa os aspectos estruturais (e mesmo conjunturais) associados ao consumo energético pelo setor de aviação no Brasil. Para tanto, julgou-se conveniente apresentar um panorama para o consumo energético pelo transporte aéreo brasileiro e mundial; o mercado de QAV e de gasolina de aviação no país; e a evolução histórica deste mercado. Com base nas projeções elaboradas para a evolução da demanda por aviação (Capítulo IV), elaborou-se uma projeção a respeito da evolução do consumo energético associado ao transporte aéreo brasileiro. O Capítulo V apresenta, também, a evolução histórica e uma estimativa para a evolução, em cenário referencial, das emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil, inserindo o setor aéreo nacional no principal aspecto, usualmente, relacionado ao fenômeno do aquecimento global, qual seja, as emissões de CO₂.

O Capítulo VI apresenta 10 possíveis alternativas para a mitigação das emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil. Cada uma das alternativas é analisada sob aspectos capazes de influenciarem, de alguma forma, na redução destas emissões. Por fim, apresenta-se uma comparação entre a evolução das emissões de CO₂ em cenário referencial

e em cenário de ampla mitigação (gerado pela adoção conjunta das 10 alternativas de mitigação propostas). Objetiva-se inferir sobre o quão distante de um relacionamento minimamente degradante para com o meio ambiente estaria o setor aéreo nacional caso nenhuma política de mitigação fosse colocada em prática. Busca-se sinalizar sobre o máximo potencial de redução nas emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil.

O Capítulo VII discute, sinergicamente, o trabalho como um todo, apresentando as conclusões e recomendações finais do trabalho. Além disso, este capítulo identifica possíveis lacunas, capazes de propiciarem o desenvolvimento futuro de trabalhos complementares a este.

CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR AÉREO BRASILEIRO

1.1 – Evolução Histórica

1.1.1 – A aviação através dos séculos: de Ícaro a Santos Dumont

Durante milhares de anos os homens sonharam em voar. Alguns chegaram mesmo a tentar voar, amarrando penas em seus braços e agitando-as como se fossem asas. Mas a maioria das pessoas acreditava que voar estava além das forças do homem comum. Contavam e recontavam histórias de homens semelhantes a deuses que podiam voar ou que eram carregados no ar por animais de asas. Os gregos antigos contavam uma história de um inventor chamado Dédalo e seu filho Ícaro, em que ambos voavam com asas feitas de penas e cera. Mas Ícaro voou tão perto do sol que o calor derreteu suas asas, ele caiu no mar e afogou-se. Poeticamente, teria sido então Ícaro o primeiro “equipamento aéreo” a emitir Gases de Efeito Estufa através da emissão de CO₂ e outros compostos gerados pela queima da cera de suas asas.

O primeiro relato de idéia ou experiência mais concreta de voar ocorreu em 362 a.C., quando um sábio grego de nome Arquitas construiu um pássaro de madeira que planava no ar. Ninguém sabe como Arquitas fez seu pássaro voar, mas, provavelmente, deve ter fixado a aeronave num braço rotativo e usado vapor d’água ou gás para movê-lo num círculo (MONDEY, 1973). Entre 300 e 250 a.C., os chineses descobriram como fazer pipas. Uma pipa é, na realidade, uma forma de planador. Algumas dessas pipas podem ter levantado homens ao ar (MONDEY, 1973).

Durante o século III a.C., o grande matemático e inventor grego Arquimedes descobriu como e porque os objetos flutuam nos líquidos. Por volta de 1290, um monge inglês chamado Roger Bacon escreveu que o ar, como a água, tem nele algo de sólido. Bacon tinha estudado as idéias de Arquimedes e concluíra que se os homens pudessem construir o tipo certo de máquina, o ar a sustentaria, assim como a água sustenta o navio. Por volta de 1500, o artista e inventor italiano Leonardo da Vinci fez desenhos de ornitópteros, máquinas voadoras com asas projetadas para bater de forma semelhante às de

um pássaro. Em 1680, Giovanni A. Borelli⁹, matemático italiano, mostrou que o homem não poderia voar por meios próprios. Borelli provou que os músculos do homem são muito fracos para agitar as grandes superfícies de ar que seriam necessárias para sustentar seu peso no ar (MONDEY, 1973).

Em 1783, dois franceses – um médico chamado Jean F. Pilâtre de Rozier e um nobre, o Marquês d’Arlandes – fizeram o primeiro vôo livre num aparelho feito pelo homem. Flutuaram a uma distância superior a 8 Km sobre a cidade de Paris num grande balão de linho. Dois fabricantes de papel, os irmãos franceses, Jacques e Joseph Montgolfier, fizeram o balão, que foi cheio de ar quente obtido com a queima de lã e palha. O ar quente fez o balão subir (CHANT, 1975).

Enquanto isso, outros inventores tinham voltado suas atenções para os planadores, mais pesados do que o ar. Em 1804, George Cayley, inventor britânico, construiu o primeiro planador com êxito. Era um pequeno engenho que voava sem passageiro. Mais tarde, Cayley construiu planadores de tamanho natural. Fundou também a ciência da aerodinâmica (o estudo do fluxo de ar em torno dos objetos) e foi, provavelmente, o primeiro homem a descrever um avião de asa fixa e motor a hélice (CHANT, 1975).

Em 1842, William S. Henson, inventor britânico, patenteou os planos do primeiro avião com motor, hélices e asas fixas. Mas depois de construir um modelo malsucedido, abandonou o projeto. Em 1890, Clément Ader, engenheiro francês, decolou num pequeno aparelho dotado de um motor a vapor que tinha construído, o Avion. Mas não pôde controlá-lo ou mantê-lo no ar. Aproximadamente na mesma época, o inventor norte-americano Hiram Maxim construiu uma enorme máquina voadora de motor a vapor. Tinha duas asas, dois motores e duas hélices. Maxim testou o avião em 1894. O avião deixou o chão rapidamente, mas na verdade não chegou a voar (CHANT, 1975).

Durante a década de 1890, Samuel P. Langley, cientista norte-americano, construiu um aeromodelo com um motor a vapor. Langley chamou seu avião de aeródromo. Em 1896, voou mais de 800m em cerca de um minuto e meio. Construiu então um aeródromo de tamanho natural, propulsionado por um motor a explosão. Um piloto tentou voar no

⁹ O ano de 1680 corresponde ao ano de publicação da obra *post-mortem* “De moto animalium” do astrônomo e matemático italiano, Giovanni Borelli.

avião nos dias 7 de outubro e 8 de dezembro de 1903. Em ambas as ocasiões o avião foi lançado ao ar de um barco no rio Potomac, e nas duas vezes caiu na água (CHANT, 1975).

Entre 1891 e 1896, o alemão Otto Lilienthal realizou com êxito os primeiros vôos tripulados de planadores. Antes do fim do século XIX, outros inventores, como Percy Pilcher, da Grã-Bretanha, e Octave Chanute, dos Estados Unidos, fizeram vôos semelhantes. Esses primeiros planadores eram tão bem construídos que transportavam seus pilotos por centenas de metros através do ar. Mas os planadores eram freqüentemente de difícil controle. Além disso, não eram projetados para transportar passageiros ou carga, e assim não constituíam um meio de transporte prático (MONDEY, 1973).

A praticidade e dirigibilidade só vieram mesmo após a virada do século XIX para o XX, com os vôos a motor. Finalmente, por forças próprias aeronaves mais pesadas que o ar puderam decolar. Era o início da história da aviação como se conhece hoje. E, o grande pioneiro foi o brasileiro Alberto Santos Dumont, que após anos de experiências com dirigíveis mais leves que o ar, realizou com seu avião 14-Bis o primeiro vôo oficialmente reconhecido pela Federação Aeronáutica Internacional, em 13 de outubro de 1906. Nesse histórico e fantástico vôo, Santos Dumont percorreu, em Paris, a distância de 220 metros em 12 segundos, seis metros acima do solo. Era a primeira vez que, perante testemunhas, um homem realizava tal façanha (GODEFROID, 1993).

Anteriormente, vários outros construtores haviam-se dedicado a experiências com “o mais pesado que o ar”. Em 1903, Orville e Wilbur Wright, dois irmãos norte-americanos que até então se dedicavam à fabricação de bicicletas e à experiência com planadores, haviam conseguido voar com um aeroplano de sua fabricação, percorrendo cerca de 40m no primeiro vôo (GODEFROID, 1993). Entretanto, este vôo não foi oficialmente registrado, e muitos discutem sua validade porque o aparelho dos dois irmãos, o Flyer, não decolou por seus próprios meios, sendo lançado ao ar por uma catapulta, muito ao contrário do vôo de Santos Dumont com seu 14-Bis que decolou do chão em plena Champs Elysée (Paris) sob olhares atentos de uma pequena multidão. Assim, personificado na figura de Alberto Santos Dumont, o Brasil possui relevante papel nos primórdios da história moderna da aviação.

1.1.2 – Desenvolvimento inicial da aviação mundial

As pesquisas referentes aos primórdios da aviação relacionam o desenvolvimento da aviação comercial e das empresas aéreas com o surgimento das linhas regulares e com o desenvolvimento da indústria aeronáutica. As primeiras rotas regulares foram criadas durante a Primeira Guerra Mundial, entre 1914 e 1917, quando os serviços postais na Alemanha foram interrompidos e o exército alemão passou a realizar o transporte de malas postais através de aviões militares. Assim como o segmento bélico ou de comunicações, o transporte aéreo foi alavancado pelo primeiro grande evento militar de caráter mundial. Curiosamente, a Segunda Guerra Mundial, de 1939 a 1945, gerou as condições necessárias para a ampla difusão da aviação. Pode-se relacionar o estabelecimento e o fortalecimento da indústria aeronáutica com as duas grandes guerras do século XX.

Em termos comerciais, a primeira empresa aérea foi organizada em dezembro de 1917 na Alemanha e chamava-se Deutsche Luft-Reederei GmbH (DLR). A Companhia foi responsável pela inauguração, em fevereiro de 1919, da primeira rota comercial do mundo, que ligava Berlim a Weimar, na Alemanha. Conforme comentado, o desenvolvimento inicial da aviação comercial relacionava linhas regulares, empresas aéreas e indústria aeronáutica. A DLR não fugia a esta regra, pois contava com o apoio de uma empresa fabricante de aviões, a Junkers.

Em 1919, as fabricantes de aeronaves alemãs Junkers e Sablatnig organizaram empresas e criaram novas linhas aéreas no interior da Alemanha. No mesmo período, outras companhias também foram sendo criadas na Europa, como a Latécoère, na França; a KLM, na Holanda; e a DDL, na Dinamarca (AIRWAYS, 2001). Estas companhias pioneiras operavam transportando basicamente malas postais, malas diplomáticas e “corajosas”¹⁰ autoridades. Nesta época, as linhas aéreas não tinham ainda o caráter de transnacionalidade mesmo entre países com boas relações diplomáticas e comerciais. As empresas operadoras eram, em sua maioria, subsidiadas pelos governos que tinham interesses políticos na manutenção das linhas regulares e interesses militares no desenvolvimento da indústria aeronáutica.

¹⁰ O índice de acidentes era altíssimo. Cerca de 1 (um) desastre aéreo com vítimas fatais ocorria a cada trezentas decolagens ou pousos (DAVIES, 1984).

Por volta de 1924, já havia transporte aéreo regular de passageiros em 17 países europeus, bem como na África, na Austrália e na América do Sul. Nos EUA, havia o serviço regular de correio desde 1918. Por vezes transportavam-se passageiros, que viajavam sentados em pilhas de malas postais. Muitas companhias de aviação fundadas nessa época ainda estão ativas, entre elas a holandesa KLM (Companhia Real Holandesa de Aviação) e a alemã, Lufthansa. A primeira companhia de aviação das Américas foi fundada em 1919 na Colômbia. Era a Sociedade Colombiano-Alemã de Transportes Aéreos (SCADTA), que em 1939¹¹ passou a chamar-se AVIANCA (Aerovias Nacionales de Colômbia, S.A.).

1.1.3 – Primórdios da aviação no Brasil

As rotas aéreas comerciais no Brasil foram estabelecidas a partir de 1924, com a expansão das rotas aéreas internacionais, que eram operadas pelas companhias aéreas pioneiras, constituídas na Europa e nos Estados Unidos na década de 20. Os primeiros projetos para implantação de uma rota aérea no Brasil foram realizados em 1924, pela Aéropostale, uma empresa francesa de serviços postais. O objetivo principal da Aéropostale era prolongar uma linha aérea que partia da África até a América do Sul. O aventureiro primeiro vôo experimental foi realizado em janeiro de 1925 entre o Rio de Janeiro e Buenos Aires. A tripulação era toda francesa, porém, ao pousar no Rio, embarcou o piloto em experiência da FAB, Francisco Lopes Nunes (DAVIES, 1984). Talvez para efeito de marketing havia um brasileiro neste primeiro vôo entre Rio – Buenos Aires.

Em novembro de 1927, a Aéropostale iniciou as atividades regulares entre Natal e Buenos Aires. No ano seguinte, a empresa inaugurou o serviço postal aéreo entre a Europa e a América do Sul, com a entrada em operação do trecho entre Dakar e Natal. Essas atividades pioneiras resumiam-se ao transporte de malas postais e autoridades, e restringiam-se aos trechos costeiros, pois as viagens eram realizadas exclusivamente com hidroaviões. Apenas a partir de 1930, com a fundação do Correio Aéreo Militar (CAM) e

¹¹ No final da década de 1930, voar já era um importante meio de transporte em todo o mundo. Em 1938, as companhias de aviação transportaram cerca de 3.500.000 passageiros. As companhias de aviação utilizavam bimotores que transportavam quatro tripulantes e 21 passageiros de cada vez. Os problemas de segurança eram grandes, e inúmeros vôos eram cancelados devido ao mau tempo ou à falta de visibilidade (DAVIES, 1984).

do Correio Aéreo Naval (CAN), que foi organizada a maior parte das rotas para o interior do Brasil, que vieram a ser integradas às linhas costeiras operadas pelas companhias aéreas (COMAER, 2002).

1.1.4 – As empresas aéreas pioneiras

As empresas aéreas no Brasil surgiram a partir de 1925, com a primeira legislação sobre o transporte aéreo. Essa legislação, inspirada no modelo francês, estabelecia que somente as companhias com sede no País poderiam realizar atividades domésticas. Esse regulamento inicial levou as empresas aéreas estrangeiras, em operação no Brasil, a estabelecerem subsidiárias para atender a legislação. Pode-se sugerir que este fato foi o marco inicial da participação do setor aéreo na geração de empregos aos brasileiros. Muitos empregos diretos e indiretos foram rapidamente criados à época, devido à citada legislação, no Brasil. Estudo conduzido pelo Instituto de Aviação Civil – IAC, em 1978, indica que cerca de 1.500 novos empregos diretos foram criados sob o contexto comentado (IAC, 2000).

Em 1926, o Condor Syndikat, consórcio organizado para promover a indústria aeronáutica alemã na América do Sul, organizou uma subsidiária no Brasil, a Sindicato Condor, que posteriormente teve participação acionista minoritária na primeira companhia aérea brasileira, em 1927. Três anos depois, em 1929, a NYRBA, uma empresa voltada para as operações entre os Estados Unidos e a América do Sul, constituiu uma subsidiária brasileira, a NYRBA do Brasil. Em 1930¹², essa subsidiária passou a chamar-se PANAIR

¹² A década de 1930 é marcada por importantes melhoramentos técnicos obtidos pela indústria aeronáutica mundial. Tais melhoramentos tornaram possível voar mais alto (a questão da dificuldade na respiração devido ao ar rarefeito típico da grande altitudes foi mitigada através do desenvolvimento das *cabins pressurizadas*, que tornaram a respiração a 10.000 metros tão fácil quanto a 1.000 metros), mais rápido (devido ao desenvolvimento das *hélices de passo regulável*, que permitiam aos pilotos a colocação da pá da hélice no melhor ângulo para determinada velocidade) e mais longe (o desenvolvimento de equipamentos de rádio aperfeiçoados possibilitavam aos pilotos receber do solo as direções de voo, ajudando no chamando *voo cego*, ou seja, à noite ou em más condições atmosféricas). Duas das principais aeronaves da época que já foram construídas com base nesses melhoramentos são o Douglas DC-3 (bimotor com capacidade para 21 passageiros e que atingia a velocidade média de 274 km/hora) e o Boeing 314 Clipper (hidroavião que podia carregar até 74 passageiros e que inaugurou o primeiro serviço regular de passageiros através do Oceano Atlântico). De certa forma, pode-se relacionar os melhoramentos técnicos obtidos na década de 1930 (na verdade um processo iniciado no final dos anos vinte) com o avanço do processo de estabelecimento de empresas aéreas (no Brasil e no mundo). Afinal, aeronaves mais seguras (uma consequência dos

do Brasil S.A., quando a NYRBA foi comprada pela American Airways em 1930 (AIRWAYS, 2001).

Dedicando-se basicamente às operações regionais, as primeiras companhias aéreas nacionais começaram a operar a partir do final da década de 20. Já as empresas estrangeiras e suas subsidiárias exploravam as linhas internacionais e as rotas domésticas de longas distâncias como a Rio – Natal.

A primeira companhia genuinamente brasileira foi a Empresa de Aviação Aérea Riograndense, a VARIG, fundada por Otto Ernest Meyer, em 7 de maio de 1927. O trecho inicial operado pela Varig foi Porto Alegre (RS) – Rio Grande (RS), rota que passou a ser conhecida como Linha da Lagoa, pois em boa parte do percurso, podia-se observar a Lagoa dos Patos, uma das maiores do mundo (LOURENÇO, 1989).

A segunda empresa aérea genuinamente brasileira foi a Viação Aérea São Paulo, a VASP, criada por empresários paulistas, originários do setor metalúrgico, em 1933. As atividades iniciais da VASP restringiam-se às operações no interior do Estado de São Paulo. Em 1936, a VASP estabeleceu vôos regulares com o Rio de Janeiro. Era o início de operações no trecho que posteriormente ficou conhecido como ponte aérea Rio-São Paulo (SILVA, 1983).

1.1.5 – As intervenções federais na década de 1940

O Ministério da Aeronáutica, criado em 1941, com o objetivo de organizar a Força Aérea Brasileira, absorveu e fundiu o Correio Aéreo Naval (CAN) e o Correio Aéreo Militar (CAM), criando o Correio Aéreo Nacional (CAN). O novo Ministério absorveu, também, o Departamento de Aviação Civil (DAC), órgão responsável pelas atividades aéreas comerciais, que havia sido organizado em maio de 1936, durante o 1º Governo de Getúlio Vargas, subordinado ao Ministério da Viação e Obras Públicas (CASTRO, 1983).

A incorporação do DAC pelo Ministério da Aeronáutica foi acompanhada de mudanças nas diretrizes da política para o setor de transportes aéreos comerciais. O fato notório foi a nacionalização das subsidiárias das companhias aéreas internacionais,

melhoramentos citados) podiam, de fato, tornar mais viável (sob a perspectiva de mercado, em especial) o transporte aéreo regular de passageiros (MONDEY, 1973; CHANT, 1975).

responsáveis por grande parte das atividades na década de 1930. Em 1942, por exemplo, a PANAIR do Brasil S.A. passou a contar com a participação acionária de brasileiros e, em 1946, foi reduzida para 48% a participação da Pan American Airways na empresa (AIRWAYS, 2001).

De certa forma, pode-se dizer que esse processo de nacionalização das companhias aéreas, iniciado na década de 1930, guarda relação com a política nacionalista conduzida por Getúlio Vargas.

O Governo Federal, em 1943, incorporou as atividades do Sindicato Condor, empresa subsidiária da companhia alemã Lufthansa e fundou a Cruzeiro do Sul. Essa companhia passou a ser gerenciada pelo Banco do Brasil e foi reestruturada com o apoio das empresas norte-americanas United Airlines e American Airlines.

1.1.6 – Diretrizes ditadas pela Convenção de Chicago

Realizada em 1944, a Convenção de Chicago estabeleceu as normas para a organização dos transportes aéreos internacionais a partir do final da Segunda Guerra Mundial que substituíram os acordos que eram celebrados de forma direta entre as companhias e os governos até o final da década de 30. O transporte aéreo atingira então um porte tal que normas internacionais se faziam necessárias.

Uma importante diretriz, fruto dessa convenção, foi a concessão das rotas internacionais que passou a ser realizada através do sistema de acordos bilaterais entre os países. Ou seja, as operações aéreas entre países passaram a depender de acordos entre dois governos nacionais. Com isso, as autoridades aeronáuticas passaram a ser responsáveis pela designação das empresas operadoras das linhas (ou ligações) internacionais.

De forma resumida, os acordos bilaterais determinavam as localidades a serem servidas, a oferta total dos serviços, o regime tarifário e as empresas aéreas autorizadas pelos dois governos a operarem as ligações internacionais entre ambos. Assim, a princípio, buscava-se fazer com que houvesse o mesmo número de frequências¹³ para as empresas aéreas dos países signatários. Por exemplo, se um acordo bilateral entre Brasil e Argentina

¹³ Uma frequência no jargão do transporte aéreo significa um vôo completo, ou seja, decolagem, vôo em altitude ideal (a mais adequada ao percurso, admitindo-se pouca variação) e aterrissagem.

garantissem a existência de vinte frequências semanais entre ambos os países, em tese¹⁴, buscar-se-ia fazer com que a metade dessas frequências fosse operada por companhias brasileiras e a outra metade por companhias argentinas.

A grande contribuição da Convenção de Chicago para a aviação mundial foi a criação da Organização Internacional da Aviação Civil (mais conhecida pela junção das iniciais em inglês, ICAO), vinculada à Organização das Nações Unidas (ONU). Atualmente, a ICAO é um dos organismos internacionais que mais estimula pesquisas relacionadas a impactos ambientais devidos ao setor aéreo.

1.1.7 – Evolução no período pós-guerra

A partir do final da Segunda Grande Guerra, em 1945, uma vasta quantidade de novas empresas aéreas foi organizada em vários países do mundo. Tal expansão relaciona-se a grande quantidade de pilotos militares desmobilizados, e pelo baixo custo para aquisição dos aviões de guerra que, mediante algumas modificações não-estruturais, podiam ser empregados na aviação comercial (CHANT, 1975).

O rápido e crescente aumento do número de empresas criadas gerou o estabelecimento de novas rotas aéreas e o aumento das frequências das linhas já estabelecidas. O contexto então estabelecido propiciou um cenário de forte competitividade, causando a falência de várias companhias aéreas e, conseqüentemente, em curto prazo, desaquecimento do incipiente mercado (CHANT, 1975). Nessa ocasião, a partir da fusão entre várias companhias privadas que enfrentavam dificuldades financeiras, foram organizadas a maioria das empresas aéreas estatais da América Latina e da Europa (DAVIES, 1984).

Sob este contexto, destacou-se, no Brasil, a incorporação da Aerovias, primeira companhia brasileira a operar rotas para os Estados Unidos, pela Companhia Real, em

¹⁴ A reciprocidade deve ser entendida muito mais como um direito nato, do que como um dever. Assim, em determinado acordo bilateral, não é incomum que um país opere menos (ou bem menos) frequências aéreas do que lhe é permitido. Na verdade, com o avanço da estruturação do setor aéreo mundial, as “leis de mercado”, tal como o simplificado entendimento de que um aumento na demanda implica em aumento na oferta, tornaram-se mais influentes na definição do número de frequências entre os países do que os próprios acordos bilaterais.

1954. Posteriormente, a própria Real foi absorvida, em 1961, pela VARIG (CASTRO, 1983).

Três grandes companhias aéreas brasileiras da época – VARIG, Cruzeiro e VASP – firmaram um inédito acordo para operação conjunta do trecho Rio – São Paulo em 1959, que deu origem à Ponte-Aérea. O objetivo do acordo era racionalizar a oferta de vôos, buscando evitar uma eventual contraproducente competição exacerbada¹⁵ (CASTRO e LAMY, 1993).

A PANAIR, maior companhia aérea brasileira da década de 1950, foi dissolvida em fevereiro de 1965. Uma das razões que gerou tal dissolução foram as disputas entre seus principais acionistas, os banqueiros Walter Moreira Sales e Mário Simonsen (CASTRO e LAMY, 1993). A empresa foi estruturada em 1930 como subsidiária da Pan American Airways, sendo que desde 1942 seu processo de nacionalização havia sido iniciado. Com o fim da PANAIR, a VARIG assumiu as rotas internacionais da empresa, e a Cruzeiro as rotas domésticas. Deste modo, a VARIG tornou-se, em 1965, a única companhia doméstica a operar rotas internacionais de longo curso.

Cabe observar, portanto, o estreito vínculo entre o desenvolvimento da aviação e as duas grandes guerras mundiais ocorridas ao longo do século XX. Enquanto a Primeira Grande Guerra (1914-1917), constitui-se em força-motriz indispensável para o desenvolvimento “embrionário” da aviação; a Segunda Grande Guerra (1939-1945), foi fundamental para consolidar (e alavancar) o uso do avião, como meio de transporte (e não somente para fins militares).

1.1.8 – A crise na década de 1960 e a aviação a jato

Na década de 60, a aviação comercial brasileira alcançava uma crise econômica de graves proporções, causada por diversos fatores, tais como: a baixa rentabilidade do transporte aéreo provocada pela concorrência predatória; a necessidade de novos investimentos para a renovação da frota, visando a substituição das aeronaves do pós-

¹⁵ A evolução recente do setor no Brasil demonstra que aumento de competição entre as empresas aéreas implica, em geral, em inúmeros benefícios para os passageiros, tais como redução no custo do bilhete aéreo, redução dos tempos de espera nos aeroportos e aumento no número de destinos ou linhas disponíveis. Já em 1959, poder-se-ia prever que os principais beneficiados pelo estabelecimento da Ponte Aérea Rio de Janeiro – São Paulo seriam as próprias empresas aéreas.

guerra, cuja manutenção tornava-se difícil e morosa prejudicando, assim, a regularidade do serviço; as alterações na política econômica do país que retirou das empresas aéreas o benefício do uso do dólar preferencial para as importações, etc.

Para escaparem da crise e poderem sobreviver, as empresas aéreas, juntamente com o governo, reuniram-se para estudar uma mudança na política então reinante, de forma a garantir a continuidade dos serviços de transporte aéreo, mesmo que, caso necessário, o número de empresas tivesse que ser reduzido e o governo tivesse que exercer um controle mais rígido sobre elas.

Três dessas reuniões, denominadas Conferências Nacionais de Aviação Comercial (CONACs) foram realizadas na década de 60. A 1ª em 1961, a 2ª em 1963 e a 3ª em 1968. As deliberações, conclusões e recomendações, a que se chegaram nessas conferências, conduziram a uma política de estímulo à fusão e associação de empresas, com o fim de reduzir o seu número a um máximo de duas na exploração do transporte internacional e três no transporte doméstico (DAC, 2003a). Iniciava-se o regime de competição controlada em que o governo passou a intervir marcadamente nas decisões administrativas das empresas, seja na escolha de linhas, no reequipamento da frota, no estabelecimento do valor das passagens, etc.

Nos anos 60, foram adquiridos os primeiros aviões turbo-hélice e jatos¹⁶ da aviação civil brasileira. Iniciou-se, assim, uma segunda fase da evolução da política governamental para o setor da aviação civil, que se estendeu até a década de 80.

Desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia de propulsão a jato foi consolidada com a construção e início de operações do Havilland Comet, do Sud-Aviation Caravelle, do Douglas DC-8 e do Boeing 707, todos ainda durante a década de 1950. Pode-se dizer que os aviões a jato revolucionaram o transporte aéreo comercial ao promover o aumento de escala das atividades e a redução dos custos de operação, o que possibilitou a diminuição de preços dos serviços e a expansão do mercado (CHANT, 1975)¹⁷. Em 1959, a Varig tornou-se a primeira companhia brasileira a operar um modelo de jato, na rota Rio de Janeiro – Nova York.

¹⁶ O ANEXO A deste Trabalho discorre sobre os tipos de motores empregados nas aeronaves.

¹⁷ Em 1960, no início da “Era do Jato”, as companhias de aviação transportaram cerca de 75.000 x 10⁶ passageiros-milhas (onde uma milha = 1.609 km). Já em 1970, quando os aviões a jato haviam substituído os

A introdução de aviões a jato na aviação comercial brasileira não trouxe somente aspectos positivos: foi, também, responsável pela queda do número de cidades atendidas por linhas aéreas, gerando a necessidade de uma nova reorganização do setor.

A maioria das atividades aéreas no Brasil até fins dos anos 50 era realizada em regiões com precária infra-estrutura de transportes terrestres. As rotas da época tinham um caráter intrinsecamente regional ou de pequeno curso, com baixa densidade de tráfego (poucos passageiros) e operações em aeroportos extremamente simples. Observa-se, então, o quanto este contexto teve de ser modificado com a introdução dos aviões a jato. Logo de princípio, por exemplo, as rotas regionais foram deixadas de lado, pois as empresas passaram a concentrar suas operações nos trechos de médio e longo curso, que possuíam uma demanda de tráfego compatível com a capacidade dos aviões. Além disso, a quase totalidade dos aeroportos regionais também não dispunha de infra-estrutura aeroportuária adequada para os aviões a jato, como equipamentos de auxílio ao pouso com instrumentos e pistas de pouso pavimentadas.

Destarte, a introdução dos aviões a jato no Brasil popularizou o uso do transporte aéreo. Por outro lado, num primeiro momento, a aviação nacional perdeu uma boa parte do seu tradicional caráter de integração regional. Começaram também os primeiros problemas ambientais de maior impacto, como os elevados ruídos dos aviões Douglas DC-8, DC-9 e Boeing 707. A questão do ruído ainda não possuía qualquer tipo de regulamentação e as emissões de poluentes eram praticamente ignoradas. O importante na época era o “barulhão” dos grandes jatos. A novidade era tanta que, no Rio de Janeiro do início dos anos 60, tornou-se comum, e até um certo modismo, as famílias se posicionarem o mais próximo possível do Aeroporto Santos Dumont para ouvirem o “ronco dos motores”, como se dizia à época (LUCCHESI, 2001). Era, então, sinal de modernidade e alta tecnologia. Além do que, o meio ambiente atmosférico não apresentava o menor sinal de saturação.

aviões de propulsão a hélice na maioria dos países do mundo, transportou-se via aérea cerca de 300.000×10^6 passageiros-milhas (BOEING, 1997).

1.1.9 – A aviação brasileira ao longo das três últimas décadas do século XX

Com a introdução de aeronaves mais modernas, e de maior porte, as empresas viram-se forçadas a modificar a sua rede de linhas aéreas, optando por servir apenas as cidades de maior expressão econômica, cujo mercado viabilizasse a prestação do serviço com o uso de aeronaves deste tipo. As pequenas cidades do interior dotadas, normalmente, de um aeroporto precariamente equipado, cuja pista, em geral, não era pavimentada e que no passado eram servidas por aeronaves de pequeno porte, passaram simplesmente a não mais dispor do serviço. Assim é que, de um total de 355 cidades servidas por linhas aéreas em 1958, somente 92 continuavam a dispor do serviço em 1975 (CASTRO e LAMY, 1993).

Atento ao problema, o Ministério da Aeronáutica, através do Decreto nº 76.590, de 11 de novembro de 1975, decidiu criar uma nova modalidade de empresa aérea, a empresa regional, para atender as cidades interioranas. Estava criado o SITAR (Sistema Integrado de Transporte Aéreo Regional).

No entanto, em conformidade com a política em vigor, de competição estritamente controlada (ou seja, sem concorrência direta), poucas empresas foram criadas devendo, cada uma delas, atuar dentro de uma determinada região, em regime de monopólio. Assim, para operarem nas cinco regiões em que se dividiu o território nacional, surgiram em 1976, as empresas NORDESTE¹⁸, RIO-SUL¹⁹, TABA²⁰, TAM²¹ e VOTEC²² (DAC, 2003a).

O novo sistema de transporte regional teve, também, como objetivo viabilizar a utilização, em maior escala, do avião de passageiros modelo Bandeirante²³, lançado em 1972 pela EMBRAER²⁴, e que estava tendo grande aceitação para uso na aviação regional nos Estados Unidos.

¹⁸ Área de atuação: estados da região Nordeste, parte do Espírito Santo e grande parte de Minas Gerais.

¹⁹ Área de atuação: estados do Sul, parte do Espírito Santo, faixa litorânea de São Paulo.

²⁰ Área de atuação: estados da região Norte e norte do Mato-Grosso.

²¹ Área de atuação: Mato-Grosso do Sul, sul do Mato-Grosso e São Paulo.

²² Área de atuação: estados de Tocantins, Goiás, Distrito Federal e partes do Pará, Minas Gerais e Mato-Grosso.

²³ O Bandeirante, uma aeronave com capacidade para cerca de 22 passageiros, foi um grande sucesso de vendas da EMBRAER. Essa aeronave tornou a referida empresa respeitada mundialmente em termos tecnológicos e comerciais.

²⁴ EMBRAER = Empresa Brasileira de Aeronáutica.

Ao longo da década de 80, e mais especificamente, ao seu final, uma nova ordem política, econômica e social começou a se instalar, de uma maneira global, em quase todos os países do mundo. A marca mais importante da implantação dessa nova ordem foi, provavelmente, a derrubada do muro de Berlim, em novembro de 1989, que iniciou o esfacelamento da antiga União Soviética.

Essas mudanças político-filosóficas, marcadas pela predominância de processos de desregulamentação (baseados em doutrinas econômicas neoclássicas), levaram os governos, de uma maneira geral, a reduzirem o seu controle sobre a economia, permitindo que a mesma fosse conduzida pelas livres forças de mercado.

Especificamente, no caso do setor de transporte aéreo, tais mudanças, na verdade, iniciaram-se nos anos 70. Na segunda metade da década de 70 já se encontrava em estágio avançado o processo de desregulamentação do setor aéreo do país responsável pela maior movimentação aeroportuária do mundo, os EUA. De fato, em Outubro de 1978 o então presidente Jimmy Carter assina o *Airline Deregulation Act*, promovendo a desregulamentação político-econômica do transporte aéreo doméstico nos EUA. Cabe ressaltar que a lógica do processo de desregulamentação ocorrido nos EUA, baseada em aumento de competição entre as empresas aéreas gerando aumento de demanda e redução de custos (do bilhete aéreo, em especial), acabou por estimular (e de certa forma, inspirar), em nível mundial, do setor de transporte aéreo.

Embora em 1986 tivessem sido realizadas a IV CONAC, sem trazer nenhuma modificação substancial à política vigente, também no Brasil mudanças começaram a ser introduzidas, sob a influência daquele pensamento. O governo, gradualmente, a partir de então, passou a abandonar o regime de indexação da economia e de fixação de preços. Nesse contexto, em março de 1990, por determinação do então Presidente Fernando Collor de Melo, é promulgado o Decreto-Lei nº 99.179, orientando para que nos mais diversos setores da economia, os preços fossem regidos pela “regra de livre mercado”. Com base nessa política abandonou-se o regime de fixação do preço das passagens aéreas, substituindo-o pelo estabelecimento de uma faixa de variação do preço em torno de um valor fixado pelo DAC, correspondente à tarifa básica. Foi o início da 3ª fase da evolução da política para o transporte aéreo brasileiro.

Buscando aprimorar essa política e torná-la ainda mais consentânea com a do Governo Federal, o Ministério da Aeronáutica fez realizar, em novembro de 1991, a V Conferência Nacional de Aviação Comercial (V CONAC), com a participação de todos os segmentos da indústria do transporte aéreo, visando definir claramente uma política sintonizada com as tendências liberalizantes observadas em diversos países do mundo.

Com base nos resultados dessa Conferência, o então Ministério da Aeronáutica estabeleceu diretrizes para orientar a ação do DAC, no sentido de proceder a uma redução gradual e progressiva da regulamentação existente.

Em consequência dessa nova política e das diretrizes dela decorrentes, foi implementado o sistema de liberação monitorada das tarifas aéreas domésticas; foi aberto o mercado doméstico para a entrada de novas empresas, tanto de transporte regular quanto de transporte não regular, incluindo regionais e cargueiras, as quais passaram de 17, em 1991, para um total de 42, em 2002 (DAC, 2003b); foi suprimida a delimitação de áreas para exploração do transporte regional e a exclusividade desfrutada, dentro das mesmas, por algumas empresas; flexibilizaram-se os parâmetros para a concessão de linhas; foram designadas novas empresas nacionais para explorar o transporte aéreo internacional; e, foi admitido a criação e o licenciamento de um novo tipo de empresas, destinadas à exploração do transporte aéreo não regular de cargas e passageiros, na modalidade “charter”. Em decorrência de todas essas medidas, registrou-se expressivo aumento na oferta ao usuário que atingiu, em 2002, $47.013.166 \times 10^3$ assentos-quilômetros, em âmbito doméstico, e $30.811.016 \times 10^3$ assentos-quilômetros, em âmbito internacional (DAC, 2002).

A nova modalidade de serviço aéreo, não regular, introduzido pelo DAC em 1989 e aceita pela V CONAC em 1991, foi, juntamente com a introdução das bandas tarifárias, um dos passos mais importantes em direção à flexibilização da regulamentação do transporte aéreo. Em 1990, seis empresas passaram a explorar o transporte aéreo não regular. Em 1995, esse número chegou a 23 (DAC, 2002). Entretanto, em 1999, somente 19 delas continuavam registradas e autorizadas a funcionar (DAC, 2002).

A abertura para a exploração dessa nova modalidade de serviço despertou o interesse de inúmeros empresários com capital disponível e que procuravam um setor onde pudessem investir e obter um retorno satisfatório.

Verificou-se, porém, que o mercado disponível para exploração desse novo serviço foi superestimado e não comportou tanta oferta e hoje (2003), das 19 empresas existentes, apenas 8 continuam operando satisfatoriamente, com alguma margem de lucro. As outras 11 atuam precariamente e caminham a passos largos para possíveis processos de falência (SNEA, 2003).

1.2 – Os Processos de Regulamentação e Desregulamentação

1.2.1 – A regulamentação da aviação nacional

Instituído em julho de 1925, o primeiro regulamento sobre o transporte aéreo no Brasil estabeleceu que as atividades aéreas civis estariam submetidas ao Ministério de Viação e Obras Públicas. Em maio de 1931, foi organizado, no âmbito desse Ministério, o Departamento de Aviação Civil (DAC), conforme mencionado anteriormente. Deste modo, o DAC passou a concentrar a regulamentação do setor aéreo brasileiro.

O Ministério da Aeronáutica, criado em 1941 com o intuito de organizar a força aérea militar, acabou por absorver o DAC. Assim, a aviação civil no Brasil é, desde 1941, administrada por militares, situação incomum para a maioria dos países do globo²⁵.

Desde 1997 vem sendo discutida pelo governo a possibilidade de transferência do DAC para um órgão civil. Entretanto, atualmente (2003), ainda não foram estabelecidas as funções deste novo órgão (que deve se chamar ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil).

Fato é que, atualmente, o DAC, continua a ser o mais importante agente do setor de transportes aéreos comerciais, sendo responsável pela concessão das rotas domésticas e internacionais; pelo controle tarifário; pela fiscalização das empresas; e pela definição do número de frequências, entre diversas outras atribuições.

Reunindo as normas e os procedimentos básicos que regulamentam as atividades de transportes aéreos no Brasil, o Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) está em vigor desde dezembro de 1986. Esse código regulador foi elaborado com o objetivo de estimular

²⁵ Na América Latina, apenas na Bolívia, no Paraguai e no Brasil, o transporte aéreo está subordinado às forças armadas.

a integração regional, princípio que direciona a política do setor desde meados da década de 60. A possibilidade de elaboração de um novo código aeronáutico, em substituição ao CBA, vem sendo avaliada desde 1997 pelo agora Comando da Aeronáutica (ex-Ministério desde 1999). O objetivo é adequar a legislação às novas diretrizes da política do setor, de acordo com o princípio da competição. Até o momento (2003) este novo código ainda não entrou em vigor.

A legislação relativa a transporte aéreo é complementada pelas inúmeras portarias intra e interministeriais, tratados, convenções e atos internacionais. Destaca-se, nesse contexto, o Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e os Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáuticos (RBHA). Os RBHA reúnem os procedimentos, as normas e requisitos para as atividades dos aeronautas, empresas aéreas, oficinas de manutenção e reparos, etc. Tais normas foram elaboradas com base na regulamentação norte-americana, que é, sem dúvida, bastante abrangente e eficaz. Já o RAB, por sua vez, reúne os registros dos aviões, a relação de todos os seguros das aeronaves e os contratos de arrendamento.

De acordo com o Código Brasileiro de Aeronáutica, as empresas aéreas de bandeira brasileira devem ser administradas e controladas por brasileiros. Tratando-se de sociedades anônimas, as ações com direito a voto deverão ser normativas. Tais companhias também não podem sofrer processo de concordata ou falência, como outras companhias prestadoras de serviços, pois seus serviços são considerados de utilidade pública. No caso de desequilíbrios financeiros, as empresas podem vir a sofrer intervenção do então Ministério da Aeronáutica, como ocorreu com a Vasp nos anos 90.

De acordo com o Código Brasileiro de Aeronáutica (Artigo 181), apenas até 20% do capital votante das companhias nacionais podem estar sob controle do capital estrangeiro.

1.2.2 – O recente processo de desregulamentação

A desregulamentação dos transportes aéreos no Brasil foi adotada como meta política a partir da V Conferência Nacional de Aviação Civil (V CONAC), realizada em 1992. A CONAC é um foro onde são estabelecidos os princípios gerais da política para os transportes aéreos e conta com a participação dos principais agentes do setor, como o então Ministério da Aeronáutica (hoje Comando da Aeronáutica; incluindo DAC, DECEA [ex-

DEPV]), a INFRAERO²⁶ e as companhias aéreas. Na V CONAC, o Ministério assumiu o compromisso de estimular a competição no setor e fomentar a organização de novas empresas. Assim, a integração do território nacional deixou de ser o objetivo maior da política executada pelo DAC (CASTRO e LAMY, 1993).

Os pontos marcantes da flexibilização do setor, no Brasil, foram o fim das restrições territoriais e das restrições em aeroportos para as companhias nacionais e regionais, em 1991 e o processo de liberação total das tarifas domésticas, em abril de 2001. É possível destacar, também, a política de “multidesignação”, que estimulou o aumento da competição entre as companhias nacionais pondo fim ao monopólio da VARIG na operação das rotas internacionais. Apesar disso, a VARIG continua tendo forte domínio com relação a destinos no exterior, fruto da estruturação prévia da empresa para tal nicho de mercado.

Com o fim das restrições territoriais, a partir da V CONAC, as empresas regionais passaram a diversificar as suas rotas, oferecendo alternativas às empresas nacionais. Assim, houve uma notável expansão na oferta de linhas aéreas e um aumento da concorrência nas rotas, que passaram a ser operadas pelas companhias nacionais e regionais. O resultado foi um forte crescimento das atividades das companhias regionais. De acordo com o DAC, o número de passageiros-quilômetros²⁷ transportados referente à aviação regional no Brasil cresceu de 687 milhões, em 1992, para cerca de 4 bilhões, em 1996, o equivalente a um incremento de 582%, percentual acima de qualquer nível de crescimento de outros modais brasileiros de transporte, no período em questão (DAC, 2002).

Outro motivo que propiciou consolidar o crescimento das companhias regionais foi a garantia pelo DAC, em 1986, das empresas regionais terem assegurado o direito de operarem os Vôos Diretos ao Centro (VDC) com exclusividade.

Os Vôos Diretos ao Centro interligam, sem escalas, os aeroportos de Congonhas (SP), Santos Dumont (RJ), Pampulha (MG) e Brasília (DF), que estão entre os principais aeroportos brasileiros. Tais aeroportos são também conhecidos como aeroportos executivos ou centrais, devido ao grande volume de viagens de negócios que movimentam.

²⁶ A INFRAERO, Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária, foi criada em 1973. Sua função principal é administrar e supervisionar o funcionamento de 65 dos mais importantes aeroportos brasileiros.

²⁷ O conceito de passageiros-quilômetros (pax-km) transportados assim como o de toneladas-quilômetros (ton-km) transportadas é analisado, com mais detalhes, no item 1.4.7 e no Capítulo IV deste Trabalho.

As grandes beneficiárias desta medida foram a Rio-Sul e a TAM, responsáveis pelas principais rotas aéreas executivas. Entretanto, devido a forte reação das companhias nacionais, como a Vasp e a TransBrasil, o direito de operação nos aeroportos executivos foi estendido, em 1998, para todas as companhias aéreas nacionais que operavam vôos regulares domésticos por mais de dois anos. A queixa das companhias nacionais era compreensível, tendo em vista ser o segmento de viagens de negócios o mais rentável e o mais importante componente da demanda por aviação no Brasil.

A expansão da oferta, com a entrada de novas empresas foi acompanhada de uma série de inéditos descontos e promoções, que originou uma notável disputa entre as companhias. O maior beneficiado foi o consumidor que pôde ter maior acessibilidade na utilização do avião como meio de transporte.

Outros elementos característicos do processo de desregulamentação foram:

- Incentivo ao Turismo – o aporte de capital tem sido crescente e cabe ressaltar a atuação da Empresa Brasileira de Turismo (EMBRATUR) nesse sentido. A atuação da EMBRATUR tem se fundamentado em estimular companhias aéreas para que haja um aumento na oferta de vôos, caracteristicamente turísticos;
- Flexibilização das Tarifas Domésticas – desde 1992, o DAC deixou de determinar o valor das tarifas e passou a estabelecer um preço básico utilizado como referência pelas empresas. Assim, o preço das passagens aéreas passou a sofrer maior influência dos agentes de mercado.

A partir de 1994, as tarifas aéreas básicas definidas pelo DAC deixaram de ser atualizadas com base na variação da planilha de custos e passaram a ser reajustadas anualmente a partir de índices gerais de preços. Em dezembro de 1997, as margens de desconto foram ampliadas de 50% para 65% em relação à tarifa básica e foi aberta a possibilidade para descontos ainda maiores, mediante solicitação da companhia aérea do DAC, com antecedência mínima de 48 horas (DAC, 2003a). Proibiu-se também em dezembro de 1997, preços acima da tarifa básica. A introdução de tarifas com descontos superiores a 65% exigiu a atuação do DAC no sentido de coibir uma possível política predatória de preços entre as empresas (DAC, 2003).

Associada ao aumento da oferta de linhas aéreas, a flexibilização das tarifas, tem estimulado a competição de preços entre as companhias, em especial nos casos de Vãos Diretos ao Centro (VDC).

- Descontos em Tarifas Internacionais – para determinação do valor das tarifas internacionais, o DAC utiliza os valores indicados pela Associação Internacional das Empresas Aéreas (IATA) que, por sua vez, calcula essas tarifas a partir das distâncias médias das rotas aéreas e dos custos médios dos serviços internacionais (IATA, 2001). Na baixa temporada, são admitidos descontos de até 20% da tarifa sugerida pela IATA e, na alta temporada, os descontos são limitados a 10% (DAC, 2003c). Em verdade, os preços das tarifas internacionais poderiam diminuir consideravelmente caso não existisse essa restrição, especialmente nas rotas onde a competição é acirrada, como para a Argentina ou Estados Unidos. Entretanto, esse controle internacional acaba por atuar como fator de proteção às empresas aéreas brasileiras que operam vôos internacionais contra a competição predatória das *megacarries*²⁸;

1.3 – Desempenho Recente

1.3.1 – Influência do Plano Real

A implementação do Plano Real, em julho de 1994, foi força-motriz para uma forte expansão da demanda pelos transportes aéreos de passageiros e cargas. Isso ocorreu, basicamente, devido ao aumento das importações e do turismo.

Conseqüência do Plano Real, a estabilização da economia propiciou maiores prazos de financiamento das passagens aéreas e dos pacotes turísticos, o que gerou um notável aumento na quantidade de passageiros transportados. Em 1994, as companhias aéreas brasileiras transportaram 18,87 milhões de passageiros, 14,71% a mais do que em 1993 (GEIPOT, 2000).

²⁸ *Megacarriers* é como são conhecidas no mercado as grandes companhias do segmento internacional, tais como a United Airlines e a British Airways.

O Plano Real impulsionou, também, o segmento de cargas, pois por conta do plano de estabilização monetária, ocorreu diminuição das tarifas de importações e valorização da moeda (o real) em relação ao dólar. Esse contexto levou a um efetivo aumento das importações brasileiras. Em 1994 foram desembarcadas 166,73 mil toneladas de cargas internacionais nos aeroportos brasileiros, 38,87% a mais que em 1993 (GEIPOT, 2000).

Em 1995, devido ao rápido crescimento do volume de passageiros e cargas transportados, houve congestionamento dos mais importantes aeroportos do Brasil. Isso continuou ocorrendo mesmo após o governo ter adotado medidas para restringir o volume de importações no segundo semestre de 1995, como a elevação das taxas de juros e das alíquotas do imposto de importação de alguns produtos. Em 1995, as companhias aéreas transportaram 39,36 bilhões de pax-km, 10,4% a mais do que em 1994 (GEIPOT, 2000).

A quantidade de cargas transportadas aumentou de 5,04 bilhões de ton-km, em 1994, para 5,41 bilhões de ton-km, em 1995, um crescimento de 7,27% (GEIPOT, 2000).

Especificamente no segmento de passageiros, o Plano Real gerou nos consumidores uma maior sensação de segurança. As famílias de classe média passaram a programar, sem os sustos da inflação, suas viagens turísticas. Assim, o Plano mudou o comportamento do consumidor e o perfil do consumo. Desafortunadamente, com o passar do tempo, os salários perderam poder de compra com a inflação verdadeira e o poder aquisitivo foi progressivamente sendo reduzido.

1.3.2 – A expansão e a diversificação da oferta

O número de embarques (número absoluto de passageiros transportados) sofreu ligeira queda em 1996. Nesse ano, foram realizados 21,24 milhões de embarques no Brasil, 1,24% a menos do que em 1995 (GEIPOT, 2000). Tal regressão guarda relação com limitações quanto ao prazo de financiamento das passagens.

A despeito da ligeira queda no número de embarques, a organização de novas rotas internacionais, o crescimento do número de frequências e as melhores condições de financiamento das passagens para o exterior e dos pacotes turísticos garantiram o aumento das viagens internacionais e o aumento total no número de passageiros-quilômetros (pax-km) transportados. Em 1996, foram transportados 40,63 bilhões de pax-km, 3,23% a mais

do que em 1995 (GEIPOT, 2000). No ano de 1997, registrou-se um crescimento de 10,64% em relação ao número de embarques auferido em 1996. Foram 2,26 milhões de passageiros transportados a mais em 1997(GEIPOT, 2000).

A criação de novas rotas, o aumento do número de freqüências e a redução nos preços das passagens decorrentes do aumento da competição no setor foram os fatores decisivos que propiciaram incremento da demanda em 1997. Essa demanda cresceu não só no segmento de passageiros. No setor de cargas, o total de ton-km transportadas, em 1996, foi de 5,54 bilhões, 2,54% maior que em 1995 (GEIPOT, 2000). Esse aumento, em parte, foi devido ao crescimento de 4,33% no total de ton-km transportadas pelo segmento internacional (GEIPOT, 2000).

Outro fator estimulador do transporte aéreo de cargas foi os investimentos das companhias aéreas na diversificação e modernização dos serviços de entregas expressas, como o “Hora Certa”, da Varig e o “Vaspex”, da Vasp (SNEA, 2003).

1.3.3 – Taxa de ocupação

A taxa de ocupação dos vôos regulares, ou nível de aproveitamento, refere-se à relação entre o número de passageiros-quilômetros transportados e a quantidade de assentos-quilômetros oferecidos. Quando se atinge um certo índice de aproveitamento a partir do qual as linhas são rentáveis, então se atingiu o chamado *break-even point* (ou ponto de equilíbrio). Esse índice varia conforme as características dos aviões utilizados (de pequeno, médio ou grande porte) e o perfil da rota operada (de pequeno, médio ou longo curso). De modo geral, as rotas são consideradas rentáveis quando o nível de aproveitamento (ou taxa de ocupação) está acima de 55% (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998).

A taxa de ocupação das rotas regulares no Brasil aumentou de 64% em 1988 para 66% em 1990 (GEIPOT, 2000). No entanto, em 1991, a expansão da oferta promovida principalmente pela VASP, logo após sua privatização, derrubou o nível de aproveitamento

do setor para 56%²⁹ (GEIPOT, 2000). No ano seguinte, a queda na demanda pelos serviços aéreos promoveu nova diminuição na ocupação, que chegou a 54% (GEIPOT, 2000).

A partir de 1994, devido à implementação pelo governo brasileiro de medidas para o atingimento da estabilização econômica e para o fim da inflação, o setor se recuperou, registrando crescentes aumentos no número de passageiros transportados pelos segmentos nacional, regional e internacional do transporte aéreo brasileiro. Assim, a taxa de ocupação aumentou de 55%, em 1993, para 62%, em 1997 (GEIPOT, 2000). Apesar do incremento observado, o nível de aproveitamento não superou o índice registrado em 1990. De 1997 a 2000 o setor aéreo brasileiro devido, basicamente, à crise financeira das grandes companhias aéreas, experimentou redução gradual na taxa de ocupação. A figura, a seguir, ilustra a evolução da taxa de ocupação do setor aéreo brasileiro, entre 1988 e 2000.

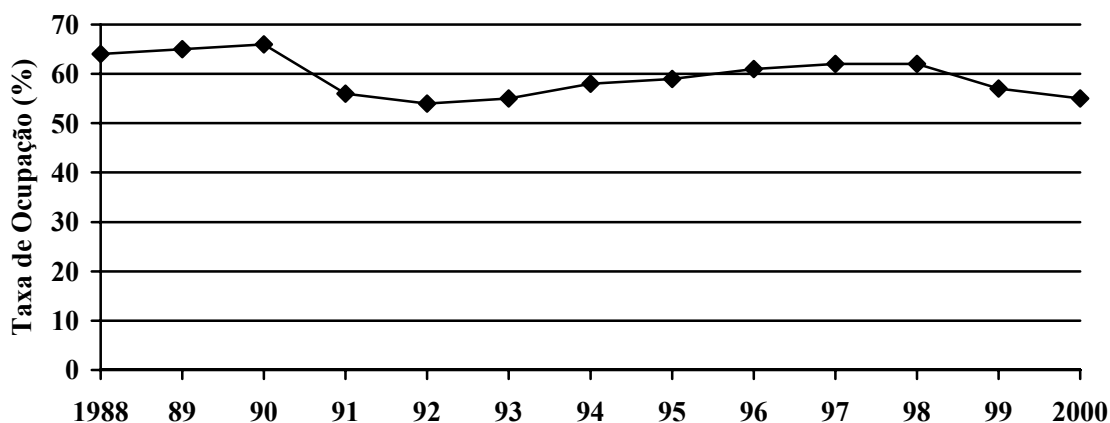


Figura 1.1: Evolução da taxa de ocupação (em percentual) do setor aéreo brasileiro. Período: 1988 a 2000

Fonte: GEIPOT, 2001.

1.3.4 – A crise das empresas aéreas brasileiras

As principais empresas aéreas brasileiras vivem uma grave crise financeira. A principal companhia operante no Brasil, a VARIG S.A., apenas no primeiro semestre de

²⁹ Há de considerar que a situação inversa também é válida, ou seja, em geral, uma redução na oferta de serviços aéreos (em especial, aumento na frequência dos vôos para determinado destino) implica em aumento na taxa de ocupação das aeronaves (COSTA, 2003).

2001 registrou um prejuízo da ordem de meio bilhão de reais (GAZETA MERCANTIL, 2002). Outra importante empresa, a TransBrasil, simplesmente parou de operar no início de dezembro de 2001.

O grande problema para a sobrevivência das empresas aéreas não só no Brasil como no mundo, são os custos fixos. Decole cheio ou vazio, um jato comercial exige da companhia praticamente o mesmo desembolso. Os custos fixos no Brasil chegam a 45% das despesas totais e quase todos são contratados em dólar (GAZETA MERCANTIL, 2002). Entre eles, estão a manutenção das aeronaves e o aluguel de aviões e turbinas, pagos mensalmente. A desvalorização do real frente ao dólar, de cerca de 20%, no período de janeiro a dezembro de 2001, gerou um súbito aumento nos custos fixos das empresas aéreas nacionais (SNEA, 2002). Para piorar, o custo do abastecimento do combustível foi catapultado após a desvalorização cambial, tendo em vista que os preços do querosene de aviação também são atrelados ao dólar (SNEA, 2003).

Parte da dívida das empresas aéreas brasileiras tem sua origem em impactos negativos gerados por planos econômicos passados como o Plano Cruzado de 1986. Especificamente no caso do Plano Cruzado, o Governo Federal impôs um congelamento no preço das tarifas aéreas em um ambiente excessivamente inflacionado. A receita operacional das empresas não conseguia mais se equilibrar (e muito menos superar) com os custos relativos a manutenção e o suprimento energético requeridos pelas aeronaves.

Os empresários do setor aéreo brasileiro consensuam em afirmar que os principais problemas econômicos enfrentados por suas empresas relacionam-se ao fato de haver no Brasil uma excessiva regulamentação histórica, imposta pelo Governo Federal ao setor aéreo.

Atribuir a totalidade dos problemas financeiros enfrentados pelas empresas aéreas brasileiras a questões como dificuldades de pagamento dos custos fixos em ambiente dolarizado, dívidas geradas por planos econômicos passados ou mesmo a excessiva regulamentação do setor é incorrer em análise simplista e equivocada. A má gestão tem sido, historicamente, um componente decisivo na geração e agravamento de crises do setor aéreo brasileiro.

1.3.5 – Influência dos atentados terroristas de 11 de setembro de 2001

A crise do setor de transporte aéreo de passageiros, em nível mundial, agravou-se, ainda mais, após os atentados³⁰ terroristas de 11 de setembro de 2001 às torres gêmeas do *World Trade Center* (WTC), em Nova York e ao Pentágono, em Washington D. C.. Os atentados, que causaram a morte de cerca de 3.500 pessoas (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002), acabaram por aumentar o medo de voar. Segundo pesquisas, cerca de 45% dos passageiros possuem algum nível de receio ao enfrentarem uma viagem aérea (FAA, 1983). Esse percentual deve ter subido notadamente em decorrência dos atentados de 11 de setembro, tendo em vista a queda de demanda que chegou a provocar uma redução da ordem de 50% dos assentos ocupados nos Estados Unidos³¹ (IATA, 2003).

Obviamente, o país mais afetado foi os Estados Unidos da América. O receio da população americana por um novo ataque terrorista sob as mesmas circunstâncias, ou seja, através de aeronaves comerciais de passageiros, induziu a uma forte retração do mercado aéreo. Tal retração ocorreu não só nos EUA como também no mundo devido à grande importância dessa nação no cenário da aviação mundial: os EUA são o país que recebe o maior número de vôos internacionais do mundo (GEIPOT, 2001). É também o principal país-origem para vôos internacionais (GEIPOT, 2001). Enfim, uma crise no setor aéreo americano, inevitavelmente, acaba por impactar negativamente o setor aéreo dos demais países do mundo.

Logo após os atentados, urge mencionar um importante fator “artificial” ao setor que acabou por atenuar pontualmente a crise do mercado aéreo norte-americano: o governo americano injetou cerca de 15 bilhões de dólares nas principais companhias aéreas do país como a American Airlines e a United Airlines³² (JORNAL DO BRASIL, 2002). Cabe

³⁰ Cerca de um ano antes dos atentados (desde o primeiro semestre de 2000), o setor aéreo mundial já vinha enfrentando uma crise financeira de considerável proporção. A maioria das grandes e tradicionais empresas aéreas norte-americanas (como a United Airlines) já se encontrava em nítida crise, quando da ocorrência dos atentados de 11 de setembro. Há de se considerar, nesse contexto, exagero por parte de algumas empresas aéreas norte-americanas ao atribuir grande parte da crise aos atentados ao WTC e ao Pentágono. Tal estratégia pode relacionar-se a uma tentativa de obtenção de uma maior “socorro governamental” (aporte de recursos econômicos) para a superação da crise pós-atentados (na verdade, a crise foi estabelecida uma década antes). Na verdade, o 11 de setembro, foi “apenas” a gota d’água para a crise.

³¹ A redução de 50% na quantidade de assentos ocupados nos EUA refere-se a uma comparação entre o mês de agosto de 2001 e o mês de setembro de 2001, quando ocorreram os atentados terroristas.

³² A injeção de recursos econômicos oferecidos pelo Governo dos EUA, após os atentados de 11 de setembro, às principais empresas aéreas deste país ocorre, basicamente, através das seguintes modalidades:

ressaltar, porém, que não se pode dizer que a crise tenha sido minimizada por este aporte emergencial de recursos governamentais. Na verdade, a crise continua em diversas empresas tradicionais (incumbentes) dos EUA.

Cabe mencionar, também, um outro fator - este de característica estrutural - relacionado à capacidade de o mercado aéreo norte-americano suportar uma intensificação da crise pré-existente, causada pelos atentados de 11 de setembro: a expansão do mercado de aviação regional nos EUA. Tal expansão, que já vinha ocorrendo desde o início da década de 1990, encontra suporte nos menores custos relativos a manutenção e operação das aeronaves típicas do setor aéreo regional, ou seja, aeronaves de pequeno e médio porte (até 70-80 lugares) (COSTA, 2003).

As tradicionais fabricantes de jatos executivos nos EUA, como a Learjet, Gulfstream e a Eclipse Aviation, experimentaram um notável aumento de cerca de 55% nas encomendas no mês seguinte aos atentados (IATA, 2003). Além disso, há outros indicadores que apontam para o aquecimento desse nicho de mercado do modal aéreo dos EUA. Uma pesquisa realizada pelo Air Charter Guide, um centro de informação sobre vôos particulares, mostrou que 80% das empresas de táxi aéreo consultadas registraram aumento de cerca de 40% no movimento de passageiros após os atentados (IATA, 2003).

Cabe ressaltar, que a expansão da aviação regional nos EUA, enquanto elemento de contenção aos impactos negativos ao setor aéreo deste país (causados pelos atentados), foi fator meramente pontual. Na verdade, tal expansão já vinha ocorrendo antes do atentados e nos 2-3 meses subseqüentes a este evento dramático, tornou-se mais acentuada. Fato é que este subsetor do mercado de aviação vem, de uma forma geral, se fortalecendo cada vez mais. Tanto é, que as aeronaves de médio porte (capazes de transportar 70-80 passageiros) tem respondido pelas maiores carteiras mundiais (em valores econômicos) de compra e venda de aeronaves (vide o sucesso de mercado das aeronaves da Embraer). Nesse contexto, intui-se que, em futuro de médio prazo (15-20 anos), aeronaves com capacidade de transportar de 70 a 110 passageiros, tornar-se-ão as mais solicitadas na aviação civil mundial (constituindo-se, assim, num possível futuro sucesso de vendas).

compensação pelo aumento de seguro e segurança; e compensação pela redução de demanda devido aos atentados (COSTA, 2003).

Em princípio, pode-se dizer que o próprio vigor da economia norte-americana impediu a ocorrência de uma crise de maiores proporções no setor aéreo dos EUA. Para o país em questão, parâmetros usuais de avaliação do transporte aéreo, tais como, pax-km ou ton-km transportados, registrados para o mês de janeiro de 2002 já foram maiores do que o mesmo mês do ano de 2001 (FAA, 2002). Ou seja, há indícios que induzem ao entendimento de que o setor aéreo dos EUA tenha superado os impactos negativos causados pelos atentados, e se encontra em processo de expansão.

No Brasil, os atentados de 11 de setembro induziram a uma forte retração do segmento de aviação internacional. De agosto de 2001 a setembro de 2001 houve queda na demanda (em termos de assentos ocupados) de mais de 55% para o referido segmento do setor aéreo brasileiro (DAC, 2002). Como se verá adiante, no Capítulo V deste Trabalho, detectou-se redução no consumo de querosene de aviação nos meses subsequentes aos atentados.

O contexto de crise vivenciado pelas companhias aéreas brasileiras se agravou ainda mais pela retração do segmento internacional, causada pelos atentados terroristas. E, diferentemente dos EUA, o governo brasileiro não injetou uma verba emergencial para minimizar os impactos gerados pelos atentados.

Analogamente ao que vem ocorrendo nos EUA, a expansão da aviação regional no Brasil também tem ajudado a mitigar os impactos negativos causados pelos atentados de 11 de setembro e pela própria crise previamente instalada. Desde a metade dos anos noventa, o setor de transporte aéreo regional no Brasil tem crescido a taxas superiores, em relação aos segmentos nacional e internacional (GEIPOT, 2001).

De acordo com dados do DAC, efetivamente, houve uma redução nos parâmetros passageiros-quilômetros transportados e ton-km transportadas registrados para a aviação nacional nos meses de setembro, outubro e novembro de 2001 em relação aos mesmos meses de 2000 (DAC, 2002). Tal redução foi de, no máximo 12% no caso de pass-km transportados e de 9% no caso de ton-km transportadas. Os meses de dezembro de 2001 e janeiro de 2002 já apresentavam valores para tais parâmetros superiores aos registrados para os meses de dezembro de 2000 e janeiro de 2001, respectivamente (DAC, 2002).

A despeito da crise das companhias aéreas e dos atentados terroristas de 11 de setembro de 2001, observa-se que a demanda por transporte aéreo no Brasil está em

processo de expansão. A crise não propiciou uma detectável retração na demanda e os atentados causaram somente uma redução pontual na demanda por aviação no Brasil. Mesmo no ano de 2001 quando ocorreram os atentados e o conseqüente agravamento da crise das companhias nacionais, registrou-se um consumo energético pelo setor aéreo superior ao detectado no ano de 2000, conforme analisado no Capítulo V deste Trabalho.

1.4 – Características Gerais

1.4.1 – Frota brasileira de aeronaves

Os aviões de médio e grande porte, no Brasil, são operados pelas companhias nacionais como VARIG, VASP³³, TAM e GOL responsáveis pela operação das linhas internacionais e/ou das rotas domésticas e, pelas grandes companhias regionais, como a Rio-Sul, a Nordeste e a TAM. Segundo dados do DAC, a frota brasileira de aviões comerciais com propulsão a jato no Brasil aumentou de 221 unidades, em 1990, para 427 unidades, em 2000, o equivalente a um expressivo incremento da ordem de 193,2% no período em questão (DAC, 2002).

A tabela, a seguir, apresenta a relação dos aviões comerciais a jato de pequeno, médio e grande portes, operados pelas empresas aéreas regulares brasileiras (ano base: 2000).

³³ Cabe ressaltar que, em 2003, a VASP parou de operar vôos internacionais regulares.

Tabela 1.1: Evolução da frota nacional de aviões comerciais (empresas aéreas brasileiras regulares): 1990–2002

Aeronave/Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
A300-B2/B4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
A310	–	–	–	–	–	–	–	1	2	2	–	–	–
A319	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12	6	13
A320	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6	21	31
A330	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	5	7	9
707-320C	4	3	2	2	2	2	–	–	–	–	–	–	–
727-100/100C	15	14	5	5	5	5	9	9	9	9	7	5	4
727-200/200C	–	–	–	–	–	–	2	4	6	6	2	6	4
737-200	39	43	36	34	36	38	43	38	40	35	35	35	32
737-300	36	54	39	39	38	35	33	40	47	49	46	55	41
737-400	3	7	4	4	4	5	5	6	7	4	1	5	4
737-500	–	–	–	4	4	7	10	14	17	17	19	20	18
737-700	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5	5	16	25
737-800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	6
747-200/300	8	9	9	11	8	8	6	5	5	5	–	–	–
747-400	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–	–	–
767-200/300	13	15	16	18	18	19	19	23	23	18	17	17	12
777-200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
ERJ-145	–	–	–	–	–	–	–	6	11	11	20	18	15
DC-8F	–	3	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
DC-10-30/-30F	12	15	12	10	10	10	10	10	10	3	2	3	3
MD-11	–	2	6	9	10	10	16	18	20	21	13	16	14
Fokker F100	2	4	9	14	17	20	28	30	39	39	39	50	48
ATR-42	–	–	–	1	1	3	3	7	10	10	11	14	14
Cessna Caravans	–	–	13	21	27	37	46	45	45	46	45	10	7
EMB-110	45	41	37	31	29	29	44	38	34	34	15	13	8
EMB-120	8	12	12	16	17	22	23	30	27	27	31	29	18
DH Dash-8	–	3	5	5	4	3	–	4	4	2	–	–	–
Fokker F27	19	12	12	8	9	8	8	6	6	6	2	3	3
Fairchild FA22	6	5	5	4	4	3	3	3	3	3	–	–	–
Fokker F50	–	–	2	6	6	16	19	19	15	15	17	10	–
Lockheed Electra II	14	14	12	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Total de Jatos	136	173	145	153	155	163	185	207	239	229	232	285	284
Total T-hélices	92	87	98	93	97	121	146	152	144	143	121	79	50
Total	228	260	243	246	252	284	331	359	383	372	353	364	334

Notas: Cessna Caravans inclui os Grand Caravans.

T-hélices = aeronaves turbo-hélice.

EMB-110 = Bandeirante.

EMB-120 = Brasília.

Fonte: Anuário Estatístico do DAC (2002).

Além dos cerca de 430 aviões comerciais com propulsão a jato em operação no Brasil (ano base 2000, incluindo aeronaves executivas, de empresas de táxi-aéreo, etc.), há de se considerar, sob o contexto energético e ambiental inerente a este Estudo, que circulam no Brasil um grande quantitativo de aeronaves com motores tipo turbo-hélice, aeronaves movidas a pistão e helicópteros. As duas próximas figuras apresentadas, a seguir, explicitam a evolução do quantitativo total para os referidos tipos de aeronaves.

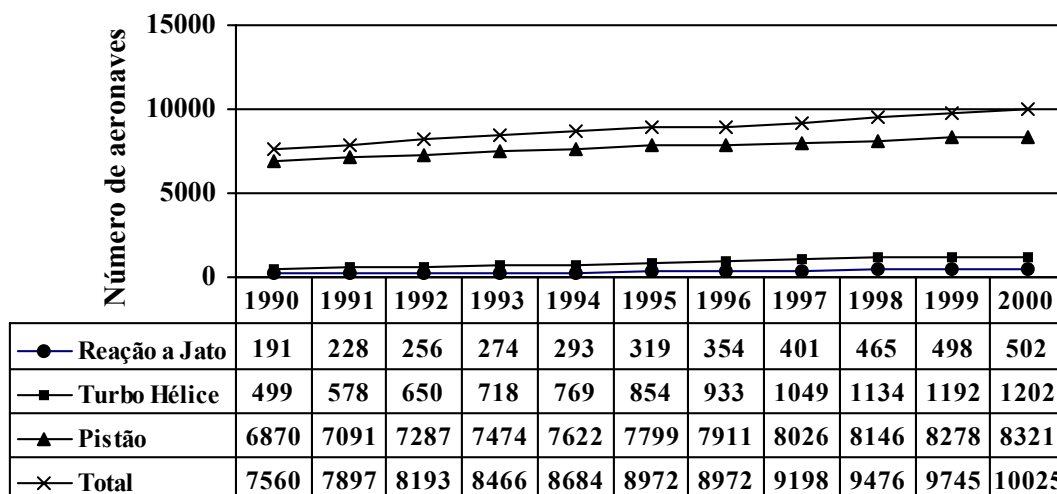


Figura 1.2: Evolução da quantidade de aviões operantes no Brasil por tipo de propulsão. Período: 1990 – 2000

Fonte: DAC, 2002.

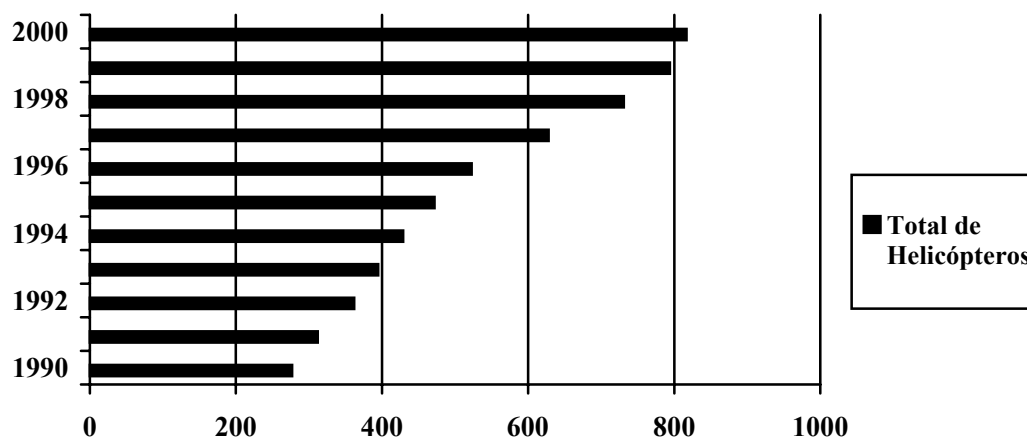


Figura 1.3: Evolução da quantidade de helicópteros operantes no Brasil. Período: 1990-2000

Fonte: DAC, 2002.

Pela Figura 1.2, observa-se que a frota total de aviões operantes no Brasil, de 1990 a 2000, cresceu cerca de 32%. Já a frota de helicópteros³⁴, no mesmo período, se expandiu em torno de 300% (ver Figura 1.3), denotando um dos cinco maiores crescimentos entre todos os países do mundo, para o período em análise. Destacando-se as aeronaves com propulsão a jato, observa-se que o crescimento quantitativo foi de cerca de 260%, no período de 1990 a 2000, o maior dentre todos países da América Latina e a maioria dos países industrializados (COMAER, 2002). Esse elevado nível de expansão, sob as óticas energética e ambiental é, sem dúvida, aspecto merecedor de atenção especial. Afinal, no Brasil, as aeronaves com propulsão a jato respondem por cerca de 90% (dato de 2000) (DAC, 2002) do consumo total da energia associado ao transporte aéreo brasileiro.

Comparando-se os dados da Figura 1.2 e da Tabela 1.1 observa-se que os valores para a quantidade de aviões comerciais com propulsão a jato são divergentes. Isto ocorre, pois as estatísticas elaboradas pelo DAC nos seus Anuários Estatísticos consideram unicamente aeronaves operadas por empresas regulares brasileiras.

Para que as aeronaves possam ser operadas nos serviços de transporte aéreo é necessária uma autorização, que é chamada de Certificado de Aeronavegabilidade. Esse documento é emitido considerando-se os serviços de manutenção realizados pelos aviões. O Comando da Aeronáutica estima que cerca de 10% das aeronaves existentes no Brasil não tenham condições de vôo satisfatórias (COMAER, 2002). Em geral, em tais aeronaves, as condições de segurança se reduzem e os níveis de poluentes emitidos aumentam. O DAC estima que 15% dos acidentes aéreos ocorram por conta do aproveitamento de peças ou imitações (DAC, 2002). Esse problema ocorre principalmente nas companhias menores, em razão dos custos elevados de aquisição de peças originais e das dificuldades eventuais em obtê-las.

Quanto mais antiga é a frota, maior é o custo de manutenção. As despesas em manutenção dos aviões com mais de 20 anos de uso, por exemplo, é cerca de três vezes maior que a dos aviões novos (BRETTAS, 2001). Estima-se que, no Brasil, esses custos correspondam à cerca de 3,2% dos custos totais de uma empresa aérea (DAC, 2002). A VARIG, em 1997, por exemplo, gastou cerca de US\$ 80 milhões em manutenção

³⁴ A cidade de São Paulo possui a terceira maior frota de helicópteros do mundo, com cerca de 390 aeronaves (ano base: 2002) (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2003). Apenas as cidades de Tóquio (530 helicópteros) e Nova York (482 helicópteros) possuem frota superior (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2003).

(BRETTAS, 2001). Algumas empresas, como a VARIG, mantêm oficinas próprias de manutenção; outras como a TAM, contratam os serviços de empresas especializadas em manutenção aeronáutica, como a GE Celma, localizada em Petrópolis (RJ), única oficina especializada nos serviços de turbinas da GE (General Electric) na América do Sul, a Pratt & Whitney, localizada em Sorocaba (SP) e o Centro de Manutenção de Aeronaves da TAM, em São Paulo.

1.4.2 – Vôos regulares e não-regulares no Brasil

O transporte aéreo comercial está organizado em dois segmentos: os transportes regulares e os não-regulares. Os regulares compreendem os serviços aéreos sistemáticos, que são organizados na forma de linhas aéreas e são operados pelas companhias aéreas. Esses serviços são operados em regime de concessão pública pelo prazo de 15 anos, com possibilidade de renovação (DAC, 2003a). Uma outra importante característica do segmento aéreo regional refere-se ao fato de os mesmos serem previstos em HOTRAN (Horário de Transporte) correspondente. Cerca de 85% das operações de transporte aéreos no Brasil é realizada pelas empresas regulares.

O transporte aéreo regular está organizado em: 1) serviços regionais, que reúnem as companhias que atuam exclusivamente no mercado doméstico, principalmente nas linhas de pequeno curso; e 2) transportes nacionais, responsáveis pelas operações domésticas de longo curso (interestaduais) e rotas internacionais. Em fevereiro de 1998, operavam no Brasil 21 companhias regulares de origem brasileira. Dessas companhias, 5 operavam no mercado nacional e 16 no segmento regional (GEIPOT, 2000).

As operações não-regulares referem-se ao conjunto das atividades de transportes aéreos realizados por meio de permissão ou autorização. Exemplos dessa modalidade são os vôos charter (aluguel), os fretamentos (geralmente por operadoras de turismo) e os serviços de táxi aéreo. Os vôos não regulares são operados por companhias aéreas especializadas ou pelas próprias empresas aéreas regulares, mediante demanda pelos serviços. Em 2000, essa modalidade de vôo foi responsável por 15% das operações com cargas e passageiros (GEIPOT, 2001). Entre as companhias não-regulares, havia três empresas cargueiras e uma voltada para as operações com passageiros (GEIPOT, 2001).

1.4.3 – Segmento doméstico regional

As linhas regionais compreendem as rotas domésticas de pequeno curso, que servem de afluência e são complementares às linhas aéreas nacionais. Tais rotas são, em geral, pouco movimentadas e ligam aeroportos de segunda e terceira categorias, que não podem receber aviões de médio e grande porte³⁵ (WIDMER, 1984).

As linhas regionais são extremamente úteis para a integração territorial em um país como o Brasil de dimensões continentais. Tais linhas, por vezes, contam com subsídios governamentais e esses subsídios são, em geral, proporcionais ao número de assentos-km oferecidos e ao de pax-km transportados (LOPES, 1998).

Em dezembro de 2000 existiam 14 companhias operando o transporte aéreo regional no Brasil. Eram elas: ABAETÉ, INTERBRASIL, NORDESTE, PANTANAL, PASSAREDO, PENTA, PRESIDENTE, RICO, RIO-SUL, TAF, TAM, TAVAJ, TOTAL e TRIP. No ano de 2000, essas empresas movimentaram 5,8 bilhões de pax-km (cerca de 14% do total de pax-km) e 575,8 milhões de ton-km (cerca de 10,2% do total de ton-km) transportados pelo setor aéreo brasileiro no referido ano (DAC, 2002). Em 2000, as maiores empresas do setor eram a TAM, RIO-SUL e NORDESTE (DAC, 2002).

A figura, a seguir, ilustra a evolução de mercado para o segmento doméstico regional. Observa-se a grande expansão, tanto na oferta como no tráfego, após 1994. Nesse contexto, cabe ressaltar que o ano de 1994 foi marcado pela implementação do Plano Real, que modificou notadamente a evolução da economia nacional.

³⁵ Cabe ressaltar, porém, que nem sempre as linhas regionais correspondem a rotas de baixa densidade (pouco movimentadas) e a operação de aeronaves de médio e grande porte, ligando aeroportos de segunda e terceira categoria, que não podem receber aviões de médio porte. De fato, há linhas regionais razoavelmente movimentadas operadas por aeronaves de médio porte. Como exemplo, pode-se citar o trecho Campinas (SP)-Ribeirão Preto (SP), realizado por aeronaves modelo Fokker 50 (capaz de transportar até 50 passageiros).

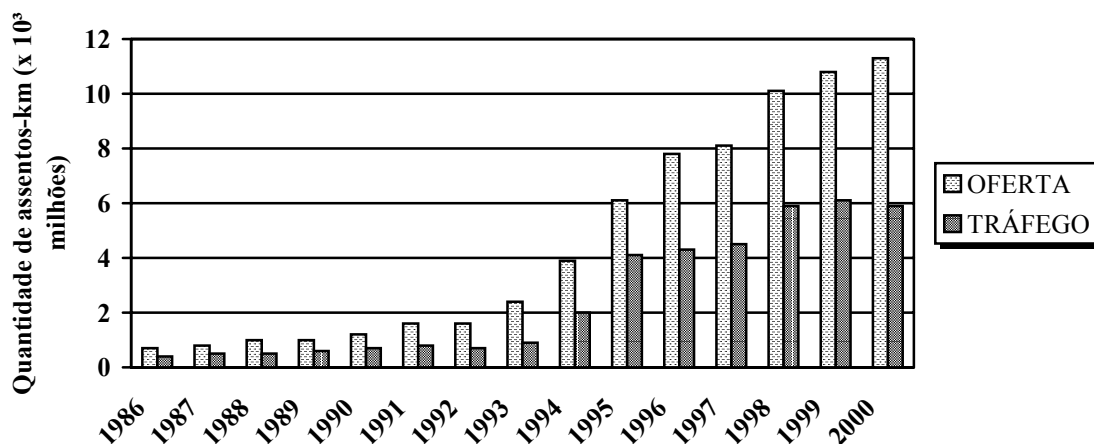


Figura 1.4: Segmento doméstico regional – Evolução de mercado: assentos-km (x10⁹) versus anos (de 1986 a 2000)

Fonte: GEIPOT, 2001 e DAC, 2002.

A tabela, a seguir, explicita o quadro de oferta (em assentos-km/ano) para o segmento doméstico regional. Observa-se a participação percentual no referido mercado de todas as empresas atuantes. Nota-se a liderança dos grupos TAM e RIO-SUL, resultado de arrojadas práticas de mercado, especialmente no caso da TAM.

Tabela 1.2: Quadro de oferta: Segmento doméstico regional (assentos-km/ano, participação %), 2000

EMPRESA	OFERTA (ASS-KM/ANO) X 10 ⁶	PARTICIPAÇÃO (%)
TAM	5.012	44,4
RIO-SUL	3.845	34,0
NORDESTE	1.487	13,2
INTERBRASIL	262	2,3
PANTANAL	156	1,38
PENTA	136	1,2
TRIP	117	1,04
RICO	93	0,82
TAVAJ	69	0,61
TOTAL	58	0,51
PASSAREDO	39	0,35
PRESIDENTE	11	0,1
ABAETÉ	08	0,08
TAF	04	0,04
SOMATÓRIO	11.297	100,00

Fonte: GEIPOT, 2001.

1.4.4 – Segmento doméstico nacional

Interligando grandes centros populacionais e econômicos do País, as linhas aéreas nacionais compreendem as rotas domésticas de longo curso. Essas linhas operam, em geral, na maior parte das capitais nacionais e costumam ser operadas em caráter regular pelas companhias nacionais por meio de aviões de médio ou grande porte, que dependem de infra-estrutura sofisticada, como pistas de pouso asfaltadas e equipamentos de aproximação computadorizados.

Em dezembro de 2001, havia 38 aeroportos no Brasil com infra-estrutura para operar aviões de médio e grande porte ³⁶(DAC, 2002). As empresas que operam no segmento doméstico nacional³⁷ são responsáveis por grande parte das atividades nesses aeroportos. Em 2000, essas empresas, atuando no segmento doméstico nacional, movimentaram cerca de 14,8 bilhões de pax-km, ou 36,3% do total de pax-km transportados no Brasil; e 1,9 bilhões de ton-km, o equivalente a 33% do total de ton-km transportadas no País (GEIPOT, 2001).

A figura, a seguir, apresenta a evolução de mercado para o segmento doméstico nacional. Nota-se a crescente expansão na oferta, a partir da metade dos anos noventa.

³⁶ Quase todos os aviões considerados de grande porte têm capacidade para transportar de 100 a 250 passageiros. Entretanto, alguns carregam muito mais. O Boeing 747 (aeronave típica das décadas de 70 e 80), por exemplo, tem espaço para quase 500 passageiros. Possui 12 toaletes, seis cozinhas e leva mais de 178 mil litros de combustível. Já os aviões de médio porte (que respondem por boa parte da produção atual da EMBRAER), em geral, possuem capacidade para transportar de 30 a pouco menos de 100 passageiros e operam, principalmente, no segmento de aviação doméstica. Com relação aos aviões de pequeno porte, cabe mencionar que estes, em geral, podem pousar e decolar em aeroportos pequenos. Muitos desses aviões são monomotores e de proprietários particulares. Alguns não pesam mais que algumas centenas de quilos e têm espaço apenas para o piloto. Outros, porém, têm dois motores a gasolina ou a jato (como diversos aviões de uso militar) e podem carregar até 30 passageiros. São usados por serviços de táxi aéreo e linhas de conexão para transferir passageiros entre os aeroportos pequenos e os grandes que servem aos aviões de médio e grande porte da aviação civil (FAA; 1983; IATA, 2001).

³⁷ Em 2000 o DAC terminou com a forma de classificação das empresas como “regionais” e “nacionais”. Atualmente, leva-se em consideração a natureza e característica do voo, se “regional” ou “nacional” ou “internacional”. Assim, todas as companhias aéreas brasileiras são, desde 2000, simplesmente consideradas “empresas aéreas brasileiras”.

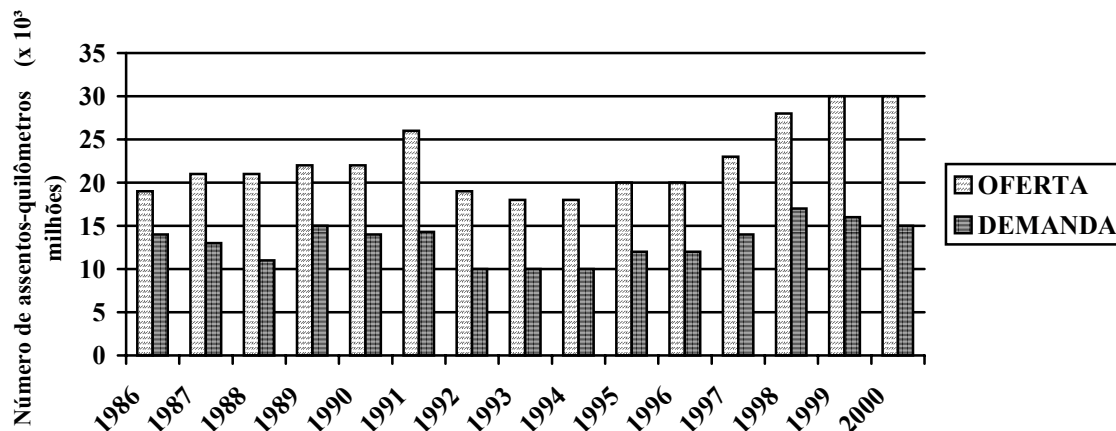


Figura 1.5: Segmento doméstico nacional – Evolução de mercado: assentos-km ($\times 10^9$) versus anos (de 1986 a 2000)

Fonte: GEIPOT, 2001.

1.4.5 – Segmento internacional

As linhas internacionais têm pontos de origem ou destino em território estrangeiro e se caracterizam, geralmente, como rotas de médio (em geral, até 1.000 km) e longo curso, operadas com aviões de médio ou grande porte. As exceções são as atividades com os países da América do Sul que, dependendo dos pontos de origem e destino, podem ser consideradas como ligações de curta distância, como, por exemplo, Porto Alegre – Buenos Aires.

Esse tipo de segmento do mercado aéreo está submetido aos acordos bilaterais, celebrados junto aos governos estrangeiros nos termos gerais definidos pela Convenção de Chicago e seus documentos auxiliares. As linhas internacionais são operadas no Brasil por quatro empresas aéreas domésticas (VARIG e TAM, responsáveis por mais de 95% dos vôos internacionais regulares e TAVAJ e PENTA, sediadas na Região Amazônica e que realizam vôos para cidades da Guiana, Venezuela e/ou Bolívia) e por mais 40 companhias estrangeiras (GEIPOT, 2001).

A figura, a seguir, explicita a evolução de mercado para o segmento internacional através do número de passageiros embarcados e desembarcados, em vôos internacionais nos anos de 1995 a 2000. Observa-se certa tendência de crescente evolução linear para este mercado. A descontinuidade pontual detectada para o ano de 1999, refere-se ao aumento do

turismo doméstico (utilizando-se do transporte aéreo), em virtude da midi-desvalorização do Real em Janeiro daquele ano.

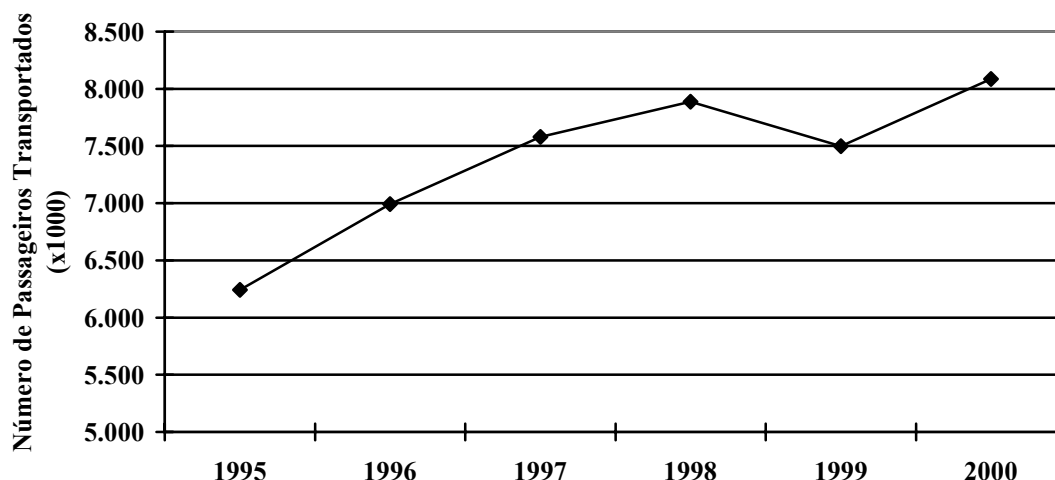


Figura 1.6: Número total de passageiros transportados em vôos internacionais versus anos (1995-2000)

Fonte: GEIPOT, 2001.

Das empresas atuantes no segmento aéreo internacional, as principais, em ordem decrescente de movimentação aeroportuária são: Varig, American Airlines, Vasp, United Airlines, TAM, Aerolineas Argentinas, Tap Air Portugal, Air France e Alitalia. Os países-destino mais frequentes no exterior para vôos com origem no Brasil são, em ordem decrescente do número de passageiros embarcados (ano base: 2002): Estados Unidos, Portugal, Argentina, Alemanha, França, Itália e Chile (GEIPOT, 2001).

Nos últimos anos, especialmente a partir da metade da década de noventa, o segmento regional é o que tem apresentado as maiores taxas de crescimento com relação ao parâmetro passageiros-quilômetros transportados, em comparação às taxas relativas aos segmentos doméstico nacional e internacional. Beneficiando-se de incentivos governamentais (menos impostos) e por ser, caracteristicamente, um nicho de mercado mais definido e menos predatório do que os segmentos nacional e internacional, a aviação regional tem se expandido notadamente, alavancando o setor aéreo brasileiro como um todo.

A figura, a seguir, apresenta, para o período de 1996 a 2001 a taxa de crescimento (em percentual) do parâmetro pax-km transportados para os segmentos regional, doméstico nacional e internacional. Cabe acrescentar que os atentados terroristas de 11 de setembro causaram forte retração ao segmento internacional e impulsionaram ainda mais a aviação regional, tendo em vista, reflexos do incremento³⁸ do turismo aéreo nacional, gerado após os atentados (SNEA, 2003).

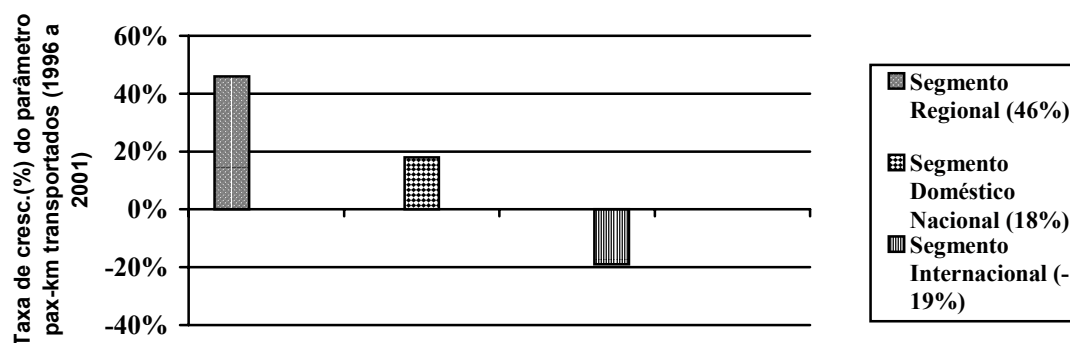


Figura 1.7: Taxa de crescimento percentual para o parâmetro pax-km transportados. Segmentos: regional, doméstico nacional e internacional (companhias brasileiras e estrangeiras). Período: 1996 a 2001

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do GEIPOT, 2001 e do DAC, 2002.

1.4.6 – Movimentação aeroportuária

O aeroporto é a principal infra-estrutura em terra relacionada às atividades de transporte aéreo. Além das pistas de pouso, os aeroportos públicos dispõem de terminais de passageiros e cargas, equipamentos de controle e segurança, manutenção de aviões, etc. Os aeroportos são utilizados pelas empresas aéreas como centros operacionais, onde se concentram os pontos de origem e destino das linhas aéreas; por essa razão, são considerados pontos estratégicos.

Em 1999, existiam no Brasil cerca de 711 aeródromos públicos, pertencentes aos Governos Estaduais, Municipais e à União (DAC, 2002). Esses aeroportos são

³⁸ Estima-se que o incremento do turismo aéreo nacional, registrado logo após os atentados terroristas de 11 de setembro de 2001, esteja diretamente relacionado à retração ocorrida (devido aos atentados) nas viagens aéreas turísticas ou de negócios ao exterior (COSTA, 2003).

administrados pelo Comando da Aeronáutica, pela INFRAERO, por estados, municípios e companhias privadas especializadas. Contudo, 95% das atividades estão concentradas nos 65 aeroportos administradas pela INFRAERO (DAC, 2002).

Os aeroportos internacionais possuem autorização para operação de vôos com pontos de origem e destino em território estrangeiro. Em fevereiro de 2002, existiam 26 aeroportos internacionais em operação no Brasil (DAC, 2002). Os mais importantes³⁹ eram os de Guarulhos (SP), Galeão/Tom Jobim (RJ), Luis Eduardo Magalhães/Salvador (BA), JK/Brasília (DF), Eduardo Gomes/Manaus (AM) e Afonso Pena/Porto Alegre (RS).

Os aeroportos com predominância de tráfego executivo localizam-se em destacados centros econômicos do país e concentram grande volume de viagens de negócios. No Brasil, os principais aeroportos desta natureza são os de Congonhas (SP), Santos Dumont (RJ), Pampulha (MG) e JK/Brasília (DF).

Os aeroportos regionais têm importância local e normalmente contam com limitações em termos de infra-estrutura, como tamanho da pista de pouso, equipamento para controle de tráfego aéreo etc.

As três próximas figuras apresentadas, a seguir, caracterizam a movimentação aeroportuária no Brasil em anos recentes (de 1995 a 2000), através do número de pousos e decolagens realizados em vôos nacionais (Figura 1.8); o número de passageiros embarcados em vôos nacionais (Figura 1.9); e, a quantidade de carga embarcada e desembarcada em vôos nacionais internacionais (Figura 1.10, em toneladas). A escolha por esses parâmetros se deu devido à freqüente utilização dos mesmos pela literatura especializada em pesquisas relacionadas ao transporte aéreo.

³⁹ Aeroportos considerados mais importantes são aqueles de maior movimentação aeroportuária, com maior quantidade de pousos e/ou decolagens e maior quantidade de passageiros e cargas embarcados e/ou desembarcados.

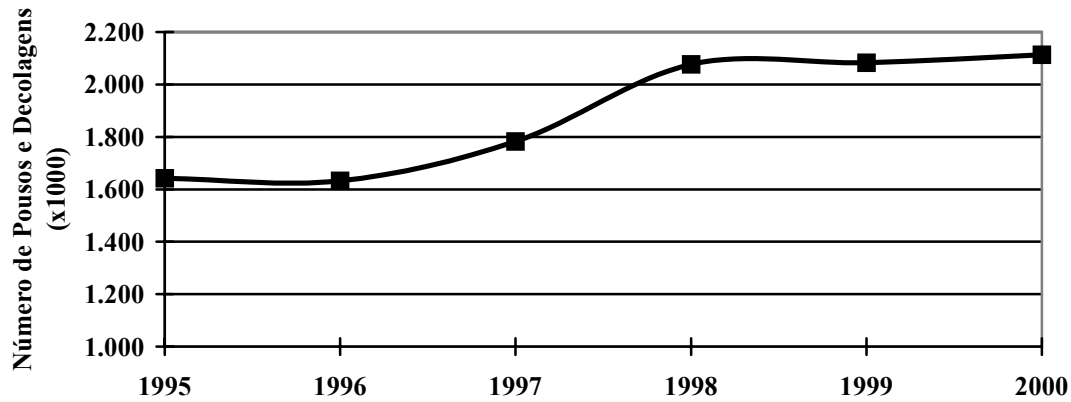


Figura 1.8: Número de pousos e decolagens realizados em vôos nacionais. Período: 1995 a 2000.

Fonte: GEIPOT, 2001.

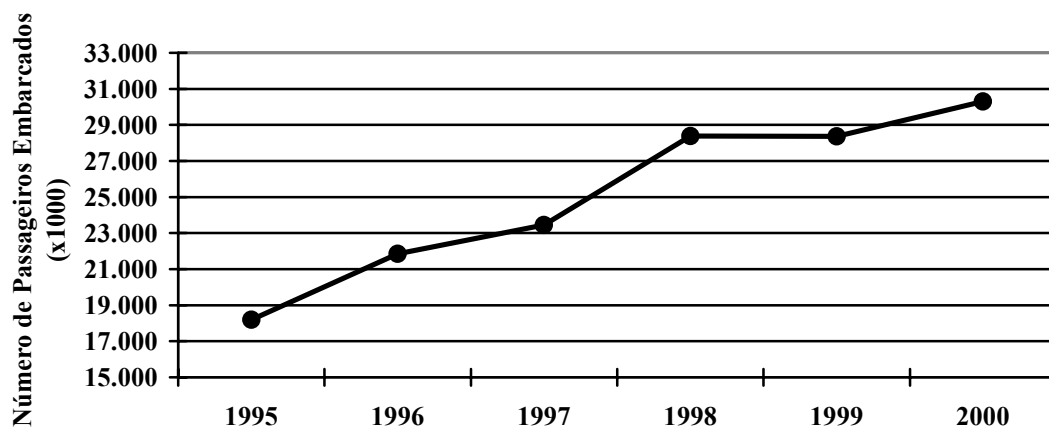


Figura 1.9: Número de passageiros embarcados em vôos nacionais. Período: 1995 a 2000

Fonte: GEIPOT, 2001.

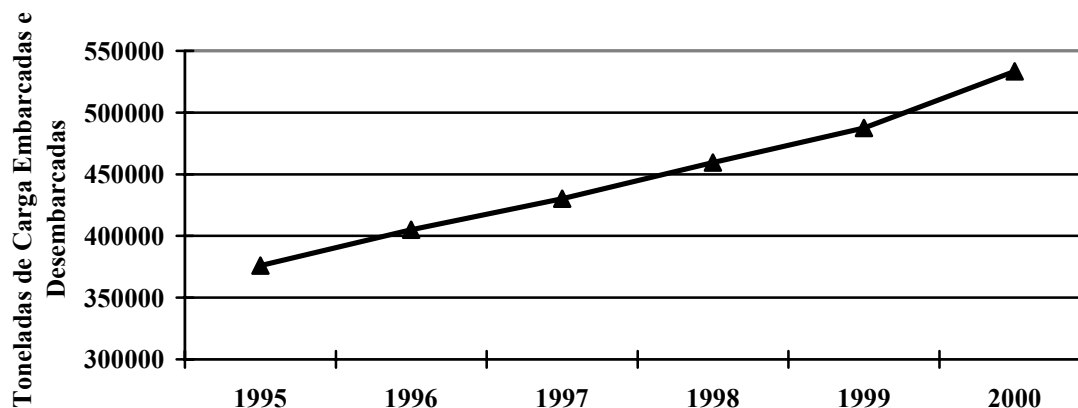


Figura 1.10: Quantidade de toneladas de carga embarcadas e desembarcadas em vôos internacionais. Período: 1995 a 2000

Fonte: GEIPOT, 2001.

Analisando as três figuras anteriores, observa-se que, em geral, a evolução da movimentação aeroportuária em anos recentes (1995-2000), tem sido marcada por um crescimento linear. Por tratar-se de indicadores díspares e variados, pode-se sugerir que o setor de transporte aéreo no Brasil, como um todo, está em expansão. E, a tendência, segundo previsões para a evolução do transporte aéreo em países em desenvolvimento é de que esta expansão deixe de ser linear e passe a ser exponencial dentro de cerca de uma década e meia (IPCC, 1999).

1.4.7 – Pax-km e ton-km: evolução e comparação internacional

Em termos absolutos, a demanda pelos transportes aéreos pode ser quantificada através do volume de cargas e do número de passageiros transportados. A oferta, da mesma forma, pode ser quantificada em termos do volume de cargas passível de transporte aéreo (disponível) e do número de assentos ofertados.

Existe ainda outra forma de medir a demanda e a oferta do setor aéreo que é através das unidades “passageiros-quilômetros” (pax-km) e “toneladas-quilômetros” (ton-km). Tais unidades, muito empregadas em estudos acadêmicas, relacionam, no caso da oferta, o número de assentos e o volume de cargas disponíveis com a distância percorrida. Já no caso

da demanda, as unidades pax-km e ton-km relacionam o número de passageiros e o volume de cargas transportado com a distância percorrida.

Para se calcular o número de pax-km transportados, multiplica-se o número de passageiros embarcados pela distância, em quilômetros, associados à rota. Para o cálculo do número de ton-km transportadas (ton-km), multiplica-se o volume de cargas embarcadas, em toneladas, pela distância percorrida em quilômetros. Esta metodologia é empregada mundialmente e facilita-se assim o entendimento de estudos oriundos de diversos países.

A quantidade de pax-km e ton-km transportados pelas companhias aéreas brasileiras cresceu de forma constante ao longo da década de 70 e início da década de 80. Nesse período o total de pax-km transportados passou de 2 bilhões, em 1970, para cerca de 11 bilhões, em 1982 (FILHO, RAMOS e CARVALHO et al., 1998). Entretanto, a recessão econômica, ocorrida no início dos anos 80, por conta da crise da dívida externa, atingiu o setor, ocasionando queda das atividades com passageiros e cargas em 1983. Essa tendência foi contida em 1984, quando foram transportados cerca de 1,6 bilhões de ton-km, mesmo resultado do ano anterior (FILHO, RAMOS e CARVALHO et al., 1998).

As atividades no setor voltaram a recuperar-se e de forma mais intensa até a implementação do Plano Cruzado, em 1986. Contudo, em 1987, o número de pax-km e de ton-km transportados no Brasil declinou, em cerca de 3% quando comparado a 1986, por conta do fim do congelamento de preços que havia sustentado o crescimento econômico, em 1986 (FILHO, RAMOS e CARVALHO et al., 1998). A partir de então e até 1990, o setor de transporte aéreo de carga, impulsionado pelo aumento das importações brasileiras, cresceu ano a ano, passando de 2,1 bilhões de ton-km, em 1988, para 3,2 bilhões de ton-km, em 1990 (FILHO, RAMOS e CARVALHO et al., 1998). Já o setor de transporte aéreo de passageiros, no mesmo período, sofreu recessão. Segundo o DAC, entre 1988 e 1990, o total de pax-km transportados reduziu-se em 6,3% e o prejuízo acumulado pelas companhias aéreas foi de US\$ 3,1 bilhões, no período (DAC, 2002). Algumas empresas como a VARIG e a VASP puderam compensar (em parte) seus prejuízos operacionais com o transporte aéreo de passageiros, através do lucro obtido com o transporte internacional de cargas. Na contabilidade geral, a despeito das crises, o número de pax-km transportados aumentou de 8,3 bilhões em 1980 para 13,7 bilhões em 1990 (DAC, 2002).

A evolução do número de pax-km e ton-km ao longo década de 1990 foi marcada por um crescimento linear, a despeito de eventuais prejuízos (por vezes expressivos, como no caso da VASP, em 1998) acumulados pelas empresas (GAZETA MERCANTIL, 2002). A diminuição dos custos, associado ao aumento das escalas de operação, implicou no incremento das atividades aéreas, tanto no setor de cargas como no de passageiros. A partir de 1994, a expansão do setor aéreo no Brasil foi mais acentuada. Estima-se que tal expansão guarde relação com a estabilização econômica gerada pelo Plano Real.

Para efeito de contextualização internacional apresenta-se, a seguir, a Tabela 1.3, onde são listados dados de pax-km de diversos países para o período de 1994 a 1998.

Tabela 1.3: Número de passageiros-quilômetros transportados ($\times 10^6$), em vôos nacionais e internacionais, por país (com respectiva área territorial), 1994 a 1998

PAÍS/SUPERFÍCIE km ²	1994	1995	1996	1997	1998
ALEMANHA / 357.022	56.532	61.716	63.252	71.496	75.240
ARGENTINA / 2.780.400 (1)	11.254	11.892	18.360	...	...
BOLÍVIA / 1.098.581	1.139	1.234	1.634	1.896	1.968
BRASIL / 8.547.404 (2)	35.659	39.402	41.353	44.930	49.291
COLÔMBIA / 1.141.748	5.675	5.772	5.991	...	...
EQUADOR / 272.045	1.410	1.591	1.663	...	...
ESPANHA / 504.782	22.536	24.168	25.812	28.140	32.472
ESTADOS UNIDOS / 9.809.155	823.716	858.624	919.752	964.536	964.968
HOLANDA / 33.939 (3) (4)	41.040	44.676	49.056	55.608	57.576
ÍNDIA / 3.287.263	17.580	18.852	...	18.048	18.480
JAPÃO / 377.819	114.600	128.712	140.568	149.652	152.892
REINO UNIDO / 242.900	104.292	115.104	123.168	136.248	149.040
RÚSSIA / 17.075.400 (5)	64.236	61.032	52.716	49.272	50.304
SUIÇA / 41.284	19.740	...	21.324	25.404	28.032

Fonte: GEIPOT, 2000.

(1) Somente o transporte realizado pelas Aerolíneas Argentinas; (2) Os dados de pax-km para o Brasil referem-se, unicamente, à atuação de empresas aéreas nacionais; (3) Os vôos internacionais representam cerca de 95% do total; (4) Apenas o transporte realizado pela KLM; (5) Apenas o transporte realizado pela AEROFLOT.

Analisando a tabela anterior, observa-se o forte vínculo entre o nível de atividade econômica do país e sua movimentação aeroportuária. Assim, em países em desenvolvimento, tais como, o Brasil, Índia ou Argentina, o número de passageiros-quilômetros transportados é muito inferior ao de países mais industrializados, como os Estados Unidos. A análise efetuada fica mais bem caracterizada ao considerar-se a superfície (em km²) dos países listados na tabela anterior. Seria de se esperar, desconsiderando fatores sócio-econômicos, que países de superfícies equivalentes, como o Brasil e os Estados Unidos, tivessem o número de pax-km transportados de porte

comparável, ao menos. Entretanto, no Brasil este número chega a ser cerca de vinte vezes menor do que nos Estados Unidos (em 1998). Semelhante conclusão é passível de ser obtida quando se analisam os dados da tabela anterior, por segmentação em blocos de países. Observa-se, claramente, que o bloco dos países desenvolvidos (Alemanha, Espanha, EUA, Holanda, Reino Unido, Rússia e Suíça) apresenta um transporte aéreo muito mais robusto (medido pelo parâmetro pax-km transportados) do que o bloco dos países em desenvolvimento (Argentina, Brasil, Colômbia, Equador e Índia).

A tabela, a seguir, complementa e reforça a análise efetuada apresentando a quantidade de toneladas-quilômetro transportadas, em vôos nacionais e internacionais, por país, de 1994 a 1998.

Tabela 1.4: Quantidade de toneladas-quilômetro transportadas ($\times 10^6$), em vôos nacionais e internacionais, por país de 1994 a 1998

PAÍS / SUPERFÍCIE Km ²	1994	1995	1996	1997	1998
ALEMANHA / 357.022	5.540	6.006	6.137	6.310	6.212
ARGENTINA / 2.780.400 (1)	207	177	177	210	233
BOLÍVIA / 1.098.581	28	49	47	42	...
BRASIL / 8.547.404 (2)	5.041	5.410	5.687	5.657	6.023
COLÔMBIA / 1.141.748	566	498	311	...	...
EQUADOR / 272.045	35	32	33	...	...
ESPAÑA / 504.782	614	...	760	742	767
ESTADOS UNIDOS / 9.809.155	22.340	22.992	25.220	28.627	29.054
HOLANDA / 33.939 (3) (4)	3.334	3.852	3.926	3.971	3.755
ÍNDIA / 3.287.263	423	584	552	530	434
JAPÃO / 377.819	6.318	6.865	7.138	7.854	7.505
REINO UNIDO / 242.900	3.378	3.718	4.008	4.626	4.780
RÚSSIA / 17.075.400 (5)	1.320	1.604	899	834	736
SUIÇA / 41.284	1.459	1.562	1.564	...	1.958

Fonte: GEIPOT, 2000.

(1) Somente o transporte realizado pela Aerolíneas Argentinas; (2) Os dados de ton-km para o Brasil referem-se, unicamente, à atuação de empresas aéreas nacionais; (3) Os vôos internacionais representam cerca de 95% do total; (4) Apenas o transporte realizado pela KLM; (5) Apenas o transporte realizado pela AEROFLOT.

Torna-se importante ressaltar que as cargas transportadas via aérea são, em geral, nitidamente diferentes das transportadas por ferrovias, rodovias ou hidrovias. Fato é que as cargas adequadas ao transporte aéreo possuem, normalmente, um valor agregado muito superior às transportadas por outros modais. O custo mais elevado do transporte aéreo⁴⁰ frente aos demais se relaciona a essa característica fundamental do transportes de cargas via

⁴⁰ Isto nem sempre é uma regra. De fato, há na Europa e nos EUA, por exemplo, linhas aéreas economicamente competitivas em relação a linhas ferroviárias (para um mesmo trecho a ser percorrido).

aérea. Nesse contexto, nem sempre a questão da opção política de um país por determinado modal de transporte é aspecto pertinente, quando da análise dos dados da tabela anterior. Por vezes, o próprio perfil de importação e/ou de exportação de um país, explica um maior ou menor utilização do transporte aéreo.

No caso do Japão, por exemplo, sabe-se que o perfil das exportações é definido por produtos de alta tecnologia (e de alto valor agregado). Assim, neste país, a expressiva participação da aviação no transporte de cargas (ver dados da Tabela 1.4) é quase que uma consequência natural de todo um processo político-econômico. Além disso, o fato de o Japão ser uma rica nação-ilha também corrobora para uma relevante participação do modal aéreo no transporte de cargas.

Diversos aspectos geopolíticos são observáveis ao analisar-se as duas tabelas anteriores. Dentre eles, destacam-se: as dificuldades econômicas enfrentadas pela Rússia, ainda tentando se adaptar ao capitalismo; o vultoso porte e a importância do setor aéreo em nações-ilha, como o Reino Unido e o Japão; e a notável discrepância na utilização do transporte aéreo ao comparar-se países ricos da Europa com países menos desenvolvidos da América Latina, especialmente, no transporte de passageiros, como é o caso de Suíça e Bolívia (ver dados da Tabela 1.3). Ressalta-se que o território boliviano é cerca de 25 vezes maior que o suíço.

1.4.8 – Nível de segurança

O marketing das companhias e indústrias aeronáuticas costuma afirmar que o avião é o meio de transporte mais seguro. Estudo da ICAO elaborado com base na distância percorrida sugere que o transporte aéreo seja cerca de 300 vezes mais seguro que viajar de motocicleta, 176 vezes mais seguro que caminhar e 15 vezes mais seguro que viajar de carro (ICAO, 1996). Entretanto, quando os riscos são calculados com base no número de viagens, caminhar torna-se 5 vezes mais seguro que voar e, viajar de carro 12 vezes mais seguro (COMISSÃO EUROPÉIA, 1998).

Difícilmente, em um grave acidente aéreo, há sobreviventes, ao contrário do que ocorre em outros modais de transporte. No pior acidente da história da aviação, em março

de 1977, uma colisão entre um Boeing 747 da PANAM e outro da KLM, nas Ilhas Canárias, levou à morte 582 pessoas (GODEFROID, 1993).

O pior desastre aéreo ocorrido no Brasil foi em 1992 com um Boeing 747 da VASP, quando 135 pessoas perderam a vida (DAC, 2003b). Outro acidente de grandes proporções foi a queda de um Fokker 100 da TAM, ocorrida em 31 de outubro de 1996, com a morte de 106 pessoas, entre passageiros, tripulantes e vítimas atingidas em terra (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002). Esse acidente com o jato da TAM em 1996 ainda recebe, eventualmente, espaço na mídia devido à polêmica questão judicial da indenização aos parentes das vítimas.

A despeito de o número de acidentes aéreos fatais no mundo ter caído de 2,5 a cada milhão de decolagens, em 1979, para cerca de 1,4, em 1996, absolutamente, porém, o total de grandes acidentes aumentou de uma média de 20,6/ano, em 1984, e para 25/ano, em 1996. O incremento acentuado da atividade de transporte aéreo pode explicar tal aumento. Em 1996, de acordo com estudo conduzido pela ICAO, registrou-se para a Europa 1,6 acidentes por milhão de decolagens; na América Latina, 4,3; na China, 8,9; e na África, 12,5 (ICAO, 1996a). No mesmo ano, nos Estados Unidos e Canadá o número de acidentes foi de 0,5 por milhão de decolagens, denotando o amadurecimento em termos de segurança do setor aéreo destes países (ICAO, 1996a). Mantida a atual média de 1,4 acidentes fatais a cada milhão de decolagens e as expectativas de crescimento médio anual de 6% do tráfego aéreo mundial, a ICAO estima que, em 2010, ocorra cerca de um acidente aéreo de grande porte, por semana, no mundo (ICAO, 1996a).

Diversos estudos e programas vêm sendo desenvolvidos no intuito de reduzir o número de acidentes. A maior parte destas pesquisas é realizada pelos órgãos internacionais responsáveis pela segurança dos transportes aéreos, como a IATA, FAA e ICAO. Os programas, em geral, têm promovido o crescimento das exigências e fiscalização sobre os pilotos das aeronaves. De acordo com pesquisa da IATA, 80% dos acidentes ocorrem durante os pousos e decolagens e, 70% são ocasionados por falhas humanas (IATA, 1996).

O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), vinculado ao DAC, é o órgão responsável pela segurança das atividades de transporte aéreo no Brasil. De acordo com o CENIPA, entre 1990 e 1996 ocorreu, em média, 1,59 acidentes

por milhão de decolagens no Brasil (DAC, 2002), pouco acima da atual média mundial de cerca de 1,4 acidentes por milhão de decolagens.

De acordo com pesquisa realizada pelo CENIPA, 63,6% dos acidentes ocorridos com as companhias aéreas nacionais são causados por falha humana (DAC, 2002). Com relação a aviação regional, onde são utilizados aviões de menor porte e mais antigos (e de manutenção, por vezes, precária), a mesma pesquisa concluiu que 42,4% dos acidentes ocorreram devido à falhas humanas.

De 1986 a 1996 o número total de acidentes aéreos no Brasil caiu de 250 para 75 (DAC, 2002). A queda, observada pelo DAC, pode ser explicada pelo aumento da fiscalização na manutenção das aeronaves e maior controle sobre a emissão de habilitação para os pilotos nas atividades aéreas não-regulares, tais como a aviação agrícola e privada. O setor de aviação geral é ainda o principal responsável pela maior parte dos acidentes aéreos no País (SNEA, 2003).

Estima-se, enfim, que um importante fator que irá auxiliar na expansão futura do setor de transporte aéreo brasileiro seja o bom nível de segurança dos vôos. Afinal, conforme analisado, a segurança dos vôos no Brasil é comparável ao de países muito mais ricos e desenvolvidos. Estudos da BOEING (1997 e 1998) e da VARIG (1998) concluem que quanto menor o índice de acidentes, maior a procura pela aviação. Assim, cada vez mais, indústrias e companhias aeronáuticas atuantes no Brasil devem se preocupar com a questão da segurança, tendo em vista que o país, muito provavelmente, irá experimentar, em breve (cerca de 15 anos), forte aumento na demanda por transporte aéreo (IPCC, 1999).

A figura, a seguir, exprime a maturidade da aviação brasileira em termos de segurança nos vôos. Observa-se, que ao contrário de outros países em semelhantes condições de desenvolvimento, o Brasil apresenta confiáveis níveis de segurança aeronáutica refletindo, em parte, o crescente processo de amadurecimento de todo o aparato aeronáutico nacional (indústria, infra-estrutura aeroportuária, serviços de manutenção, etc).

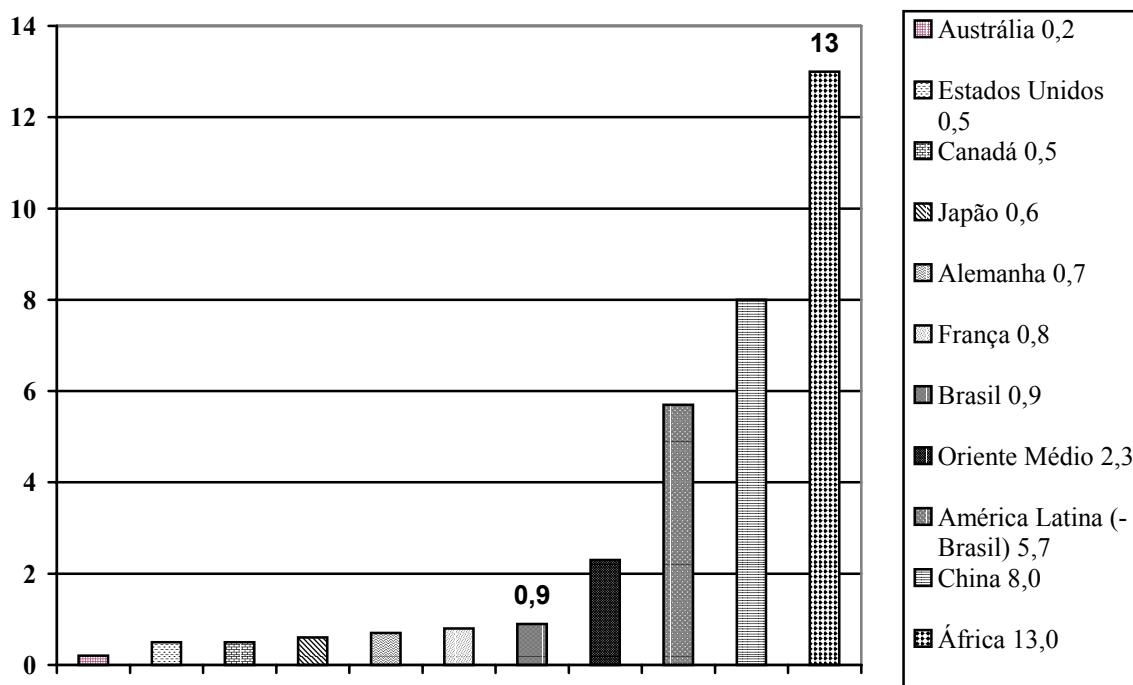


Figura 1.11: Índice de acidentes por milhão de decolagens (média registrada para os anos de 1991 a 2000) x países selecionados

Fontes: IATA, 2001 e ICAO, 2002.

Analisando a figura anterior, nota-se o evidente vínculo entre nível de renda da população de determinado país e segurança na aviação. Em geral, os africanos e os latinos, quando (raramente) voam, o fazem sob circunstâncias relativamente perigosas, já que os aviões são na grande maioria, sucatas das nações mais ricas. Aviões antigos e recebendo manutenção precária relacionam-se aos altos índices de acidentes aéreos observados na América Latina (menos Brasil) e na África.

A análise efetuada também é válida para a China. Entretanto, nesse país, o setor aeronáutico tem se modernizado velozmente, e caso a figura anterior retratasse a média do índice de acidentes por milhão de decolagens, entre 1995 e 2000, a situação observada para a China seria muito diferente, registrando média no período (1995-2000) de cerca de 3,2 acidentes/milhão de decolagens.

1.4.9 – Indústria aeronáutica brasileira

As indústrias aeronáuticas constroem principalmente aviões, mas muitas fabricam também (ou apenas) planadores, helicópteros e peças estruturais específicas. Na década de

70, as indústrias aeroespaciais norte-americanas produziam cerca de 85% do total de aviões adquiridos pelas companhias de aviação de todo o mundo, excetuando-se as da ex-União Soviética (COMAER, 2002). Observa-se, portanto, a influência e a importância da indústria americana na expansão do transporte aéreo mundial.

No Brasil, a EMBRAER, empresa fundada em 19 de agosto de 1969 e que até 1994 tinha o governo como sócio majoritário, produz a quase absoluta maioria das aeronaves nacionais. Complementando a produção nacional, a HELIBRÁS e a NEIVA, produzem helicópteros e aviões de pequeno porte, respectivamente. Apesar de ainda ser dependente da importação de ligas metálicas especiais (e de diversos outros componentes aeronáuticos), a Embraer tem se destacado mundialmente na exportação de suas aeronaves, especialmente modelos de capacidade média (cerca de 37 a 50 ocupantes) como os modelos ERJ 135 e 145. Atuando agressivamente no mercado, utilizando-se de eficientes estratégias de marketing, apoio governamental (via subsídios ofertados pelo BNDES, por exemplo), preços competitivos e projetos avançados, a EMBRAER, desde 1995, com a confirmação de pedidos e opções de compra tem aumentado sua participação no mercado mundial (COSTA, 2003).

A EMBRAER, de fato, só esteve voltada para o mercado interno na época da aeronave modelo Bandeirante (anos 70). Depois do grande sucesso do BEM-120 Brasília no mercado norte-americano, a principal preocupação da empresa tem sido projetar aeronaves com vistas, principalmente, ao atendimento do mercado externo (EUA, Europa), considerado mais lucrativo pela referida indústria aeronáutica brasileira.

Cabe ressaltar que o maior comprador nacional de aeronaves da EMBRAER tem sido o Comando da Aeronáutica, visando reequipar a Força Aérea Brasileira (FAB) e a capacidade de vigilância na Região Amazônica. Atualmente (2003), cerca de 92% dos aviões produzidos pela EMBRAER são vendidos ao mercado externo (EMBRAER, 2003).

A tabela apresentada, a seguir, retrata o número de aeronaves produzidas no Brasil, por fabricante, modelo e tipo, nos anos de 1996 a 2000, pela indústria aeronáutica brasileira. Observa-se que de 1996 a 2000, um curto período, a produção total da EMBRAER mais que triplicou (passou de 53 a 161 aeronaves produzidas). Em tão breve período, trata-se de uma incrível expansão. Em todo o mundo, no mesmo período, apenas a empresa canadense Bombardier se expandiu em patamares semelhantes (COSTA, 2003).

Estima-se que os aviões de média capacidade (até 50 ocupantes, em geral), que respondem pela maior parte da produção da EMBRAER e da Bombardier, sejam o tipo de aeronave que tenha encontrado maior nicho de mercado, em nível mundial.

Tabela 1.5: Número de aeronaves produzidas no Brasil (de 1996 a 2000) por fabricante, modelo e tipo

FABRICANTE, MODELO E TIPO	1996	1997	1998	1999	2000
EMBRAER / TOTAL EMBRAER	53	60	97	124	161
AM-X	03	05	05	03	-
EMB-110-BANDEIRANTE	-	-	-	-	-
EMB-120-BRASÍLIA	21	10	14	08	-
EMB-312-TUCANO	-	-	6	-	-
EMB-312 F (TUCANO FRANÇA)	14	-	-	-	-
MD-11 FLAP (*)	11	13	12	07	-
ERJ 135	-	-	-	20	48
ERJ 145	04	32	60	83	112
SIVAM	-	-	-	03	01
HELIBRÁS / TOTAL HELIBRÁS	12	19	23	22	16
HB-35-B-ESQUILO	11	18	21	17	12
AS-365-DAUPHIN	01	-	-	01	-
BK 117	-	01	-	-	-
EC 120	-	-	02	02	04
EC 135	-	-	-	02	-
NEIVA / TOTAL NEIVA	13	25	27	18	17
EMB-201/202-IPANEMA	03	16	20	12	15
EMB-720-MINUANO	01	01	01	02	-
EMB-810-SENECA	09	07	06	03	02
EMB-721-SERTANEJO	-	01	-	01	-
TOTAL GERAL (EMBRAER+HELIBRÁS+NEIVA)	78	104	147	164	194

(*) Parte de estrutura de aeronaves fabricada sob encomenda para exportação.

Fonte: GEIPOT, 2001.

Atualmente (2003), a EMBRAER é a quarta maior fabricante de jatos comerciais do mundo. Em 2001, essa empresa brasileira obteve lucro líquido de R\$1,101 bilhão, resultado 70,7% superior ao ano anterior quando o lucro líquido foi da ordem de R\$ 645,179 milhões. Em 2002, o lucro líquido da EMBRAER foi cerca de 12% superior ao registrado para 2001 (GAZETA MERCANTIL, 2003).

Desde meados de 2000, a EMBRAER e o Governo brasileiro vêm questionando junto à Organização Mundial do Comércio (OMC) a prática, pelo Governo do Canadá, de subsídios ilegais a Bombardier (principal concorrente da EMBRAER, em nível mundial). Em 2001, as decisões da OMC com relação a essa questão, foram amplamente favoráveis à

EMBRAER (e, conseqüentemente, ao Brasil)⁴¹. Desta forma, o governo canadense se viu obrigado a reduzir o subsídio a Bombardier. Todo esse contexto teve grande influência no excelente resultado financeiro obtido pela EMBRAER em 2001 e 2002. As expectativas da EMBRAER para 2003 e 2004 são de forte expansão do lucro líquido, por conta de uma prevista expansão nas vendas de aeronaves ao mercado externo e por uma provável maior participação do BNDES em tais vendas (COSTA, 2003; EMBRAER, 2003a).

1.4.10 – A aviação militar no Brasil

A Força Aérea Brasileira, a FAB, é o braço das forças armadas brasileiras, responsável pelas atividades de aviação militar. A FAB criada em 1941 como resultado da fusão da Aviação Militar com a Aviação Naval, tem por missão cooperar com as demais Forças Armadas (Exército e Marinha) na garantia dos poderes constitucionais e da integridade das fronteiras do país, além de realizar os serviços do Correio Aéreo Nacional e de busca e salvamentos aéreos. Durante a Segunda Grande Guerra Mundial (1939-1945), a FAB teve destacada atuação em combates contra exércitos de países do Eixo, no caso, Itália e Alemanha.

Algumas datas históricas relacionadas à evolução da aviação militar no Brasil e que culminaram com a criação da FAB, em 1941, foram (COMAER, 2002):

- **1867** → Balões são utilizados durante a Guerra do Paraguai com a finalidade de observar e reconhecer as linhas inimigas;
- **1913** → Em 13 de janeiro, o governo brasileiro adquire da Itália, 18 aeronaves (dentre elas, 1 hidroavião) que haviam atuado na Primeira Grande Guerra Mundial (1914-1917). Essas aeronaves foram incorporadas à Marinha do Brasil;
- **1916** → O governo brasileiro constrói hangares e oficinas no Campo dos Afonsos, Rio de Janeiro;

⁴¹ O governo canadense foi condenado pela OMC pela venda de duas carteiras específicas de aeronaves: o Air Wisconsin e o Northwest. Na verdade, foi o Canadá que inicialmente questionou junto a OMC o fato de o governo brasileiro (via subsídios do BNDES) apoiar as vendas ao exterior das aeronaves produzidas pela EMBRAER. Entretanto, o Canadá perdeu seu recurso e o Brasil ganhou direito de “retaliação”. A retaliação incidiu sobre as vendas das duas aeronaves mencionadas e a punição foi decidida pela OMC: drástica redução de subsídio governamental à Bombardier (COSTA, 2003).

- **1919** → Uma missão militar francesa chega ao Brasil para orientar e organizar o Serviço Aéreo do Exército Brasileiro, criado em meados de 1919. No Brasil, no mesmo ano, funda-se a Escola de Aviação Militar;
- **1927** → Cria-se a Arma de Aviação e a Diretoria de Aviação Militar;
- **1931** → Cria-se o Correio Aéreo Nacional (CAN);
- **1934** → Um grupo de militares, chefiados pelo major Eduardo Gomes, organiza e funda o Correio Aéreo Militar (CAM);
- **1941** → Cria-se o Ministério da Aeronáutica, e pela fusão do Correio Aéreo Nacional e do Correio Aéreo Militar, cria-se a Força Aérea Brasileira.

Pelo fato de o Brasil ser um país pacífico em relação a conflitos externos, a FAB, ao longo de seus 62 anos de existência, atuou muito pouco em termos de conflitos externos. A exceção, conforme citado anteriormente, foi a participação na Segunda Grande Guerra. Eventualmente, a FAB, a pedido da Organização das Nações Unidas (ONU), integra forças internacionais como aconteceu em 1964, durante conflitos internos no Congo (COMAER, 2002).

A restrita atuação internacional pode, em parte, explicar o fato de a FAB ser atualmente (2003), apenas a quinta⁴² principal força aérea dentre os países da América do Sul, em termos de quantidade de aeronaves (COMAER, 2002). Esta posição é, sem dúvida, bastante contrastante quando se leva em conta o fato de o Brasil ser o país de maior nível de atividade econômica (PIB em 2001 cerca de 500 bilhões de dólares) e maior contingente populacional, dentre os países do referido continente.

Segundo entrevistas realizadas junto a oficiais da FAB, a frota aérea militar do Brasil não é condizente com o porte econômico, populacional e geográfico do Brasil. Atualmente, a FAB dispõe de apenas cerca de 290 aeronaves entre jatos, aeronaves turbo-hélice e helicópteros (COMAER, 2002).

No contexto deste Trabalho, cabe ressaltar que cerca de 85% do consumo de QAV pela FAB é devido à operação dos jatos pertencentes a esta força armada (ESTEVEZ, 2003). De acordo com o Comando da Aeronáutica, o consumo total de QAV pela FAB, em

⁴² Principais Forças Aéreas da América do Sul (em termos de quantidade de aeronaves): 1ª Argentina, 2ª Chile, 3ª Peru, 4ª Equador, 5ª Brasil, 6ª Colômbia e 7ª Bolívia (COMAER, 2002).

2001, foi de $67,1 \times 10^3$ tEP e o consumo de gasolina de aviação foi de $1,6 \times 10^3$ tEP (COMAER, 2002). Assim, em 2001, a atividade militar no Brasil exigiu uma demanda energética da ordem de $68,7 \times 10^3$ tEP. Este valor corresponde à cerca de 2,3% (ano base: 2001) de toda a energia demandada pela aviação brasileira (civil comercial + militar)⁴³. Em 2002, segundo dados do DAC, este percentual se manteve⁴⁴ (DAC, 2003).

Considerações finais sobre o Capítulo I

Os aspectos descritos e/ou analisados neste Capítulo I, inevitavelmente, irão, de forma direta ou indireta, alicerçar o comportamento futuro da demanda por aviação no Brasil, e conseqüentemente, a evolução futura do consumo energético e das emissões de CO₂ associadas a tal demanda. Entretanto, para se compreender de forma ampla como se dá a inserção do transporte aéreo brasileiro no contexto de mudanças climáticas globais, torna-se mister analisar o setor aéreo mundial, enquanto atividade causadora e problemas ambientais (locais e, fundamentalmente, globais).

⁴³ O capítulo V deste Trabalho analisa com mais detalhes a questão do consumo energético devido à atividade aérea no Brasil.

⁴⁴ Atualmente (2003), no mundo, este percentual é da ordem de 6,5% (média global) (IEA, 2003). Há de se considerar, contudo, que determinados países excedem notadamente tal valor. No caso de nações em guerra (ou estado de guerra), o consumo de energia do setor aéreo militar frente ao setor aéreo total (aviação civil + militar) chega a alcançar o patamar de 18%, como no caso dos EUA, na época da Guerra contra o Iraque, em 2003 (SOUTO MAIOR, 2003).

CAPÍTULO II – A AVIAÇÃO COMO UM PROBLEMA AMBIENTAL GLOBAL (E LOCAL)

2.1 – Aviação Enquanto Atividade Causadora de Problemas Ambientais Locais: O Primeiro “Sinal de Alerta Ambiental”

Antes de analisar o transporte aéreo no contexto de mudanças climáticas globais, julgou-se pertinente descrever e analisar os principais impactos ambientais locais gerados por esta atividade. Afinal, a preocupação da comunidade científica mundial e da sociedade, em geral, com relação a impactos ambientais gerados pela atividade aérea iniciou-se pelo desafio da minimização de problemas ambientais de abrangência local. Admite-se que o atual arcabouço de conhecimento da ciência em relação à influência da aviação em problemas ambientais globais esteja alicerçado (ou guarda algum tipo de relação) a este desafio inicial.

Os impactos ambientais locais gerados pela atividade aérea são variados. Abrangem poluição do solo e da água, passando por ruído a problemas na qualidade do ar local.

2.1.1 – Poluição do solo e da água

Tanques de armazenagem de querosene, agentes químicos descongelantes empregados nas aeronaves e pistas de pouso, agentes químicos de contenção ao fogo, etc. Todos estes elementos causam poluição do solo e da água. O uso de descongelantes pode propiciar percolação para o solo de danosos poluentes, aumentando perigosamente a concentração de nitratos. Tais nitratos podem, através de agricultura ou água “potável” atingir os seres humanos, potencializando elementos cancerígenos. Obviamente, não é passível de comparação a quantidade de nitratos gerados nos aeroportos e os devidos à agricultura. Entretanto, o incremento gerado na concentração de nitratos pelas atividades aeroportuárias causa significativa poluição local.

Outros compostos que poluem o solo e água na área do aeroporto e proximidade são os metais pesados e inúmeros compostos de hidrocarbonetos gerados pelas operações nos aeroportos.

Uma operação relativamente comum em situações de emergência durante o voo é o descarte de combustível, um outro fator de poluição do solo e da água pela aviação e que é pouco citado pela literatura especializada. Esse descarte é uma opção a que o piloto pode recorrer para reduzir o peso total da aeronave, aumentando assim as chances de um pouso seguro, diminuindo as chances para a ocorrência de incêndios. Diz-se que o descarte é empregado em situação emergencial, pois normalmente a aeronave, perto de pousar, possui menos que 1/3 do combustível que ela possuía ao decolar (T&E, 1997). Em caso de erro de cálculo por parte do piloto ou pane na aparelhagem, durante determinado voo, torna-se necessário o descarte de combustível. Em um caso típico desta natureza, até 30 toneladas de querosene de aviação podem ser descartadas em um período de 15 minutos de voo (T&E, 1997).

Estudo realizado pela UNITED AIRLINES (1999) estimou as conseqüências ambientais devido ao descarte de combustível. Segundo tal estudo, o impacto ao meio ambiente vai depender da altitude e das condições climáticas assim, como da área possivelmente atingida. Observou-se que em clima tropical e úmido, característico de boa parte do Brasil, o querosene descartado evapora rapidamente e como resultado apenas 1/4 do descarte atinge o solo, onde é rapidamente degradado não causando maiores distúrbios ambientais. O estudo também ressaltou que grandes áreas podem ser poluídas quando o descarte ocorre durante chuva. Nesse caso, a decomposição pode levar dias ou meses.

Em todo o mundo, em 1995, foram descartados cerca de 3,8 milhões de toneladas de querosene em manobras de descarte de combustível (ou “dumping”) segundo estudo realizado pela BRITISH AIRWAYS (1996). O mesmo estudo observou que houve 128 manobras relatadas deste tipo e que houve aumento de 32% em relação a 1994 na quantidade de querosene descartado. Cabe ressaltar que a quantidade de manobras geradoras de descarte tende a ser superior às relatadas, pois muitas vezes, o descarte⁴⁵ é utilizado para compensar algum erro de cálculo do piloto ou da tripulação. A questão do descarte de combustível é mais um fator poluente e de característica local, tendo em vista, que tal operação ocorre quando a aeronave está próxima do pouso.

⁴⁵ Em 2001, foram relatadas a INFRAERO, 12 manobras para descarte de combustível, realizadas no espaço aéreo brasileiro (GARIO, 2002).

Estima-se, portanto, que a poluição da água e do solo devido a atividades nos aeroportos seja relevante, especialmente em nível local (em regiões próximas ao aeroporto).

As diversas atividades realizadas nos aeroportos podem causar, também, grande impacto na urbanização de uma área, em geral, atraindo novas residências ou comércio. A área destinada a este propósito e para construção do próprio aeroporto, às vezes, causa impacto em construções históricas e culturais de importância. Assim, como impactos na flora e fauna e outros campos especiais, como, por exemplo, campos arqueológicos. Em alguns casos, antigas comunidades podem ter de ser realocadas.

Além de todos os impactos ambientais de abrangência local citados, urge mencionar, também, que assim como todo grande pólo de atividades humanas (tais como *shopping centers*, grandes estádios, igrejas, etc.), um aeroporto gera lixo/resíduos de característica domiciliar e mesmo, hospitalar (que requer cuidados especiais no descarte) (RIBEIRO, 2003).

2.1.2 – O ruído e a aviação

A questão do ruído aeronáutico foi, desde os primórdios da história da aviação civil e até meados dos anos 90, o principal aspecto ambiental relacionado com a aviação e assim, tornou-se objeto das primeiras regulamentações, controle e monitoramento (T&E, 1999).

O grande problema do ruído causado pela atividade aérea é que o impacto gerado afeta diretamente a qualidade de vida da população que habita as proximidades de um aeroporto. Dependendo do horário da ocorrência, tempo de exposição, sensibilidade do receptor e frequência, o problema do ruído pode causar desde graves problemas auditivos a variados níveis de distúrbios psiquiátricos, de acordo com a INFRAERO (2003). E, curiosamente, a população que, em geral, sofre o incômodo do ruído não é costumais beneficiária das atividades aeroportuárias. Como, no Brasil, voar e morar razoavelmente bem ainda são típicos das classes mais privilegiadas, é o pobre que normalmente ouve os perturbadores ruídos devido às decolagens e aterrissagens das aeronaves, sem jamais viajar de avião. Essa livre análise, obviamente, não é regra, e muitas vezes a classe média e até mesmo a elite econômica sofrem o incômodo do ruído aeronáutico. Fato é que com o inchamento das megalópoles, morar em local silencioso tornou-se um raro privilégio.

Definido como “todo o ruído produzido por aeronaves em operação de pouso, decolagem, táxi, circulação e teste de motores” (ICAO, 1993a), o ruído aeronáutico tem como maior fonte geradora o motor das aeronaves, quer sejam a pistão, à hélice ou a jato. No caso dos aviões a jato, no qual o próprio jato da turbina é a fonte do ruído, os mais agressivos ruídos ocorrem durante o processo de decolagem. Além do motor, outra fonte geradora de ruído aeronáutico é de origem aerodinâmica.

Considera-se, também, como fonte de ruído aeronáutico, aquele gerado pelas unidades de força auxiliar que garante o fornecimento energético para os sistemas auxiliares do avião, iluminação, refrigeração, enquanto as turbinas permanecem desligadas, e para a partida dos motores. Em geral, as aeronaves requerem uma unidade de força auxiliar à bordo, a APU (sigla para *Auxiliary Power Unit*) como é comumente conhecida e uma no solo, a GPU (sigla para *Ground Power Unit*). Esse tipo de ruído possui intensidade muito inferior quando comparado ao produzido pelos motores ou aerodinamicamente e possui área de impacto restrita à parte interna do aeroporto. Entretanto, os funcionários responsáveis por atividades variadas no pátio são extremamente afetados. Felizmente, equipamentos individuais de proteção auricular tiveram seus custos reduzidos ao longo do tempo. Atualmente, tais equipamentos são utilizados em profusão por funcionários dos aeroportos.

A introdução das aeronaves comerciais a jato a partir da década de 1950 foi o evento histórico que possibilitou o aumento exponencial do ruído aeronáutico. As primeiras aeronaves a jato, adaptações de aeronaves militares utilizadas na Segunda Guerra Mundial, eram extremamente ruidosas, pois utilizavam na sua propulsão turbinas da primeira geração de motores, onde a questão do ruído não recebeu praticamente nenhuma atenção especial por parte dos projetistas. Nesta época ainda não existiam normas em relação ao controle do ruído aeronáutico, desta forma, a ICAO denomina tais aeronaves como NC (Não Certificadas) (ICAO, 1993). A Força Aérea Brasileira possui duas aeronaves do tipo Boeing 707 ainda em operação. Tais aeronaves são engenhos típicos dos anos 50, geradoras de intenso ruído aeronáutico (COMAER, 2002).

A redução do ruído ao longo das décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990, seguiu o conceito evolutivo para motores chamado de *by-pass*, onde o fluxo de ar percorre dois caminhos. Parte do ar passa por dutos de *by-pass* e outra parte passa pela câmara de

combustão da turbina, em taxas que foram aumentando ao longo do tempo. Em 1965 essa taxa era de cerca de dois para um. Atualmente (2003), tal razão chega a 10 para 1 em grande parte dos novos modelos. Essa divisão do fluxo de ar reduz a velocidade total da saída de gases da turbina. Com isto, o choque das moléculas de combustível queimado com as do ar é menos intenso. Além disso, a divisão do fluxo de ar aquece o ar desviado por fora da câmara de combustão a uma temperatura intermediária entre a combustão e a atmosfera, gerando uma camada isolada. A consequência, em ambos os casos, é a redução do ruído. Assim, a tecnologia dos motores passou de *low by-pass*, em 1960, para *high by-pass* nos dias de hoje. A evolução tecnológica é que propiciou o aumento da razão entre a quantidade de ar passante pelos dutos de *by-pass* e a parte passante pela câmara de combustão da turbina (LUCCHESI, 1999).

A tabela, a seguir, apresenta a evolução do ruído gerado por diferentes modelos de aeronaves características de suas épocas, em termos de decibéis.

Tabela 2.1: Evolução do ruído gerado por modelos de aeronaves: decibéis x anos

MODELO	DECIBÉIS	ANO
COMET 4	115	1954
707-100	114	1959
CV880-22	113	1961
737-100	107	1968
737-200	106	1970
747-100	100	1972
DC-10-30	95	1977
757-300	94	1984
767-300	93	1992
747-400	92	1993
777	94	1996

Fonte: BRETTAS, 2001.

Pela tabela anterior, observa-se que a tecnologia de projeto dos motores está no limite de seu desenvolvimento, em termos de geração de ruído. Os projetistas do moderno jato 777⁴⁶ optaram por leve aumento do ruído aeronáutico para, em contrapartida, obter melhoria na eficiência dos motores. Com o passar dos tempos, os projetistas notaram que o

⁴⁶ O Boeing 777 é tido, atualmente, como uma das mais seguras aeronaves do mundo. Graças a suas características aerodinâmicas, possui grande autonomia de vôo, podendo viajar 14.260 km sem necessidade de abastecimento. O Boeing 777 é equipado com dois motores GE 90-94 (entre outras opções de motores Rolls-Royce e Pratt & Whitney), com 94.000 libras de empuxo cada, e pode transportar até 287 passageiros (VARIG, 2003).

aumento da taxa de *by-pass* estava reduzindo a eficiência dos motores e a própria viabilidade de construção das aeronaves. Enfim, para reduzir ainda mais o ruído dos atuais aviões, seria necessário um considerável aumento de peso do motor pela tecnologia atual. Portanto, tendo em vista, que os atuais níveis de emissão sonora pela aviação (cerca de 90 decibéis) ainda são relativamente altos, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para a construção de motores aeronáuticos. O emprego de novos materiais, como ligas à base de lítio, kevlar e titânio, têm sido pesquisados nesse sentido (LUCCHESI, 1999).

A partir do início dos anos 90, o aspecto ambiental relacionado com a aviação que tem recebido maior foco de atenções pela comunidade científica internacional, é a questão das emissões de gases poluentes para a atmosfera, em nível local e global. Estima-se que isto tenha ocorrido, principalmente, pela maior preocupação da sociedade em relação à questão da Mudança do Clima. Há, também de se considerar, neste contexto, certa estagnação da tecnologia para redução de poluição sonora. Efetivamente, o grande desafio atual para a indústria aeronáutica tem sido fabricar aeronaves que emitam menos poluentes e sejam mais eficientes, econômicas e com maiores autonomias de vôo. Até mesmo o tradicionalmente agressivo marketing da aviação, tem-se voltado para tais questões, buscando sempre ressaltar melhorias nesse sentido.

O que efetivamente ainda pode ser feito para reduzir a emissão de ruído aeronáutico, sob a égide do atual estágio tecnológico, é o sucateamento (ou “aposentadoria”) progressivo de modelos com tecnologia de motores de primeira e segunda geração, ou seja, aeronaves cuja taxa de *by-pass* é menor que 3/1. Nesse caso incluem-se todas as aeronaves construídas até meados da década de 1970 como os modelos DC-8, Caravelle e Boeing 707. Razões de ordem econômica tem adiado o sugerido sucateamento, especialmente, em nações em desenvolvimento e com incipiente parque industrial.

2.1.3 – Poluição do ar local

A aviação contribui para a poluição local do ar de diversas formas. As principais são (RIBEIRO, REAL e D'AGOSTO, 2000):

- Emissões das aeronaves nos taxamentos;
- Emissões de fontes internas dos aeroportos, tais como as de veículos auxiliares;
- Estocagem, recebimento e entrega de combustível podem gerar emissões, especialmente de hidrocarbonetos, através de evaporação e perda natural;
- Emissões geradas pelo combustível utilizado para aquecer, iluminar, etc;
- Emissões devido à construção e manutenção de vias de acesso aos aeroportos;
- Emissões durante os processos de decolagem e aterrissagem. Sob tais circunstâncias ocorre geração, em grande quantidade, de óxidos de nitrogênio, compostos extremamente danosos ao solo e a água e, conseqüentemente, à saúde humana.

Em geral, os maiores níveis de poluição em aeroportos, ocorrem nos pátios de manobras e nos estacionamento para automóveis. Apesar de as medições de poluição priorizarem avaliações de médio e longo prazo (de um a seis meses), eventuais “picos de poluição” costumam ocorrer em aeroportos, dependendo da velocidade do vento e da temperatura. Em geral, observa-se que quando a temperatura ambiente é mais baixa, existe uma maior tendência para que as emissões de óxidos de nitrogênio influenciem negativamente na qualidade local do ar (RIBEIRO, REAL e D'AGOSTO, 2000).

Medições da poluição do ar em aeroportos europeus realizados no período de 1986 a 1996 (OECD, 1997), indicaram que o nível de poluição nos arredores e no próprio aeroporto é maior ou comparável ao que se registra nos grandes centros urbanos, independentemente de quão afastado do centro estiver o aeroporto. Um outro estudo realizado pela OECD (1997a) no aeroporto de Munique, em 1998, mostrou quando o aeroporto se situa no centro de um quadrado de 30 km x 30 km, todas as áreas residenciais inseridas “respiravam” a mesma qualidade de ar que outras áreas aparentemente mais poluídas (centro, auto-estradas, regiões de fábricas, etc.) de Munique. O mesmo estudo ressaltou que as emissões devido ao pouso ou decolagem de aeronaves são as maiores

fontes poluidoras do ar em regiões próximas ao aeroporto, desde que determinado perfil de ventos esteja atuante.

Em termos de poluição do ar local devido à movimentação aeroportuária, observa-se que um grave problema é o tráfego de alimentação ao aeroporto. A grande maioria dos passageiros, tripulação, funcionários ou qualquer pessoa que, por qualquer motivo, se dirija a um aeroporto o faz, a maioria dos casos, através de veículos motores (ônibus e automóveis, basicamente). A poluição gerada pelas emissões devido à queima do combustível de tais veículos constitui-se, normalmente, no fator que mais potencializa os níveis de poluição nos aeroportos ou proximidades.

A enorme quantidade diária de pequenas viagens rodoviárias com destino aos aeroportos gera uma não desprezível poluição. Tal poluição, dependendo do regime local de ventos, pode chegar a ser superior (para um período de um mês ou mais) do que a poluição devido às manobras de decolagem e aterrissagem das aeronaves, de acordo com estudo realizado, em 1999, em diversos aeroportos dos Estados Unidos (EPA, 1999).

Esse mesmo estudo observou que em determinados aeroportos, como o de Miami, as emissões de óxidos de nitrogênio devido aos veículos automotivos de alimentação aeroportuária chegavam a ser cerca de 9% superiores do que as emissões de NO_x , resultantes das manobras dos aviões. Pesquisas similares, realizadas na China e países da Europa, chegaram à mesma conclusão, ou seja, o tráfego rodoviário próximo ao aeroporto é o fator dominante na influência da qualidade do ar em regiões próximas aos aeroportos (T&E, 1997).

A poluição do ar local, devido à movimentação rodoviária de alimentação a aeroportos, é função do tipo de acessibilidade disponível. Assim, quando o poder público incentiva o transporte público, a tendência é a minimização deste tipo de poluição. A própria conscientização das pessoas pode auxiliar nesse sentido. Fato é que, atualmente, na grande maioria dos aeroportos do mundo, o afluxo de pessoas se dá através de transporte individual em detrimento ao coletivo. Nesse contexto, a tabela, a seguir, sintetiza resultados de estudo conduzido pela T&E (1999), realizado em aeroportos selecionados da Europa.

Tabela 2.2: Utilização de transporte coletivo no acesso aos aeroportos

AEROPORTO (INTERNACIONAL)	DISTÂNCIA PARA O CENTRO DA CIDADE (km)	USO DE TRANSPORTE PÚBLICO NO ACESSO AO AEROPORTO (%)
AMSTERDAM	10	28%
BRUXELAS	12	10%
DUSSELDORF	08	20%
HAMBURGO	09	8%
LONDRES	22	33%
MADRI	12	15%
MILÃO	07	13%
MUNIQUE	29	35%
PARIS (CHARLES DE GAULLE)	27	31%
ROMA (FIUMICINE)	30	30%
ZURIQUE	12	31%

Fonte: T&E, 1999.

Pela tabela anterior, estima-se que tenha havido planejamento sustentável a respeito do uso de transporte coletivo no acesso ao aeroporto de Londres. Possivelmente, tal planejamento tenha sido motivado pela busca de uma melhor qualidade do ar local na região londrina, tendo em vista os habituais altos níveis de poluentes registrados nesta região.

Nos últimos anos, nos Estados Unidos, Europa e Brasil, não se tem observado uma efetiva aplicação de medidas para reduzir o acesso, através de transporte individual, aos aeroportos. Muito ao contrário, em aeroportos como o de Viena, na Áustria, Detroit, nos Estados Unidos e Galeão/Tom Jobim⁴⁷ (Rio de Janeiro), no Brasil, tem-se expandido, notadamente, a área para estacionamento de veículos. Segundo estudo conduzido pela COMISSÃO EUROPÉIA (1992), um importante fator que induz a uma maior utilização de veículos próprios é o aumento de áreas de estacionamento. O que se observa é uma relação direta entre o uso de veículos próprios e o número de vagas para veículos. Enfim, o poder público tem, em geral, ajudado a tornar menos atraente o uso do transporte coletivo no acesso aos aeroportos. Sob tal contexto, é de se esperar um crescente aumento da poluição do ar local, em regiões onde se situam aeroportos.

⁴⁷ Em março de 2001 foi concluída a remodelação e ampliação do Aeroporto Internacional Tom Jobim (cujo nome completo é “Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Antônio Carlos Jobim”). Uma das principais características dessa reforma foi a ampliação do número de vagas para estacionamento de automóveis que foi duplicado, passando de 1.800 para 3.600 vagas (GARIO, 2003).

A construção de um novo aeroporto pode servir como força-motriz para o planejamento voltado à expansão de sistemas públicos de transportes. Pode inclusive, auxiliar a minimizar problemas como congestionamento de tráfego, por exemplo. Sabe-se que quanto maior a utilização de transportes coletivos, menor a tendência para ocorrência de congestionamentos. Enfim, um moderno aeroporto requer um sistema funcional de alimentação que priorize o transporte coletivo (ônibus e trens, basicamente), reduzindo a geração de poluição e os impactos ambientais correlatos.

Especificamente com relação ao uso de transporte férreo na alimentação de um terminal aeroportuário observa-se, segundo pesquisa da OECD (1997a), que quanto maior a abrangência territorial desse modal, maior a atratividade ao uso do mesmo – como nos casos dos aeroportos de Zurique e Paris, onde esse tipo de modal é mais utilizado que o rodoviário. De acordo com a mesma pesquisa, quando uma linha férrea conecta um aeroporto a regiões muito próximas, o transporte rodoviário é utilizado preferencialmente, como nos casos dos aeroportos de Hamburgo, Bruxelas e Milão. A promoção do uso de trens está diretamente relacionada à redução da poluição do ar local na região aeroportuária, já que não há combustão (e, conseqüentemente, não há emissão de poluentes) requerida para movimentação das modernas locomotivas elétricas.

2.2 - A Aviação como Força-Motriz para a Intensificação de Problemas Ambientais Globais

Paralelamente ao fato de estar havendo um aumento na emissão antropogênica de Gases de Efeito Estufa, o clima da Terra está em constante processo natural de mudanças. A esta conclusão chegou o Painel Intergovernamental em Mudanças Climática, o IPCC, em seu segundo relatório sobre mudanças climáticas, de 1995 (IPCC, 1995). Composto por renomados cientistas de todo o mundo, o IPCC ressaltou nesse estudo que, efetivamente, existe uma correlação entre as atividades humanas (indústria, transporte, etc.) e alguns impactos importantes no ecossistema global, tais como o aumento do nível dos oceanos, a desertificação mais acentuada ou uma maior quantidade de tempestades, dentre outros. Entretanto, observou-se ser extremamente difícil estimar com relativa precisão o quanto e como o clima da Terra está sendo afetado antropogenicamente.

O primeiro relatório do IPCC afirmou, coerentemente, que para minimizar o problema de mudanças climáticas provocadas pelo ser humano, de nada adiantariam medidas isoladas por área ou setor gerador de poluição. Todos os setores que geram emissões de CO₂, por exemplo, precisam passar por processos de restrições quanto a tais emissões devido ao caráter global associado aos impactos ambientais conseqüentes. Assim, por exemplo, medidas para reduzir as emissões dos motores das aeronaves devem ser acompanhadas por práticas semelhantes direcionadas a outros modais de transporte, à indústria em geral, ao setor residencial e ao público, dentre outros.

O que os cientistas atualmente consensuam é que, a despeito de as emissões possuírem caráter global de atuação, os efeitos ou impactos ambientais gerados são diferentes dependendo da região e do clima pré-existente. Assim, a questão do incremento antropogênico do Efeito Estufa seria desastrosa para Holanda, Bélgica ou Bangladesh. Por serem países localizados, em boa parte, abaixo do nível do mar, o aumento do nível dos oceanos inundaria grande parte do território de tais nações. Por outro lado, países muito secos com raras regiões agriculturáveis, teriam melhores condições, devido ao aumento do nível dos oceanos, para realizar o plantio. Nesse último caso, poder-se-ia citar a Arábia Saudita ou os Emirados Árabes. Enfim, além de a Mudança Climática ser uma questão complexa em termos científicos, também o é em termos políticos.

Recente relatório do Centro Hadley de Pesquisa e Previsão do Clima nos Estados Unidos, afirma ser grande a possibilidade de que a temperatura média da superfície da Terra, que hoje é de cerca de 18°C (graus Celsius), aumente em 3°C caso o aumento nas emissões de CO₂ continue nas mesmas proporções atuais até o ano de 2050. Nesse ano, segundo o citado relatório e como conseqüência do aumento de 3°C, o nível do mar aumentaria em cerca de 40 cm. O relatório ressalta também algumas conseqüências possíveis relacionadas a este aumento na temperatura da superfície terrestre que seriam, por exemplo, que 290 milhões de pessoas estariam sujeitas à malária; a fome atingiria cerca de 70% da população mundial; 3 bilhões de pessoas encontrariam dificuldades para obter água, etc. (HADLEY CENTER, 1999). Como se vê, trata-se de um relatório drástico, mas que fica aquém das cenarizações mais pessimistas do IPCC (2001), ou seja, a questão das mudanças climáticas devido à ação antropogênica pode, efetivamente, se políticas

mitigadoras não entrarem em ação o mais breve possível, causar grandes transtornos ao ser humano em futuro não muito distante.

No entanto, o documento mais relevante e consistente na perspectiva de ampla avaliação das causas, conseqüências e impactos causados pelas mudanças climáticas é, sem dúvida, o Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2001). As principais conclusões do Grupo de Trabalho I do IPCC ⁴⁸, apresentadas neste Terceiro Relatório, foram as seguintes:

- Pode-se afirmar que o clima global está mudando. As seguintes evidências, entre outras, são indicadoras desta afirmação:
 - A temperatura média da superfície da terra aumentou cerca de 0,6°C entre 1861 e 2000;
 - Os padrões de precipitação (chuvas) mudaram com uma maior incidência de chuvas mais fortes;
 - O fenômeno El-Niño tornou-se mais freqüente, persistente e intenso;
 - O nível do mar subiu de 10 a 20 cm entre 1900 e 2000.
- As atividades humanas estão mudando a concentração de GEE (Gases de Efeito Estufa) na atmosfera e esta mudança é principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento de áreas florestais;
- Há novas e mais conclusivas evidências de que a maior parte do aquecimento verificado nos últimos 50 anos é atribuível a atividades antrópicas;
- As mudanças regionais na temperatura estão associadas a alterações observadas em sistemas físicos, ecológicos e sócio-econômicos em todo o mundo. Exemplos são a retração das geleiras não glaciais, a redução em extensão e espessura do Mar Ártico durante o verão, o florescimento antecipado e o aumento do período de crescimento das plantas na Europa, migração de espécies vegetais e animais para maiores latitudes e altitudes, migração antecipada de pássaros, branqueamento de recifes de corais, aumento de perdas econômicas devido a eventos climáticos extremos, etc;

⁴⁸ O Grupo de Trabalho I do IPCC é encarregado de obter projeções de concentrações futuras de Gases de Efeito Estufa na atmosfera e de padrões de mudança regional e global da temperatura, de precipitação, do nível do mar e de eventos climáticos extremos.

- As emissões futuras de GEEs dependem do crescimento da população, do crescimento econômico, das mudanças tecnológicas, entre outros;
- Todos os cenários do IPCC, mesmo aqueles fortemente baseados em soluções ecológicas (uso intensivo de fontes renováveis de energia, redução do desmatamento e aumento do reflorestamento), projetam um acréscimo das concentrações de GEEs nos próximos 100 anos. Os vários cenários analisados chegaram às seguintes projeções:
 - A temperatura média superficial da terra aumentará entre 1,4 e 5,8°C entre 1990 e 2100, com um aumento maior para superfícies terrestres em relação aos oceanos;
 - Aumento global de chuvas, com aumentos e decréscimos locais, e aumento de eventos de precipitações pesadas/fortes;
 - O nível do mar subirá entre 9 e 88 cm entre 1990 e 2100;
 - Aumentará a incidência de eventos climáticos extremos como, por exemplo, inundações, secas, ondas de calor, ciclones tropicais, etc.

A figura, a seguir, resume o possível espectro de variações da temperatura da superfície da terra de 1000 a 2100, de acordo com previsão do IPCC (IPCC, 2001). Observa-se que na hipótese mais pessimista, a temperatura da superfície da terra seria, em 2100, cerca de 6°C superior à registrada para o ano de 2000. Sob tais circunstâncias, diversos problemas atuais, tais como a fome, a seca ou a disseminação de doenças tropicais seria, em muito, intensificados.

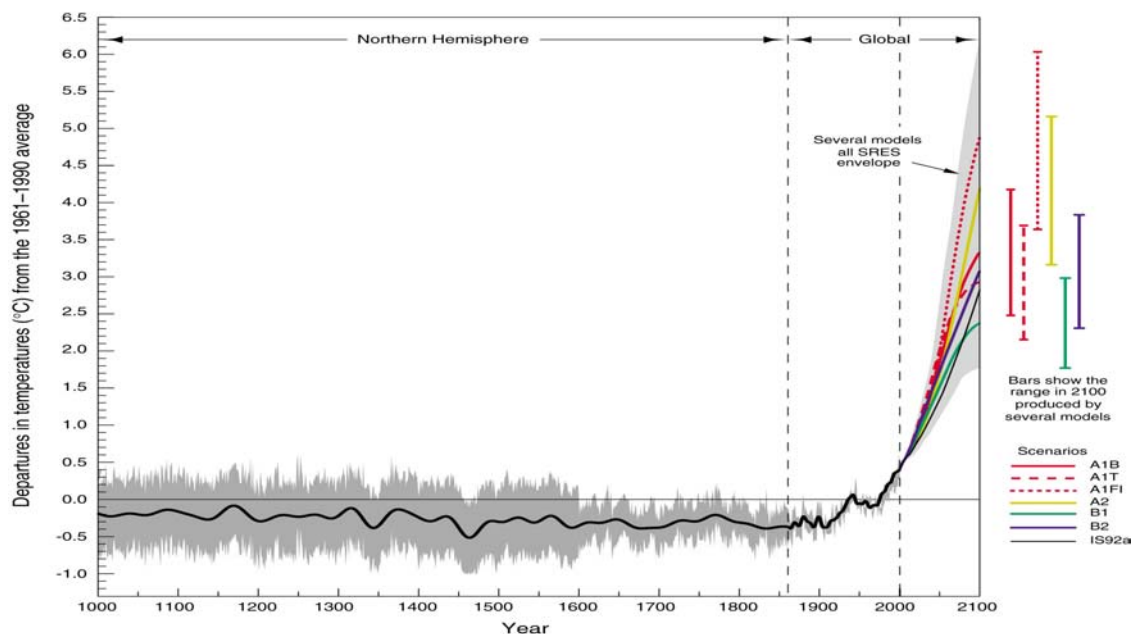


Figura 2.1: Variações da temperatura média da superfície da Terra de 1000 a 2100
 Fonte: IPCC, 2001.

Neste contexto, insere-se o setor de aviação. Afinal, a atividade aérea gera emissão de poluentes diretamente relacionados à intensificação de problemas ambientais globais. O IPCC (1999), baseando-se em medições da NASA⁴⁹, da ICAO e dos grandes fabricantes mundiais de motores aeronáuticos afirma que as emissões devido às aeronaves têm causado mudanças na composição química da atmosfera. Especialmente, a baixa estratosfera e a alta troposfera, onde ocorrem 95% dos vôos (DAMERIS, 1997), tem tido suas composições químicas alteradas devido ao setor aéreo. O IPCC (1999) avalia, também, que a aviação supersônica está influenciando no aumento da depleção da camada de ozônio. Estima-se que isto esteja ocorrendo devido aos vôos militares supersônicos emitirem muitos compostos danosos ao ozônio estratosférico em altitudes elevadas (acima de 12 Km), aumentando assim a efetividade das reações químicas degradantes (IPCC, 1999).

Enquanto outros modais de transporte afetam o clima global devido principalmente ao aquecimento causado pelo CO₂ emitido, o setor aéreo afeta o clima global sob diversos aspectos.

⁴⁹ Fundada em 1952, a *National Aeronautic and Space Administration*, a NASA, é a agência norte-americana encarregada do planejamento e operacionalização de viagens espaciais, do lançamento de satélites artificiais, além de realizar inúmeros estudos e pesquisas de âmbito aeroespacial.

Para avaliar a contribuição de cada componente emitido na questão da Mudança Climática Global, a comunidade científica cunhou o termo “forçamento radiativo”. Esse forçamento representa a mudança no balanço energético da atmosfera terrestre devido a determinado composto e é baseado em uma média global anual (GREENHOUSE, 2003). A unidade utilizada para medir o forçamento radiativo é expressa em watts/m^2 (GREENHOUSE, 2004). A figura, a seguir, apresenta o forçamento radiativo devido à aviação, em 1992.

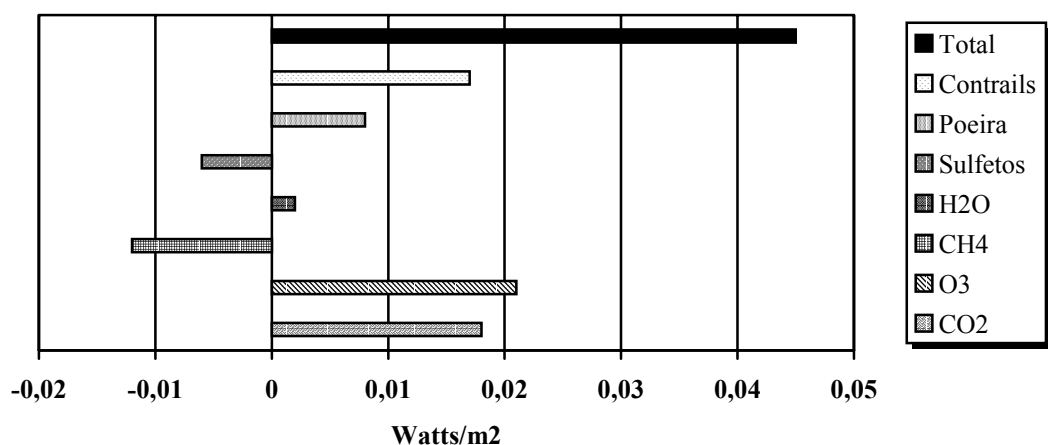


Figura 2.2: Forçamento radiativo devido à aviação em 1992

Nota: O Ozônio (O₃) é formado a partir da emissão aeronáutica de NO_x em altitudes troposféricas (em geral, abaixo de 10 km de altitude) .

Fonte: IPCC, 1999.

A diversidade dos compostos emitidos, como retrata a figura anterior, explica, em parte, as diferentes formas com que a aviação relaciona-se aos problemas ambientais globais. Em termos quantitativos, o valor de cerca de $0,04 \text{ W/m}^2$ para o forçamento radiativo total devido à aviação, expresso na figura anterior, denota que o transporte aéreo é o segundo modal que mais influencia as mudanças climáticas globais. O modal rodoviário causa um forçamento radiativo total (somando a contribuição de todos os poluentes gerados) de cerca de $0,12 \text{ W/m}^2$, enquanto os outros modais (hidroviário, ferroviário, humano, etc.) somam juntos cerca de $0,03 \text{ W/m}^2$ (T&E, 1999). A emissão global de CO₂, por modal de transporte, guarda semelhança com a questão do forçamento radiativo, conforme se observa na tabela, a seguir.

Tabela 2.3: Percentual na emissão global de CO₂ por modal de transporte (1995)

MODAL	PERCENTUAL DE CO ₂ EM NÍVEL GLOBAL
RODOVIÁRIO	82%
AÉREO	12%
FERROVIÁRIO	6%
HIDROVIÁRIO	3%
OUTROS	7%

Fonte: AEF, 1997.

2.2.1 – Aviação e Efeito Estufa

2.2.1.1 – Singularidade na contribuição de cada poluente

Os efeitos da aviação na questão do aquecimento global, relacionado ao incremento do Efeito Estufa, deve ser analisado de forma criteriosa. O potencial de aquecimento global⁵⁰ de cada poluente emitido não pode, simplesmente, ser somado um ao outro no intuito de se prever o potencial total de aquecimento devido à aviação. Desta forma, incorre-se em erro conceitual pelos seguintes fatores:

- Cada substância emitida possui características diferenciadas e particulares que induzem a diversos níveis de disseminação na atmosfera e, conseqüentemente, cada substância afeta singularmente o Efeito Estufa. No caso do CO₂, por exemplo, a disseminação e influência são de caráter global. Já no caso do ozônio, observa-se maior efetividade no Hemisfério-Norte (BARRET, 1997);
- Cada substância, que gera aquecimento, possui característicos tempos de reação ou atuação. O NO_x rapidamente se transforma em ozônio (ou o destrói se a emissão for estratosférica) causando efeito quase que imediato no clima. Enquanto que o CO₂, por exemplo, é muito mais lento em seu processo de indução ao aquecimento global (BRASSEUR et al., 1996);

⁵⁰ Mais referenciado na literatura especializada como GWP (*Global Warming Potential*), o potencial de aquecimento global tem como referência básica a influência no aquecimento global de uma molécula de dióxido de carbono, o CO₂.

- Resfriamento em nível regional pode causar aumento na turbulência energética da atmosfera, criando tempestades e precipitações regionais. Assim o ozônio, que devido à sua influência na depleção da camada de ozônio (induzindo a resfriamento), não pode de forma alguma ter seu efeito somado ou subtraído do referente ao CO₂, que se relaciona, intrinsecamente, ao aquecimento global (BRASSEUR et al., 1996);
- O nível de conhecimento atingido pela comunidade científica mundial difere muito com relação ao efeito indutor de aquecimento global de cada composto emitido. Nesse sentido, a imprecisão de dados quantitativos tem contribuído negativamente (BARRET, 1997).

A despeito da impossibilidade de se somar ou subtrair efeitos no aquecimento devido aos poluentes gerados pela atividade aérea, é possível estimar o forçamento radiativo total devido a este modal de transporte. Diversos estudos vêm sendo conduzidos pela NASA, ICAO (CAEP, em especial) e IATA além de outros organismos internacionais objetivando caracterizar da forma mais precisa possível o quanto a aviação está influenciando na questão do aquecimento global (T&E, 1999). Entretanto, em algumas áreas do conhecimento correlatas, muitas incertezas ainda persistem. A despeito das incertezas remanescentes, avançado progresso tem sido atingido em algumas áreas vitais para entendimento do complexo relacionamento entre aviação e Efeito Estufa. Poderia-se citar a área da meteorologia, por exemplo.

A tabela, a seguir, apresenta a influência no Efeito Estufa Global devido ao consumo de uma quantidade padrão de combustível (1.000 litros) por diferentes substâncias geradoras de aquecimento e modais de transporte. A efetividade da atuação de cada substância (ou gás de efeito estufa) é comparada ao CO₂ (que representa o padrão) e a avaliação abrange um período de 100 anos.

Tabela 2.4: Influência de Gases de Efeito Estufa no aquecimento global por modal de transporte. Padrão: CO₂

GÁS DE EFEITO ESTUFA	AUTOMÓVEIS/ TRENS/NAVIOS (valor médio para os três modais)	AERONAVES	NÍVEL DE CONHECIMENTO PELA CIÊNCIA
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1	1	BOM
Ozônio (Via Óxidos de Nitrogênio)	0,2	0,5 - 2	MÉDIO
<i>Contrails</i> (Rastros de Condensação)	0	0,5 - 2	RUIM
Vapor d'água (H ₂ O)	0	0,5	MÉDIO
Compostos de Enxofre	?	0,5	MUITO RUIM
Total	1,1	2 - 5	RUIM

Fonte: T&E, 1999.

A análise, em qualquer nível, da tabela anterior deve, obviamente, ser qualitativa e não quantitativa. Mas, de qualquer forma se no mundo existissem mais aviões que carros, trens ou navios, o aquecimento global já teria alcançado níveis extremamente perigosos ao planeta e aos seres humanos. A frota mundial de cerca de 16.000 aeronaves⁵¹ é ínfima, quando comparada aos quase 800 milhões de automóveis que circulam hoje (2002), em todo o mundo (T&E, 1999).

2.2.1.2 – Aviação e o estoque de carbono

Os seres humanos, devido às mais diferentes atividades, são responsáveis pela geração de cerca de 22 bilhões de toneladas de CO₂ por ano⁵². E para que o incremento do Efeito Estufa fosse “estancado”, seria necessário que a emissão anual de CO₂ fosse de cerca de 8,8 bilhões de toneladas (IPCC, 1990). Paralelamente, outros gases como os óxidos de nitrogênio e o metano precisariam ser menos emitidos em proporção semelhante ao CO₂, ou seja, uma redução próxima a 60% nas emissões anuais (IPCC, 1990).

Dividindo-se a população mundial de cerca de 6 bilhões de pessoas (em 1990) por 8,8 bilhões de toneladas de CO₂, obtêm-se 1,5 toneladas de CO₂ per capita por ano (IPCC, 1990). Esse valor corresponderia então ao máximo que cada habitante do planeta poderia

⁵¹ Contabilizando-se, unicamente, as aeronaves utilizadas no transporte regular de passageiros ou de cargas (que são os setores da aviação de maior consumo energético).

⁵² O valor de 22 bilhões de toneladas de CO₂ representa a média para os primeiros cinco anos da década de noventa (IEA, 1999).

emitir anualmente. Além dos 1,5 ton per capita/ano, o Efeito Estufa já deixaria de ser um fenômeno unicamente natural e passaria a sofrer incrementos. Para se ter uma idéia de quão longe a humanidade está longe deste valor a figura, a seguir, apresenta a emissão per capita anual de toneladas de CO₂ calculada, em 1995, pela EPA (2002), para países selecionados. Observa-se que há nítida relação entre o nível de riqueza ou industrialização de um país com sua emissão per capita.

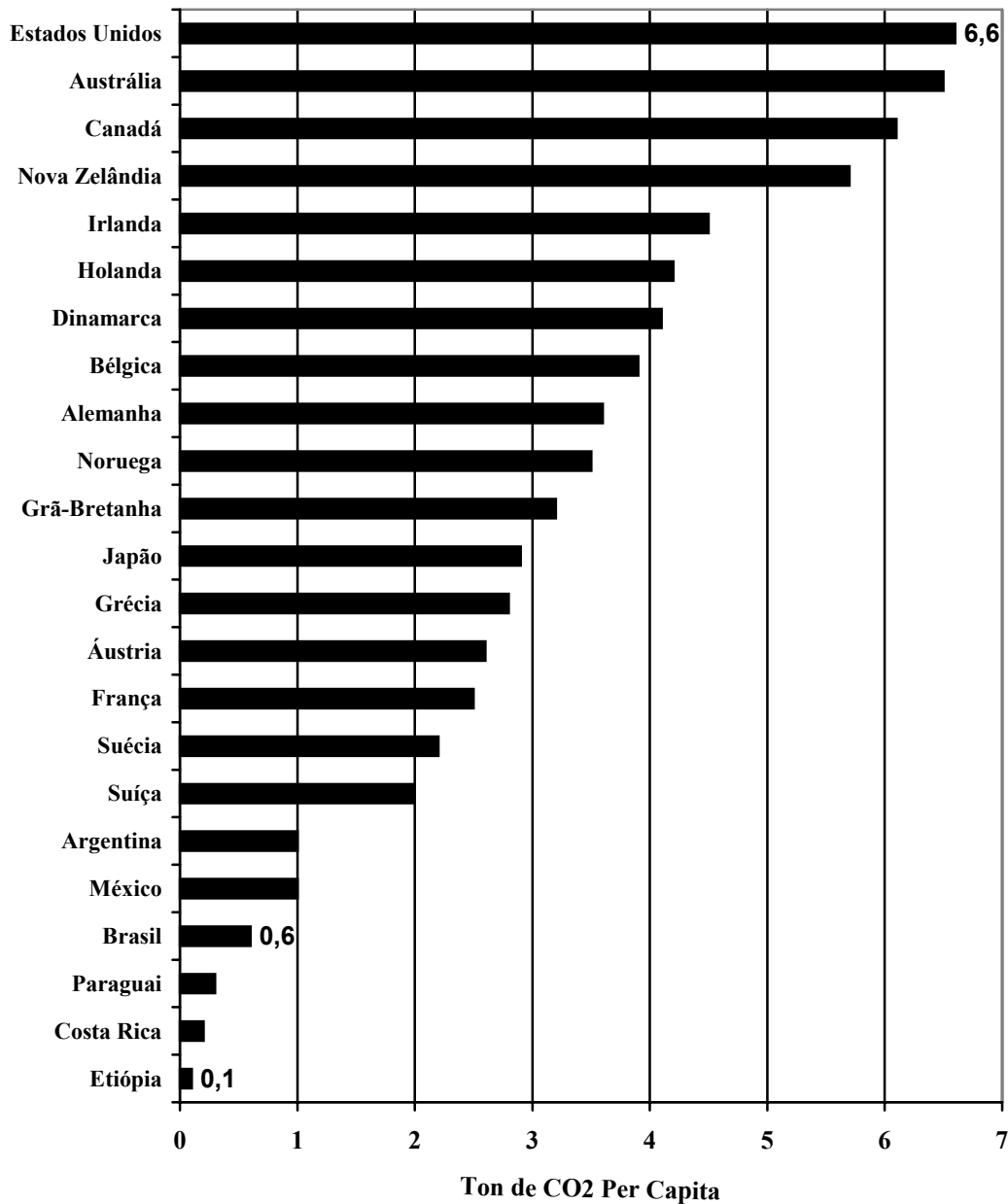


Figura 2.3: Emissão de toneladas de CO₂ per capita para países selecionados (1995)

Fonte: EPA, 2002.

Mais de $\frac{1}{4}$ das emissões globais de CO₂ são geradas pelo setor de transportes dos países industrializados (SCHÄFER e VICTOR, 1998). Ainda fortemente dependente de combustíveis fósseis, o setor de transportes causa ampla degradação ambiental. Dentre os modais de transporte aquele que gera maior emissão de CO₂ per capita é o transporte aéreo. Um passageiro em um voo entre o Rio de Janeiro (Brasil) e Sidney (Austrália) responde pela emissão de cerca de 8 toneladas⁵³ de CO₂, o que equivaleria a pouco mais de 5 vezes o valor de 1,5 ton de CO₂ per capita, necessário à manutenção unicamente natural do Efeito Estufa. Nessa hipotética viagem entre Rio de Janeiro e Sidney, de cerca de 16 horas (sem escalas), o passageiro teria “consumido” tanto CO₂ quanto em 5,2 anos de “consumo recomendável” (de cerca de 1,5 toneladas ao ano \approx 7,5 toneladas em 5 anos).

Desde 1990, observa-se que o transporte aéreo tem sido a atividade econômica que mais rapidamente tem crescido em termos de emissões anuais per capita de CO₂ (IPCC, 1999; WORLD BANK, 2000). Portanto, relativamente, o setor aéreo é um dos principais responsáveis pelo incremento do Efeito Estufa. Obviamente, em termos absolutos, devido ao pequeno porte da frota (quando comparada ao modal rodoviário), a aviação ainda não causa grandes distúrbios à atmosfera e ao clima global. Entretanto, a preocupação por parte da comunidade científica com relação a esta questão, deve ser cada vez maior tal é a voracidade de crescimento do setor aéreo (ANGEL, 1989; FAA, 1997; BOEING, 1998). Em 1970, a emissão per capita de CO₂ por um passageiro da aviação civil era de cerca de 60 Kg (de CO₂). Vinte e cinco anos depois, em 1995, este valor dobrou, atingindo cerca de 120 Kg (OECD, 2001).

Utilizando-se o valor de 1,5 toneladas de CO₂ emitidas anualmente como o ideal em termos de contribuição individual visando a estabilização do Efeito Estufa, elaborou-se a tabela apresentada, a seguir. Exprime-se nessa tabela os efeitos climáticos devido à aviação, através de algumas rotas tradicionais partindo de Frankfurt, na Alemanha.

⁵³ O valor de 8 toneladas de CO₂ emitido no percurso aéreo Rio de Janeiro – Sidney foi obtido através de cálculos inseridos no contexto deste Trabalho e baseados em dados fornecidos pela VARIG (2002) a respeito da quantidade de combustível usualmente empregada no referido percurso, da quilometragem total do trecho e de conhecimentos prévios sobre motores aeronáuticos.

Tabela 2.5: Avaliação climática comparativa, por diferentes rotas aéreas

Vôo entre Frankfurt e...	Distância (km)	Quantidade média de combustível consumido por passageiro por 100 km (em litros)	Quantidade total de combustível consumido por 1 único passageiro durante o percurso (em litros)	Influência no clima da terra (em relação a aumentar o Efeito Estufa antropogênico) quando comparado a um hipotético automóvel percorrendo a mesma distância (em anos)
Hamburgo	830	10	83	0,1
Palma de Mallorca	2.500	7,5	190	1,5
Tenerife	6.500	6,0	390	3,0
Nova Iorque	12.400	6,0	750	6,0
Wellington	40.600	6,1	2.500	12,0

Fonte: T&E, 1999.

Pela tabela anterior, observa-se que em uma única viagem entre Frankfurt e Nova Iorque, um passageiro “gera” uma emissão de CO₂ equivalente a 10 anos de emissão recomendável, que induza a estabilização do Efeito Estufa. A aviação está, efetivamente, contribuindo para incrementar o Efeito Estufa e, conseqüentemente, aumentando o aquecimento do clima global. Quanto a isso não há dúvida por parte da ciência (IPCC, 1999). O que muito se discute é o quanto tal setor está induzindo a mudanças climáticas. Na verdade, busca-se saber quando a aviação passará a causar perturbações sensíveis ao clima global a tal ponto de haver a necessidade de aplicações de políticas ambientais mitigadoras. Na verdade, o momento para se introduzir políticas mitigadoras (de emissões de CO₂, por exemplo) é agora (ou quanto antes possível). Afinal, devido ao efeito cumulativo dos poluentes emitidos, mesmo que hipoteticamente, “de uma hora para outra”, nenhuma grama de CO₂ fosse emitida pela humanidade, a intensificação antropogênica do Efeito Estufa ainda continuaria a influenciar o clima da terra, por décadas e décadas.

2.2.1.3 – Emissões devido à aviação: uma mistura de substâncias indutoras ao aquecimento global e a importância do CO₂ nesse contexto

A aviação contribui atualmente com cerca de 3,5% de todo o dióxido de carbono emitido antropogenicamente e tais emissões relacionam-se ao incremento do Efeito Estufa, o que já é considerado fato pela comunidade científica mundial (IPCC, 1999). Outros importantes gases de Efeito Estufa (tais como os óxidos de nitrogênio, o vapor d'água e os compostos de enxofre) são, também, gerados pela atividade aérea. Em verdade, as emissões das aeronaves são autênticos “coquetéis” de substâncias aquecedoras do clima da Terra.

Os óxidos de nitrogênio emitidos pela aviação subsônica tendem a aumentar, pelas reações químicas subseqüentes, a concentração de ozônio na alta troposfera e na baixa estratosfera. E, o aumento na concentração de ozônio na alta troposfera induz ao aquecimento global já que o ozônio é um potente Gás de Efeito Estufa (IPCC, 2001). As aeronaves são também responsáveis pelo incremento na concentração de vapor d'água na baixa estratosfera, que é também um importante GEE.

Apesar de possuírem impactos no clima global relativamente menores quando comparados a outras substâncias emitidas pela aviação, os compostos de enxofre e a poeira tendem a aquecer a superfície da Terra e são também importantes na formação de nuvens do tipo *cirrus*, assim como o vapor d'água. Apesar de alguns questionamentos remanescentes, pesquisas (KNISCH, 1995; BRASSEUR et al., 1996) indicam que esse tipo de nuvem induz ao processo de aquecimento do clima terrestre.

Quando um motor de aeronave “queima” combustível, dióxido de carbono e água, são formados da mesma forma como acontece com os automóveis. Ambas as substâncias mencionadas atuam como Gases de Efeito Estufa e a quantidade de combustível consumido possui relação direta com a quantidade de poluente emitido. É importante ressaltar que o nível das emissões de uma aeronave está muito mais relacionado ao tipo e porte do motor do que ao modelo. Além das características do motor, o perfil das emissões de um avião relaciona-se às condições operacionais, altitude, temperatura e tipo de combustível empregado. A exceção é a emissão de dióxido de enxofre que depende unicamente da quantidade de enxofre contida no combustível.

Dos gases de Efeito Estufa emitidos por aeronaves, aquele que tem sido motivo de maior preocupação (por parte da comunidade científica internacional, em especial) – em relação à questão da Mudança Climática – é, sem dúvida, o dióxido de carbono (IPCC, 1999). O fato de sua emissão caracterizar-se por crescentes níveis e em quantidades sempre muito superiores a outros poluentes emitidos pelas aeronaves torna o CO₂ (ou sua emissão), alvo de muitas pesquisas e estudos visando à mitigação de impactos ambientais, em especial aqueles relacionados ao incremento do Efeito Estufa e, o conseqüente aquecimento antropogênico global.

O dióxido de carbono é o mais importante Gás de Efeito Estufa e possui grande efetividade no processo de elevação da temperatura da superfície da Terra devido às atividades do ser humano (SCHÄFER e VICTOR, 1998). O problema ambiental gerado pelo CO₂ é ainda mais agravado pelo fato de este gás permanecer cerca de 100 anos na atmosfera, após ser emitido (CAPROS e KOKKOLAKIS, 1997). Assim, mesmo que imediatamente em todo o planeta cessasse a emissão de CO₂, os efeitos ou impactos ambientais resultantes seriam, inevitavelmente, observados até meados do século XXII. Trata-se de um gás que se dissemina globalmente após a emissão local, através da circulação atmosférica natural. Em um período de cerca de 10 anos, segundo a NASA (1992), o CO₂, depois de determinada emissão local, se encontra disperso por toda a estratosfera e troposfera.

Em termos globais, o transporte rodoviário é a atividade que gera a maior parte das emissões de CO₂ (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998). Ressalta-se que o setor de transportes é aquele que tem crescido mais rapidamente do que todos os outros setores em termos de emissões globais de CO₂ (VEDANTHAN E OPPENHEIMER, 1998). Cenarizações desenvolvidas pela COMISSÃO EUROPÉIA (1997) indicam que esse setor, como um todo, crescerá cerca de 40% nos próximos 20 anos. Tal crescimento irá, obviamente, impulsionar as emissões de CO₂ causando preocupantes problemas ambientais locais e globais. Enfim, o contexto requer que ações voltadas à minimização de impactos ambientais sejam colocadas em prática, o mais breve possível.

Dentre todos os modais de transporte, a aviação é o setor que mais rapidamente tem crescido (IPCC, 1999). Mundialmente, na década de noventa, a voracidade de expansão do

transporte aéreo³² foi superado apenas pelos setores de informática e telecomunicações (T&E, 1999). A principal consequência ambiental de tamanho crescimento tem sido a emissão de preocupantes níveis de CO₂. Estima-se que o tráfego aéreo seja responsável por cerca de 11% de todo o CO₂ emitido na Europa (COMISSÃO EUROPÉIA, 1997), que é atualmente a região do planeta mais suscetível a problemas ambientais devido à atividade aérea, tendo em vista o intenso tráfego.

Ao longo da década de 1990, registrou-se taxas da ordem de 6% para o crescimento anual do tráfego aéreo mundial (MICHAELIS, 1997). Se forem mantidos tais níveis de expansão, perto de 2020 o tráfego aéreo corresponderá ao dobro do observado em 2001 e a emissão de CO₂ pelo setor deverá aumentar em cerca de 80% (em 2020), de acordo com estudo da AEF (2001). Tal estudo considerou que não deverá haver nos próximos 20 anos uma sensível melhora na eficiência energética das aeronaves.

Em 1992, estudo da NASA apontou que as emissões de CO₂ devido às aeronaves havia causado o acúmulo de 0,14 Giga toneladas de carbono na atmosfera (NASA, 1992). Este valor corresponderia então, de acordo com o mesmo estudo, à cerca de 2% de todo o dióxido de carbono emitido antropogenicamente e perto de 13% do total de CO₂ emitido pelo setor de transportes. Em 1999, o IPCC, através de relatório especial (IPCC, 1999), indicou que as emissões de CO₂ pela aviação já atingia cerca de 3,5% em relação ao total emitido pelas atividades humanas. Segundo o relatório do IPCC, o setor aéreo pode, em 2050, responder pela emissão de até 1,45 Gt de carbono no cenário mais drástico em termos ambientais. Assim, a emissão de CO₂ em 2050 seria cerca de 10 vezes maior do que em 1992.

Dados recentes da EPA apontam que a emissão mundial de CO₂ pela aviação em 2002 foi de cerca de 62,6 milhões de toneladas (EPA, 2002). Isso significa dizer que o tráfego aéreo continua sendo responsável por cerca de 3,5% do total de CO₂, emitido antropogenicamente (EPA, 2002). Trabalho conduzido pela Comissão Européia indica que 25% das emissões de CO₂ devido à aviação sejam originadas pelo transporte aéreo de cargas (COMISSÃO EUROPÉIA, 1997).

³² Logo após os atentados terroristas de 11 de setembro de 2001, a aviação mundial sofreu acentuada queda na demanda (IATA, 2003). Entretanto, segundo recentes dados da ICAO (2002), o setor de aviação a partir de janeiro de 2002, voltou a ser o terceiro em termos de expansão de atividades econômicas superado apenas pelos setores de informática e telecomunicações.

2.2.1.4 – Emissões devido à aviação sob a ótica das camadas atmosféricas

A maioria dos vôos ocorre entre a alta troposfera e a baixa estratosfera, ou seja, entre 9 e 12 Km de altitude e, conseqüentemente, é onde registra-se a maior quantidade de emissões devido a atividade aérea (FORTUIN et al., 1995). Todo o processo de alteração do clima da Terra pela aviação se inicia nessa região da atmosfera, que varia em sua espessura, de acordo com a latitude (DLR, 1997).

A latitude induz alterações na espessura da troposfera e da estratosfera. Na Europa, por exemplo, a troposfera vai do solo a aproximadamente 10 km de altitude e a estratosfera abrange cerca de 40 km, indo de 10 km a 50 km de altitude (DLR, 1997). Já na América do Sul, a troposfera pode atingir 12 km de altitude e a estratosfera chega à cerca de 54 km de altitude em seu limite superior (DLR, 1997). Apesar de variações na espessura da faixa de ocorrência da maioria dos vôos, estudo realizado pela NASA (1999), aponta que a altitude média da maioria dos vôos em todo o planeta é de cerca de 12,2 km.

Quando o calor do sol reirradiado da Terra para a atmosfera é aprisionado por determinados gases poluentes (gases de Efeito Estufa) ocorre então, o incremento antropogênico do fenômeno do Efeito Estufa. Apesar de o clima da Terra ter sofrido alterações marcantes ao longo da própria história do planeta, o aumento de 0,5°C na temperatura global no curto espaço de tempo de um século (o século XX) é bastante preocupante, tendo em vista que os ecossistemas requerem tempo muito superior para se adaptarem seguramente a variações dessa ordem (IPCC, 2001). A aviação, pelo fato de emitir Gases de Efeito Estufa já na região onde ocorre boa parte do aprisionamento de raios solares reirradiados da Terra, possui grande efetividade com relação a induzir ao aquecimento global. A preocupação passa a ser maior quando se observa a notável expansão do setor aéreo nas últimas duas décadas e as previsões de crescimento, sempre indicando forte expansão para os próximos anos (IPCC, 1999).

2.2.1.5 – Rastros de condensação: nuvens atuando como um “Efeito” Estufa Local”

Rastros de condensação podem, dependendo da composição de gases da atmosfera, ser formados logo atrás das aeronaves em altitudes superiores a 10km. Nessa altitude a temperatura é muito baixa ($\approx -50^{\circ}\text{C}$) e o ar, rarefeito. Em tais circunstâncias, as moléculas dos gases emitidos pela exaustão dos motores das aeronaves tendem a se aderir às moléculas do vapor d'água existentes na atmosfera, formando, desta forma, os rastros de condensação (BAKAN et al., 1994).

Os rastros de condensação podem alcançar cerca de 10 quilômetros de extensão e durar até alguns dias, dependendo das condições meteorológicas. Tais rastros são indistinguíveis, pelo olho humano, de nuvens do tipo *cirrus* formadas naturalmente (BAKAN et al., 1994).

Estudo da NASA (1992) indica que os rastros de condensação cobriam cerca de 0,1% da superfície terrestre em 1992 e que havia uma maior concentração de tais rastros em regiões de intenso tráfego aéreo, como nos Estados Unidos e Europa. Em 1997, estudo semelhante realizado pela Comissão Européia estimou que na Europa Central os rastros de condensação chegavam a cobrir quase 1% dos céus nesta região (COMISSÃO EUROPÉIA, 1998). Em alguns corredores de vôos específicos e de tráfego intenso na Europa a cobertura de áreas do céu pelos rastros de condensação chega a atingir cerca de 5%, conforme trabalho realizado, em 1996, por pesquisadores escandinavos (GRAF et al., 1996).

O IPCC (1999) estima que a formação dos rastros de condensação ocorrerá de forma mais acelerada do que o próprio consumo de combustível aeronáutico a despeito de melhoras na eficiência energética das aeronaves.

A figura, a seguir, explicita as áreas do globo onde o tráfego aéreo é mais intenso. Obtida através de sistemas computacionais e com o auxílio de satélites específicos para análises meteorológicas, a figura apresentada indica as regiões mais suscetíveis à formação de rastros de condensação. Observa-se que a Europa, os Estados Unidos e regiões mais industrializadas da Ásia possuem tráfego aéreo intenso e assim, a formação dos rastros de condensação é mais provável, dependendo de condições meteorológicas propícias. Em geral, quanto mais baixa a temperatura e maior a quantidade de vapor d'água atmosférico,

maior a possibilidade de formação de rastros de condensação. Observa-se, pela Figura 2.4, que o eixo Rio de Janeiro – São Paulo já é uma região suscetível ao aparecimento de tais rastros.

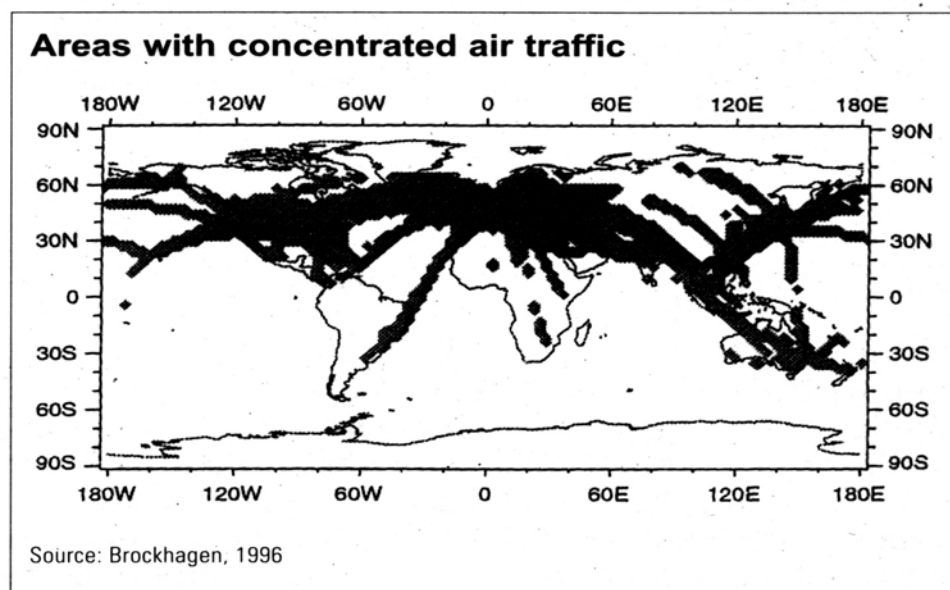


Figura 2.4: Áreas do globo com alta concentração de tráfego aéreo

Fonte: IPCC, 1999.

Nas regiões de tráfego aéreo muito intenso, os rastros de condensação podem atuar como um Efeito Estufa de influência local. Um alicerce para tal análise reside no fato de que em determinadas áreas da Europa Central sob constante cobertura dos rastros de condensação, registrou-se elevação na temperatura de aproximadamente $0,8^{\circ}\text{C}$ (NASA, 1992). Tal elevação é cerca de 80% superior ao aumento antropogênico da temperatura global registrado desde o início do século XX (IPCC, 1999).

Devido à imprecisão de dados meteorológicos muitas incertezas ainda persistem no seio da comunidade científica mundial com relação ao entendimento preciso, a respeito da formação e atuação dos rastros de condensação. Entretanto, observa-se convergência para o entendimento de que os rastros de condensação atuam efetivamente como um Efeito Estufa de influência local (IPCC, 1999).

2.2.1.6 – Vapor d'água gerado pelo tráfego aéreo

Quando o vapor d'água é emitido próximo ao nível do mar possui pouca significância em termos de impactos ambientais. Entretanto, acima de 10 km de altitude, onde as temperaturas são tipicamente inferiores a - 40°C e a atmosfera é extremamente seca (rarefeita), o vapor d'água induz ao fenômeno do Efeito Estufa (PONATER et al. 1998).

A maior parte do vapor d'água emitido pelas aeronaves aloca-se na troposfera. Nessa camada atmosférica a permanência do vapor d'água é relativamente curta e pela precipitação, a tendência é de que ele seja removido em no máximo duas semanas. Nessas condições, o vapor possui pouca importância no fenômeno do Efeito Estufa. Porém, quando a emissão se dá em altitudes elevadas, acima de 11 km aproximadamente, o vapor d'água atua efetivamente como um Gás de Efeito Estufa, auxiliando no processo de aquecimento global. Em altitudes estratosféricas, o vapor d'água resiste muito mais tempo por escapar ao processo de formação de nuvens e, conseqüentemente, ao processo de precipitação (T&E, 1999).

As emissões de vapor d'água pela aviação respondem por cerca de 15% de todo vapor d'água encontrado na estratosfera, de acordo com estudo da NASA (1999). Em termos globais, o vapor d'água devido a atividades aéreas possui um forçamento radiativo de aproximadamente 0,002 W/m² (IPCC, 1999). Assim, como outros tópicos relacionados ao Efeito Estufa, a influência precisa do vapor d'água no referido fenômeno ainda não é de conhecimento pleno. Converte-se, porém, no entendimento de que o vapor d'água quando emitido na estratosfera atua como Gás de Efeito Estufa, retendo a radiação solar proveniente da Terra. Outro item de convergência com relação ao vapor d'água é o fato de o incremento no Efeito Estufa provocado por uma molécula desse gás ser cerca de 100 vezes superior ao causado por uma molécula de dióxido de carbono (IPCC, 1999).

2.2.1.7 – As emissões aeronáuticas de aerossóis

Aerossóis são pequenas partículas em suspensão, em geral sulfatadas, que exercem influência no clima da Terra. Algumas pesquisas (FORTUIN et al., 1995; GARDNER et al., 1996) direcionadas ao entendimento do efeito no clima gerado pela emissão de

aerossóis, pelas aeronaves, apontam que tais partículas atuam de modo a incrementar o fenômeno do Efeito Estufa e, com isto, o aquecimento global. Além disso, tais pesquisas sugerem que esses aerossóis tendem a aumentar a formação de nuvens. Nesse caso, há dúvidas remanescentes. Os aerossóis estariam resfriando ou aquecendo a Terra? De fato, muitas incertezas ainda persistem com relação a um entendimento mais apurado sobre como se dá a influência dos aerossóis emitidos pela aviação no clima global.

Possivelmente, a aviação causou aumento de cerca de 10% na concentração de aerossóis na baixa estratosfera desde o início dos anos 90 (IPCC, 1999). Por atuar naturalmente como escudo protetor da Terra contra a radiação solar, os aerossóis possuem também efeito de resfriamento da superfície terrestre. Assim, os aerossóis emitidos pela exaustão dos motores aeronáuticos tanto aquecem como resfriam o planeta. O esforço da comunidade científica com relação a essa questão busca, principalmente, saber qual dos dois efeitos – resfriamento ou aquecimento ⁵⁴ – é superior.

Uma boa estimativa sobre o efeito radiativo global dos aerossóis gerados pela atividade aérea pode ser baseada na erupção do Monte Pinatubo em 1991. Esse fenômeno natural geotectônico gerou a emissão de cerca de 20 milhões de toneladas de dióxido de enxofre (SO₂), que atingiram altitudes entre 17 e 26 km, aproximadamente (FORTUIN et al., 1995). Essa emissão de SO₂, na forma de aerossóis, foi responsável por um forçamento radiativo de cerca de 1 W/m² em termos de resfriamento (IPCC, 1999). Em 1998, pesquisa da NASA estimou que as aeronaves emitem pouco menos de 0,2 milhões de toneladas de SO₂ ao ano para a atmosfera (NASA, 1999). Tal valor, de acordo com a mesma pesquisa, corresponde a um resfriamento da ordem de 0,01 W/m², aproximadamente. Assim, somente em cerca de 100 anos todo o resfriamento provocado pela emissão de aerossóis sulfatados pelas aeronaves equivaler-se-ia ao gerado pela erupção do Monte Pinatubo, considerando, hipoteticamente, estagnado o crescimento do setor aéreo.

Outra questão ainda causadora de incertezas é com relação ao possível decréscimo de radiação ultravioleta devido às emissões de aeronaves em vôos subsônicos. Pesquisa indica que os gases emitidos, nesse caso, reteriam levemente a passagem da radiação UV para a superfície terrestre (FRANSEN et al., 1984). Outros trabalhos indicam que, devido à

⁵⁴ De uma forma geral, tratando-se de outras atividades (além da aérea) que geram emissões de aerossóis, a ciência estima que o efeito que prevalece é o de resfriamento (AEF, 2000).

redução do ozônio estratosférico pelas emissões de aeronaves supersônicas, ocorra um incremento da passagem de radiação UV (FORTUIN et al., 1995; GREENE, 1995). Entretanto, não há sinais de uma expansão acentuada do transporte aéreo supersônico em curto e médio prazo (AIR FRANCE, 2003). Aeronaves supersônicas ainda são muito ruidosas e poluentes. Além disso, um recente acidente com um Concorde⁵⁵ ocorrido em Paris (2000) causou a morte de todos os 142 ocupantes e freou qualquer possibilidade de expansão notável, ao menos, para os próximos 50 anos de acordo com a própria Air France (2003), proprietária de sete aeronaves modelo Concorde já fora de operação.

Assim como na questão dos aerossóis, não se sabe ainda precisar se está havendo uma maior tendência ao aquecimento ou ao resfriamento, devido à atuação das emissões aeronáuticas na passagem de radiação ultravioleta (UV). A ciência avança na busca destas respostas.

2.2.2 – Aviação e Depleção da Camada de Ozônio

2.2.2.1 – Óxidos de nitrogênio e depleção do ozônio estratosférico

A parte mais espessa da Camada de Ozônio, que protege os seres humanos e a natureza da radiação Ultra Violeta localiza-se a aproximadamente 25 km de altitude, ou seja, na camada estratosférica (DAMERIS, 1997). O tráfego aéreo emite compostos poluidores nesta mesma camada da atmosfera, causando depleção (redução considerável) na espessura da Camada de Ozônio, especialmente quando esta camada localiza-se nas extremidades do globo, nas proximidades dos Pólos Sul e Norte (DAMERIS, 1997). Além da aviação, outras atividades antropogênicas tais como o uso de refrigeradores, condicionadores de ar, sprays, também são causadoras da Depleção da Camada de Ozônio. Entretanto, através do Protocolo de Montreal⁵⁶ as nações afirmaram acordo para a

⁵⁵ Toda a frota de 7 aeronaves modelo Concorde da Air France, após o acidente em Paris (2000), sofreu profundas modificações estruturais visando melhorar o nível de segurança operacional. Em 2002, havia 3 dessas aeronaves em operação. Em 2003, porém, encerra-se a “Era do Concorde”, quando após um “vôo despedida” entre Nova Iorque e Paris, a Air France decidiu paralisar as atividades do Concorde.

⁵⁶ O Protocolo de Montreal é fruto de uma grande convenção realizada, em 1976, no Canadá (em Montreal), e que reuniu representantes da maioria dos países do globo, para tratar de questões relacionadas à degradação atmosférica causada pelas inúmeras atividades humanas. Um das principais problemas ambientais discutidos durante esta importante reunião global foi a questão da Depleção da Camada de Ozônio. Nesse sentido, o

progressiva redução do uso do composto clorofluorcarbono (CFC) utilizado em inúmeros equipamentos refrigerantes e sprays (EGLI, 1995). Atualmente, a aviação é uma relevante força motriz, junto com outros modais de transporte, para a redução do ozônio estratosférico.

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), emitidos pelas aeronaves, possuem influência direta na formação do ozônio (JOHNSON, HENSHAW e McINNES, 1992). Eles podem, dependendo de suas concentrações na atmosfera, causar aumento ou depleção (redução) do ozônio. Na estratosfera, em altitudes de cerca de 25 km nos trópicos e 18 km nos pólos, o efeito comumente observado causado pelo NO_x é a depleção do ozônio (DAMERIS, 1997; PITARI, PALERMI e VISCONTI, 1994). Abaixo de tais altitudes, ou seja, entre a alta troposfera e a baixa estratosfera (entre 9 e 12 Km), tem-se registrado indução ao aumento da concentração de ozônio devido a presença (antropogênica) do NO_x (DAMERIS, 1997). Nesse caso, o NO_x induz ao incremento do Efeito Estufa e, conseqüentemente, ao aquecimento global (EGLI, 1995).

A influência exercida pelos óxidos de nitrogênio no incremento do fenômeno de depleção da camada de ozônio ocorre pela reação de tais óxidos com o vapor d'água presente na atmosfera. Essa reação gera a formação de ácido nítrico (HNO_3) inibindo a produção do ozônio (O_3). O processo descrito estimula a formação de nuvens estratosféricas em regiões acima dos pólos, onde o aporte de luz solar, que estimula a produção de ozônio, é reduzido. Tais nuvens acabam por atuar como catalisadoras da reação de formação do ácido nítrico, contribuindo para a destruição do ozônio e aumentando o "buraco" na camada de ozônio. Ano após ano, a despeito do sucesso do Protocolo de Montreal, tem-se observado incremento da depleção da camada de ozônio (PRATHER et al., 1992).

De acordo com o IPCC, a aviação é responsável por cerca de 1/3 do óxido de nitrogênio presente na atmosfera do hemisfério norte (IPCC, 1997). Os vôos de aeronaves supersônicas tais como aeronaves militares de última geração ocorrem em altas altitudes, onde o NO_x emitido rapidamente contribui para a destruição do ozônio estratosférico. Entretanto, a influência negativa da aviação supersônica na camada de ozônio é restrita e,

Protocolo determinou que a produção de compostos à base de clorofluorcarbono deveria ser gradualmente reduzida até a interrupção total (COMISSÃO EUROPEIA, 1997).

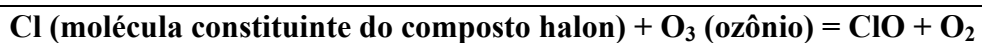
até o presente, de pouca significância, tendo em vista que esta modalidade de transporte aéreo, por diversos motivos (custo elevado, elevado ruído, recente acidente, alto nível de emissões, etc.), está estagnada. Porém, há ainda de se considerar toda a frota de aeronaves militares de última geração que operam em velocidades supersônicas. Assim, devido ao grande potencial de destruição do ozônio pela aviação supersônica, não seria coerente desconsiderar totalmente uma eventual expansão desse setor, em cenários de avaliação energética e ambiental de médio e principalmente, longo prazo (cerca de 50 anos ou mais). O IPCC, em seu Relatório Especial para a aviação de 1999 contempla em um de seus cenários, considerável expansão da aviação supersônica, a partir de 2050 (IPCC, 1999).

Apesar de haver convergência da comunidade científica no entendimento de que a aviação, efetivamente, contribui para incrementar o fenômeno da Depleção da Camada de Ozônio muitas incertezas ainda persistem, especialmente, devido a dificuldades em quantificar precisamente o ozônio estratosférico.

2.2.2.2 – A influência dos “Halons”

Os halons são compostos à base de cloro e bromo, de baixas toxidades, quimicamente estáveis e que, nos últimos 20 anos, têm sido amplamente empregados na supressão de incêndios e explosões. Basicamente, em termos de ampla utilização, existem dois tipos de halons: o 1211, que é um agente fluído líquido usado principalmente em extintores de incêndio manuais; e o halon 1301, que é um agente gasoso usado principalmente em sistemas fixos de extinção do fogo por inundação total. Tais compostos foram muito utilizados nas décadas de 70 e 80 pela indústria aeronáutica e, boa parte da frota mundial atual ainda possui equipamentos à base de halons. A bordo das aeronaves os halons servem para esfriar dispositivos ou evitar incêndios (CETESB, 2002).

Assim como os clorofluorcarbonos, os halons provocam diminuição da concentração do ozônio na estratosfera através de reações químicas degradantes ao ozônio. Simplificadamente, a reação de destruição do ozônio pela atuação dos halons, é:



(Equação 2.1)

A luz solar catalisa a reação descrita e o processo é cíclico. Efetivamente, há grande poder de destruição da Camada de Ozônio pela utilização dos halons (CETESB, 2002), (2000). E, com relação à utilização dos halons em aeronaves, há um agravante a mais: ainda não existem substitutos adequados como medidas alternativas de proteção ao fogo. A ciência vem avançando rapidamente no sentido de encontrar substâncias alternativas aos halons, tendo em vista que, de acordo com o Protocolo de Montreal (1976), cessou, ao longo das décadas de 80 e 90, a produção de halons nos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, França e Japão. No Brasil, reconhecendo-se que a destruição da Camada de Ozônio é um assunto relevante e que os halons atualmente usados em equipamentos contra o fogo podem ser reciclados, houve, em 1992, interrupção voluntária da importação de halons recém produzidos (MCT, 2000a).

O Governo do Brasil, através do Ministério de Ciência e Tecnologia, junto com outros parceiros signatários do Protocolo de Montreal, encoraja a recuperação e reciclagem de halons para atender as necessidades críticas e/ou necessidades especiais de proteção contra incêndio, como é o caso do uso em aeronaves. A reciclagem de halons será necessária para atravessar o processo entre o final da produção mundial de halons (alguns países como a China, por exemplo, ainda produzem halons) e a plena disponibilidade comercial de seus substitutos, bem como em casos críticos, quando medidas alternativas de proteção ao fogo não forem satisfatórias ou não puderem ser encontrados. Desde meados dos anos noventa, com o avanço tecnológico, os halons podem ser reciclados satisfazendo padrões internacionais de pureza.

Os equipamentos e a tecnologia para reciclar o halon 1211 e o halon 1301, que é o de maior emprego em aeronaves, já estão disponíveis e em uso no Brasil. O equipamento, o reciclador de halons, foi doado ao Governo Brasileiro com recursos do Fundo Multilateral para Implementação do Protocolo de Montreal, através de acordo bilateral com o Governo Canadense, o qual está sendo viabilizado por um Termo de Convênio celebrado entre o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente) e a CETESB. Há dois sistemas deste tipo para a América Latina, um no Brasil e outro na Venezuela.

O reciclador de halons está instalado em um Centro de Reciclagem na cidade de São José dos Campos (São Paulo) e a operação de reciclagem do gás fica por conta da empresa

GESPI Equipamentos Aeronáuticos Ltda. O equipamento é de patrimônio da CETESB, e permanecerá nas instalações da GESPI em regime de comodato, por dez anos.

Cabe ressaltar que a efetividade das emissões de poluentes gasosos devido ao emprego de halons em termos de destruição da camada de ozônio é muito superior (e cientificamente comprovada) à gerada pelas emissões de óxidos de nitrogênio pelas aeronaves em altitudes estratosféricas (CETESB, 2002). Entretanto o volume de substâncias degradantes ao ozônio emitidas pela utilização dos halons em aeronaves atinge apenas 2% das emissões globais de NO_x pela aviação (CETESB, 2002). Assim, devido, também, ao declínio mundial na utilização dos halons, consequência do sucesso do Protocolo de Montreal, as pesquisas científicas visando minimizar a Depleção da Camada de Ozônio devido ao transporte aéreo tendem a concentrar-se nas emissões de óxidos de nitrogênio.

Todo e qualquer esforço, como a implementação de um equipamento reciclador de halons no Brasil, no sentido de frear a Depleção da Camada de Ozônio, é louvável. Afinal, a Camada de Ozônio estratosférico envolve a atmosfera terrestre protegendo a Terra e seus habitantes da radiação solar ultravioleta. Se o processo de destruição dessa camada continuar, pode conduzir a um aumento nos casos de câncer de pele e cataratas, além de prejuízos ao sistema imunológico e danos à vegetação, comprometendo inclusive a produção agrícola. Assim, como ainda não há um substituto adequado, a reciclagem constitui-se em um primeiro passo visando a eliminação completa dos halons a curto e médio prazos.

2.2.3 – Aviação e chuva ácida

Sem dúvida, os dois principais problemas ambientais globais, afetados pela atividade aérea são o incremento antropogênico do fenômeno do Efeito Estufa e a Depleção da Camada de Ozônio. Entretanto, cabe ressaltar que, em nível de efetividade notadamente inferior, existe correlação entre aviação e o fenômeno da Chuva Ácida (IPCC, 1999; CHUVA ÁCIDA, 2001).

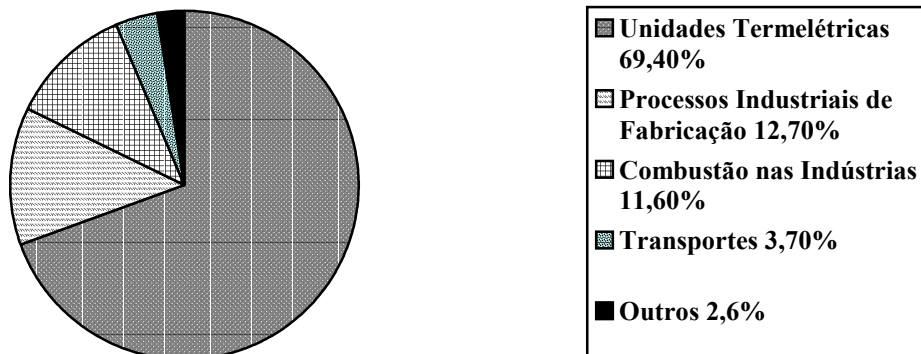
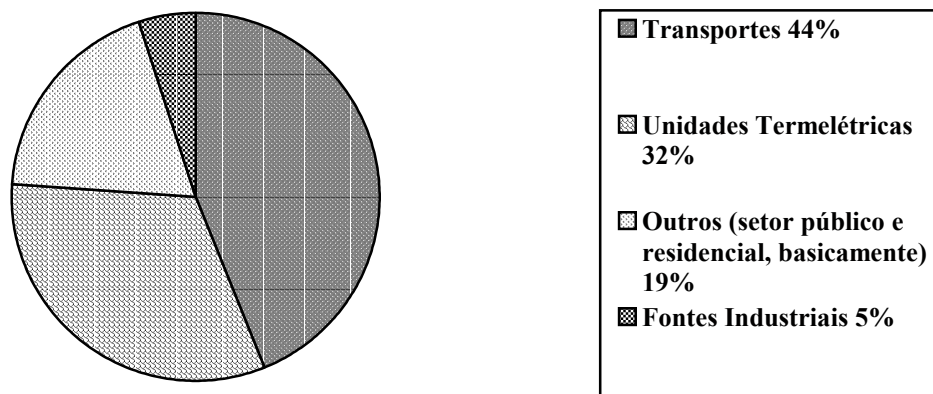
O pH⁵⁷ da água pura é neutro, ou seja, 7. A água da chuva já é ácida normalmente, com seu pH em torno de 5,6, em virtude da presença na atmosfera de CO₂, numa concentração natural de 0,036% (T&E, 1997). A chuva ácida pode ser definida como a precipitação em que o pH é ainda mais ácido, com valores de pH inferiores a 5,6 (IPCC, 1995; CHUVA ÁCIDA, 2001).

O fenômeno da chuva ácida ocorre quando as emissões de dióxidos de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), por diversas fontes antropogênicas (transportes, usinas termelétricas, unidades de refino, etc.) reagem na atmosfera com a água, oxigênio e oxidantes, formando vários ácidos. Esta mistura forma soluções diluídas de ácido nítrico (HNO₃) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) que precipitam na superfície da Terra na forma úmida através da chuva, neve ou nevoeiro ou na forma seca como gases e partículas.

As mais importantes conseqüências da chuva ácida são modificações no pH do solo que podem resultar em carências de nutrientes para o crescimento das plantas e a acidificação de corpos d'água como lagos e rios, prejudicando a fauna e a flora.

Estima-se que as emissões de NO_x devido aos transportes sejam mais influentes no fenômeno da chuva ácida do que às emissões de SO₂ pelo mesmo setor da economia mundial. A explicação para tal análise reside no fato de que as emissões de NO_x pelos transportes são, quantitativamente, muito superiores às emissões de SO₂ devido ao referido setor (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998). A figura, a seguir, exemplifica, para o caso norte-americano, a análise efetuada.

⁵⁷ O pH é o potencial de hidrogenação de determinada substância, ou seja, é uma medida que avalia o quanto certo composto tende a formar ácidos ou base. $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

a) Emissões de SO₂ nos EUA em 1992 (22,7 milhões de toneladas)b) Emissões de NO_x nos EUA em 1992 (23,2 milhões de toneladas)**Figura 2.5: Emissões de SO₂ (a) e NO_x (b) por fonte nos Estados Unidos, 1992**

Fonte: EPA, 2000.

Analisando a figura anterior, observa-se que as emissões de SO₂ pelo setor de transportes nos EUA, em 1992, foram da ordem de 0,84 milhões de toneladas enquanto que as de NO_x atingiram o porte de cerca de 10,2 milhões de toneladas. Assim, estima-se que, devido ao setor de transportes, ocorrem muito mais chuvas ácidas na forma de soluções diluídas de ácido nítrico do que de ácido sulfúrico, o que, de certa forma, é até um alento. Afinal, o H₂SO₄ possui um poder corrosivo notadamente superior ao do HNO₂ (VIANNA, 1990).

No caso específico do transporte aéreo, a influência das emissões de NO_x no fenômeno da chuva ácida é marcadamente superior à influência das emissões de SO₂ com relação ao referido fenômeno, guardando intrínseca relação com a análise efetuada para o setor de transportes como um todo. O porte muito superior das emissões de NO_x, em relação às emissões de SO₂ pela atividade aérea mundial, explica a análise efetuada. Em 1990, a NASA calculou (utilizando como base de cálculo o consumo total de combustível) que as emissões de NO_x pela aviação foram de cerca de 1,15 milhões de toneladas (NASA, 1990). A mesma agência, em estudo de 1992, calculou em cerca de 0,07 milhões de toneladas as emissões de SO₂ pela atividade aérea (NASA, 1992).

Com base em trabalhos conduzidos pela NASA (1992), do IPCC (1999) e em dados para o consumo americano (IEA, 2000), mundial (EIA, 2001) e brasileiro (MME, 2000) de querosene de aviação estimou-se, neste Trabalho (em cálculo aproximado, realizado em dezembro de 2002), as emissões de NO_x e de SO₂, devido ao transporte aéreo no Brasil. Tais emissões seriam, respectivamente, da ordem de 0,02 milhões de toneladas e de $1,2 \times 10^{-3}$ milhões de toneladas anuais (ano base = 1998).

Relacionar os valores estimados com o fenômeno da chuva ácida no Brasil seria extremamente dificultoso, pois o atual conhecimento científico adquirido, não possibilita uma análise mais precisa ou coerente a respeito de tal influência.

O fato de praticamente não haver estudos ou pesquisas que busquem uma melhor compreensão do relacionamento existente entre o transporte aéreo e o fenômeno da chuva ácida pode ser, de certo modo, trivialmente explicado: grande parte das emissões aeronáuticas, entre 60 a 80%, ocorre em altitudes acima de 11.000 metros (BRAUSSER et al., 1996). Nessa região da atmosfera, entre a alta troposfera e a baixa estratosfera não há, tipicamente, a formação de nuvens tipo *cirrus*, indutoras naturais do fenômeno da precipitação. Assim, conseqüentemente, é muito limitada a efetividade das emissões pelas aeronaves em relação ao fenômeno da chuva ácida. Há de se ressaltar, porém, que efetivamente, existe relação entre a atividade aérea e o fenômeno da chuva ácida. Afinal, as operações de aterrissagem e decolagem, que respondem por cerca de 20 a 40% das emissões aeronáuticas, ocorrem na camada limite, ou seja, até 1.000m de altitude. E, é nesta camada que, em profusão, ocorrem os processos indutores da formação de nuvens tipo *cirrus* (BAKAN et al., 1994).

2.2.4 – *Aviation and the Global Atmosphere*: O Relatório Especial do IPCC

O Relatório Especial, *Aviation and the Global Atmosphere* (Aviação e a Atmosfera Global) (IPCC, 1999) elaborado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change*, o IPCC, em 1999, é o documento de referência para uma melhor compreensão a respeito da complexa relação entre os impactos causados pelas emissões das aeronaves e os fenômenos associados ao caráter antropogênico das mudanças impostas ao clima da terra. Trata-se do primeiro grande estudo realizado por especialistas de todo o mundo para analisar o problema das emissões aeronáuticas. Além de cerca de 300 especialistas da ICAO e renomados cientistas, o grupo de trabalho contou também com a participação de representantes de algumas das maiores companhias de aviação do mundo, tais como a United Airlines, a Lufthansa, a British Airways e a SAS. Houve também a contribuição de destacados engenheiros e técnicos das principais indústrias aeronáuticas do mundo, dentre elas a Boeing, a Airbus e a McDonnell Douglas.

Publicado oficialmente em junho de 1999, esse importante Trabalho apresenta uma projeção das possíveis alterações climáticas devido à aviação até o ano de 2050, de acordo com as previsões de crescimento do setor aéreo, por meio de sete cenários diferentes. O estudo objetivou congregiar todo o conhecimento científico a respeito do ténue relacionamento entre o setor aéreo e o meio ambiente atmosférico. Paralelamente, visava-se gerar um documento capaz de embasar cientificamente os dirigentes políticos com relação ao tema em questão para que coerentes decisões fossem tomadas nas grandes conferências mundiais sobre Mudanças Climáticas. Nesse sentido, um sumário contendo um resumo dos mais importantes aspectos analisados no relatório *Aviation and the Global Atmosphere* foi também elaborado no intuito de o conhecimento fundamental ser absorvido com mais facilidade. Não somente entidades governamentais se beneficiaram das análises e conclusões pertinentes a este estudo. Organizações não-governamentais e o próprio meio acadêmico e científico puderam, a partir desse importante estudo, avançar na compreensão (mais embasada) a respeito da complexa relação entre aviação e atmosfera. Podendo assim, multiplicar o conhecimento adquirido e defender o meio ambiente de forma embasada e não, simplesmente, panfletária.

Algumas das mais significantes conclusões do artigo especial do IPCC para aviação foram (IPCC, 1999):

- A aviação participou, em 1998, com cerca de 3,5% de toda a contribuição antropogênica ao fenômeno do aquecimento global pela emissão de Gases de Efeito Estufa;
- O forçamento radiativo devido a aviação até o ano de 2050, deverá aumentar entre 2,6 a 11 vezes; atingindo assim, valores entre 0,13 e 0,56 W/m²;
- O volume das emissões de todos os gases poluentes devido à aviação (incluindo CO₂, NO_x, H₂O, SO_x, etc.) é cerca de duas a quatro vezes superior à emissão de CO₂ pela aviação. Entretanto, em termos de influência compreendida ou comprovada no fenômeno do agravamento antropogênico do Efeito Estufa, é o CO₂ o principal gás. Alguns gases relacionam-se à depleção da camada de ozônio e outros ainda estão em estágios iniciais de compreensão com relação a influência em fenômenos ambientais atmosféricos;
- Os óxidos de nitrogênio (NO_x) emitidos pela aviação na alta troposfera são mais efetivos na formação do ozônio (O₃) do que os óxidos de nitrogênio emitidos por outras fontes próximas à superfície. A explicação para tal afirmação reside no fato comprovado de que o tempo de residência do NO_x na alta troposfera é muito superior do que o NO_x encontrado próximo à superfície;
- De um modo geral, a aviação supersônica é cerca de 5 vezes mais influente no agravamento do Efeito Estufa do que a aviação subsônica;
- Por volta do ano de 2050, os rastros de condensação, em cenário referencial, deverão ocupar cerca de 5% dos céus de regiões de intenso tráfego aéreo, dentre elas a Europa Central e o Nordeste dos Estados Unidos.

De acordo com todos os cenários do IPCC contidos no relatório especial, a aviação pode ser responsável, por volta do ano de 2050, por cerca de 10% de todo o CO₂ emitido antropogenicamente. Deste modo, há uma clara tendência de que o transporte aéreo aumente progressivamente sua influência no fenômeno do aquecimento global. Cabe ressaltar que na elaboração de tais cenários foi considerada a implementação, em médio

prazo, do Protocolo de Quioto⁵⁸. Caso as resoluções de tal Protocolo, de fato, não entrem em vigor, a degradação ambiental atmosférica tende a se agravar ainda mais, configurando-se em força-motriz para um drástico agravamento de problemas ambientais (de influência global, em especial).

No relatório *Aviation and Global Atmosphere*, o desenvolvimento do setor e do mercado aéreo brasileiro é avaliado como se fosse semelhante ao de países considerados de lento desenvolvimento econômico, tais como, países pobres da África e da América Latina. Observa-se que o expressivo porte do parque industrial brasileiro não foi devidamente considerado, dentre outros fatores particulares ao Brasil e que indicam forte expansão do setor aéreo, para décadas futuras. Mesmo tratando-se de um país de nítidas desigualdades sócio-econômicas, o Brasil possui um potencial de crescimento e um nível de atividade econômica notadamente superior à maioria dos países dos continentes mencionados.

Intui-se, portanto, que as emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo brasileiro, tenham sido subavaliadas na medida em que o Brasil foi alocado no grupo de países considerados de “lento desenvolvimento econômico”. Nesse contexto, estima-se que os cenários elaborados para tal grupo de países apontem, para as próximas duas décadas do século XXI, um volume de emissões de CO₂ subdimensionado ou não tão preocupante em termos de geração de danos ao meio ambiente atmosférico.

O relatório para aviação e meio ambiente atmosférico do IPCC induz ao entendimento de que em países em desenvolvimento, como o Brasil, a expansão do setor aéreo ocorrerá sem qualquer tipo de aplicação de práticas mitigadoras de emissões de CO₂. Nada poderá ser feito a não ser, contabilizar tais emissões. Intui-se que para o caso brasileiro, mais uma vez, houve certa subestimação. Efetivamente, há no Brasil um arcabouço de conhecimento científico e tecnológico capaz de imprimir melhores níveis de sustentabilidade ao desenvolvimento futuro do setor aéreo nacional (minimizando o quanto possível a inevitável degradação ambiental).

⁵⁸ O Protocolo de Quioto originou-se de uma grande Convenção do Clima (participação de cerca de 152 países) ocorrida na cidade de Quioto, no Japão, em 1997. De acordo com esse Protocolo, os países do Anexo I (mais industrializados) comprometem-se a reduzir seus níveis de emissões de Gases de Efeito Estufa até que, em 2012, sejam registradas emissões de porte comparável às detectadas, em 1992 (MCT, 2002).

Apesar da grande evolução alcançada no entendimento a respeito da influência das emissões pela aviação nas questões do incremento antropogênico do Efeito Estufa e da Depleção da Camada de Ozônio, o relatório não apresenta conclusões quanto aos efeitos gerados. Por fim, o relatório denota claramente a necessidade da realização de estudos complementares.

Considerações finais sobre o Capítulo II

A ICAO (*International Civil Aviation Organization*), principal agente regulador do setor aéreo mundial, e Governos de nações como os EUA, Reino Unido, Noruega e Suécia, alertados pela comunidade científica internacional em relação aos impactos ambientais locais e globais gerados pela atividade aérea passaram a estudar e implementar possíveis medidas voltadas à minimização de impactos. É esse o contexto que norteia o desenvolvimento do próximo capítulo deste Trabalho.

CAPÍTULO III – A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE: POLÍTICAS INTERNACIONAIS

3.1 – A Organização Internacional de Aviação Civil

Fundada em 4 de abril de 1947, a Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) tornou-se o órgão responsável pela administração dos princípios estabelecidos na Convenção de Chicago (ver item 1.1.6 deste Trabalho). Está sediada em Montreal, e faz parte da Organização das Nações Unidas (ONU) desde sua fundação, em 1948.

A aviação civil enfrentou crises e experimentou um notável crescimento, ao longo das mais de cinco décadas de existência da ICAO. A atuação da Organização sempre foi influenciada por diversos interesses políticos e econômicos especialmente os das grandes potências. Apesar disso, a ICAO tem se caracterizado por coerente desempenho e, efetivamente, muito contribuiu para alicerçar a expansão do transporte aéreo. É, atualmente, uma das instituições mais respeitadas da ONU. Suas decisões e deliberações são normalmente bem aceitas pelos 175 países membros (número relativo ao mês de julho de 2003). A adequação ao processo de globalização tem sido, nos últimos anos, o principal desafio da ICAO. As mudanças na atividade econômica como força-motriz para a expansão da demanda pelo transporte aéreo, a formação das alianças entre companhias aéreas internacionais e as questões relativas ao meio ambiente transformaram o cenário da aviação mundial. Assim, torna-se necessário a implementação de um sistema plenamente integrado de navegação aérea. Esse novo sistema já está em desenvolvimento pela ICAO e recebeu provisoriamente a sigla de CNS/ATM⁵⁹. Tal sistema consiste na integração das mais modernas tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de um sistema global. Para sua implantação serão empregados redes de satélites, computadores de última geração, banco de dados e novos equipamentos de navegação dos aviões. O sistema vai aumentar a segurança, a eficiência e gerar economia ao permitir uma otimização na utilização das rotas. Paralelamente ao esforço da ICAO em desenvolver o CNS/ATM, alguns países têm realizado estudos (e mesmo aplicações) semelhantes, como é o caso do Gerenciamento do

⁵⁹ CNS/ATM é a sigla para *Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management*.

Fluxo de Tráfego Aéreo (GFTA) que vem sendo conduzido, desde 1994, pelo Instituto de Proteção ao Voo da Aeronáutica Brasileira (COMAER, 2002).

Sob a ótica ambiental e de conservação de energia, torna-se fundamental, além do desenvolvimento de um sistema globalmente integrado de navegação aérea, a construção de novos tipos de aeronaves para atender as crescentes demandas econômicas e “ecoenergéticas”. A qualificação da mão-de-obra também precisa ser cada vez mais apurada e aperfeiçoada num setor em constante evolução.

Os fins e objetivos da ICAO estão estabelecidos no Artigo 44 da Convenção de Chicago (Decreto N° 21.713, de 2 de agosto de 1946) da seguinte forma (ICAO, 1995):

“Os fins e objetivos da Organização serão desenvolver os princípios e a técnica de navegação aérea internacional e de favorecer o estabelecimento e estimular o desenvolvimento de transportes aéreos internacionais a fim de poder: a) Assegurar o desenvolvimento seguro e ordeiro da aviação civil internacional no mundo; b) Incentivar a técnica de desenhar aeronaves e sua operação para fins pacíficos; c) Estimular o desenvolvimento de aerovias, aeroportos e facilidades à navegação aérea na aviação civil internacional; d) Satisfazer às necessidades dos povos do mundo no tocante a dispor de um transporte aéreo seguro, regular, eficiente e econômico; e) Evitar o desperdício de recursos econômicos causados por competição predatória; f) Assegurar que os direitos dos Estados contratantes sejam plenamente respeitados, e que todo o Estado contratante tenha uma oportunidade equitativa de operar empresas aéreas internacionais; g) Evitar a discriminação entre os Estados contratantes; h) Contribuir” para a segurança dos vôos na navegação aérea internacional; i) Fomentar, de modo geral, o desenvolvimento de todos os aspectos da aeronáutica civil internacional”.

Elaborado em 1946, quando a questão ambiental ainda não era motivo de grande preocupação, o Artigo 44 não traz nenhuma recomendação explícita em relação aos temas relacionados à preservação do meio ambiente. Entretanto, os temas ambientais são enquadrados na letra i, do artigo supracitado.

A estrutura organizacional da ICAO é constituída pela Assembléia, pelo Conselho, Órgãos de Assessoria e uma Secretaria Geral.

A Assembléia é o principal órgão da ICAO e é formado por todos os Estados contratantes. As decisões da Assembléia são aprovadas, por maioria dos votos, onde cada

Estado tem direito a um voto. As reuniões ocorrem a cada três anos para avaliar as ações desenvolvidas pela organização nas esferas econômica, técnica e jurídica.

O Conselho é o órgão executivo da organização e tem caráter permanente. É composto por um presidente e mais trinta e três membros, eleitos pela assembléia para um mandato de três anos. A representação no conselho tem os seus assentos divididos em três categorias: países mais importantes em termos de transporte aéreo (PART I); países que mais contribuíram para o desenvolvimento da aviação civil (PART II); e, por último, países que representem as principais regiões geográficas do planeta (PART III).

A composição do Conselho para o período 2001-2003 foi votada na trigésima quinta sessão da Assembléia, em 2001. Os países eleitos foram (BRETTAS, 2001):

PART I – Austrália, Brasil, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Federação Russa, Reino Unido e os Estados Unidos.

PART II – Argentina, China, Colômbia, Egito, Índia, México, Holanda, Nigéria, Noruega, Arábia Saudita e Espanha.

PART III – Argélia, Botswana, Camarões, Cuba, Indonésia, Kenia, Líbano, Paquistão, Panamá, Senegal, Eslováquia e Uruguai.

Um das funções principais do Conselho é aprovar novos regulamentos e adotá-los como Anexos à Convenção Internacional de Aviação Civil. Tais regulamentos são elaborados pela Comissão de Navegação Aérea e submetidos ao Conselho, onde requerem maioria de dois terços para a sua aprovação. Depois de aprovados, os novos regulamentos (que podem ser aprimoramentos de antigas normas), torna-se de aplicação obrigatória para os países membros. Porém se algum país estiver impossibilitado de cumprir os prazos, este deverá notificar tal fato à ICAO.

Como outras funções do Conselho, deve-se ressaltar a responsabilidade de atuar como árbitro no caso de divergências⁶⁰ entre os Estados membros nas questões relativas à aviação e à implementação da Convenção; investigar todas as situações que possam

⁶⁰ Muitas divergências entre os Estados membros são resolvidas através de acordos, em geral, bilaterais. Nem sempre, nesses casos, a ICAO atua como árbitro. Os próprios governos nacionais tendem a usar a diplomacia para o entendimento mútuo. E, devido ao grande número de interconexões entre países existem atualmente (2003) cerca de 1.100 acordos bilaterais voltados unicamente para a aviação. A maioria desses acordos é entre países da Europa (BRETTAS, 2001).

prejudicar o desenvolvimento da navegação aérea internacional e em geral tomar medidas necessárias para manter a segurança e regularidade do transporte aéreo. Por último, cabe mencionar que a Assembléia é responsável pela indicação do Secretário Geral da organização. Essa autoridade legislativa e executiva atribuída pela Convenção confere ao Conselho um *status* de poder muito significativo.

Os órgãos de assessoria auxiliam o Conselho na análise das questões técnicas e elaboração das propostas de normas e são, a saber: a Comissão de Navegação Aérea, o Comitê de Transporte Aéreo, o Comitê Jurídico, o Comitê de Ajuda Coletiva para Serviços de Navegação Aérea, o Comitê de Finanças, o Comitê sobre Interferência Ilícita, o Comitê de Pessoal e o Comitê de Cooperação Técnica. Dentre todos os órgãos supracitados, a Comissão de Navegação Aérea é o principal componente do processo de normalização, sendo integrada por 15 representantes indicados pelo Conselho.

A Secretaria Geral é responsável por prestar colaboração técnica e administrativa aos integrantes do Conselho, seus comitês e outros departamentos, além de ser responsável pelas representações da ICAO em outros países. A Secretaria é dirigida por um Secretário Geral e formada por cinco departamentos principais: Navegação Aérea, Transporte Aéreo, Cooperação Técnica, Assuntos Jurídicos, Administração e Serviços.

3.1.1 – A questão ambiental sob a perspectiva da ICAO

A fim de promover o desenvolvimento de todos os aspectos da aviação civil, a ICAO tem dispensado muita atenção ao impacto gerado no meio ambiente em decorrência das atividades desenvolvidas pelo setor. O objetivo a ser atingido é garantir a máxima compatibilidade entre o desenvolvimento seguro e ordenado da aviação civil e a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente.

As primeiras atividades relacionadas à preservação do meio ambiente atmosférico desenvolvida pela ICAO foram relativas ao ruído aeronáutico. Em 1969 foi realizado, em Montreal, um encontro (promovido pela ICAO) no qual os principais aspectos analisados relacionavam-se à questão do ruído aeronáutico em regiões próximas aos aeroportos (ICAO, 1993).

Com base nas recomendações originadas desse encontro, o Comitê para o Ruído Aeronáutico (CAN) elaborou o anteprojeto das normas e práticas recomendadas para o ruído aeronáutico. Após a consulta aos estados membros da ICAO, o Conselho aprovou o projeto. Assim sendo, em 2 de abril de 1971 as Normas e Práticas recomendadas para o Ruído Aeronáutico foram publicadas na forma de anexo à Convenção Internacional de Aviação Civil, o Anexo 16.

Em 1972, após a participação na Conferência de Estocolmo⁶¹, a ICAO adotou uma resolução (A18-11) onde declara estar ciente da sua responsabilidade em compatibilizar o desenvolvimento da aviação com a qualidade do meio ambiente. Como consequência foi instituído então um grupo de estudos para assessorar o Secretário da ICAO nos assuntos relativos à emissão dos motores das aeronaves.

Como resultado do trabalho desse grupo, foi publicada em 1977 uma circular intitulada Controle de Emissões em Motores de Aeronaves. Nessa circular constam os procedimentos para o descarte de combustível, emissão de fumaça e outras emissões gasosas dos motores.

Devido à importância desse assunto o grupo foi transformado no Comitê para Emissões dos Motores (CAEE ~ junção das siglas em inglês para *Committee for Aeronautic Engine Emissions*). Em maio de 1980, o comitê elaborou o anteprojeto com as normas relativas ao controle das emissões dos motores aeronáuticos. Após o processo de consulta aos Estados membros, o Conselho adotou as normas. Em 1981 o Conselho resolveu reunir em um único documento todas as normas relativas ao meio ambiente, o Anexo 16 que, compõe-se de dois volumes.

O Volume I contém as normas relativas ao Ruído Aeronáutico, sendo dividido em duas partes. A Parte I contém as definições dos termos utilizados. A Parte II contém as Normas, Práticas Recomendadas e Procedimentos para a certificação das aeronaves quanto ao ruído. As aeronaves estão divididas em classes com os respectivos limites relacionados em capítulos, num total de dez.

⁶¹ O grande mérito da Conferência de Estocolmo (Noruega/1972) foi a elaboração do chamado “Relatório Brundtland” (nome dado em homenagem a ministra do meio ambiente da Noruega à época, Gro Harlem Brundtland), que se constitui no primeiro importante e expressivo documento, elaborado em esforço cooperativo de caráter mundial, com foco em impactos ambientais gerados por atividades antropogênicas. A consciência a respeito da esgotabilidade dos recursos naturais e a importância de se preservar o meio ambiente para as gerações futuras são as tônicas do Relatório.

O Volume II contém as normas relativas às emissões dos motores aeronáuticos, sendo dividido em três partes. A Parte I contém as definições. A Parte II contém as normas relativas ao descarte de combustível. A Parte III contém as normas relativas à certificação dos motores aeronáuticos quanto às emissões. Os motores utilizados nas aeronaves também estão divididos em classes, com os respectivos limites relacionados em dois capítulos.

As emissões monitoradas para a certificação dos motores aeronáuticos são a fumaça, os hidrocarbonetos residuais, monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). Os limites para cada poluente são obtidos mediante uma série de fórmulas e tabelas contidas no anexo do referido volume.

As medições para a certificação consideram apenas o ciclo de pouso e decolagem (LTO⁶²). As emissões atmosféricas durante o cruzeiro da aeronave ainda não possuem nenhuma regulamentação específica.

As certificações das aeronaves devem ser concedidas ou validadas pelos órgãos competentes do país onde a aeronave foi registrada. No caso brasileiro o órgão responsável é o Departamento de Aviação Civil (DAC). Essa certificação tem que, obrigatoriamente, ser realizada de acordo com as normas e procedimentos estabelecidos tanto para o ruído como para as emissões.

3.1.2 – O comitê de proteção ambiental da aviação

Atualmente o órgão da ICAO responsável pelas questões ambientais é o Comitê de Proteção Ambiental em Aviação Civil (CAEP – o *Committee for Aviation Environment Protection*). O Comitê foi instituído em 1982 e unificou as atribuições dos comitês de Ruído Aeronáutico (CAN) e de Emissão de Motores (CAEE).

O objetivo do CAEP é: “realizar os estudos específicos, determinados pelo Conselho, relacionados ao controle do ruído aeronáutico e das emissões gasosas proveniente dos motores dos aviões” (BRETTAS, 2001).

⁶² LTO: Landing and Take-Off Cycle. O ciclo é composto pelas fases de decolagem, aproximação, pouso e taxeamamento da aeronave.

Para a realização desses estudos o CAEP norteia-se pelas seguintes diretrizes (BRETTAS, 2001):

1. Efetividade e confiabilidade dos procedimentos de certificação considerando as limitações técnicas, relevância econômica e os benefícios ambientais a serem atingidos;
2. Desenvolvimento em áreas de conhecimento relacionadas. Por exemplo: planejamento urbano, procedimentos de redução do ruído e controle das emissões;
3. Programas de pesquisa nacionais e internacionais relativos ao controle do ruído aeronáutico e controle de emissões gasosas dos motores das aeronaves.

As atualizações dos dois volumes do Anexo 16 são realizadas mediante os resultados e recomendações dos estudos promovidos pelo CAEP. Porém, as propostas sempre são submetidas à apreciação dos Estados membros antes da sua aprovação pela Assembléia.

O CAEP é integrado por 18 países membros e por organizações internacionais que atuam como observadores e possui a seguinte estrutura organizacional:

Grupo de Coordenação

- Grupo de Trabalho 1: Ruído Aeronáutico (GT1)
- Grupo de Trabalho 2: Aeroportos e Operações (GT2)
- Grupo de Trabalho 3: Emissão de Motores (GT3)
- Grupo de Trabalho 4: Emissão – Operações (GT4)
- Grupo de Trabalho 5: Taxas e Tarifas Ambientais (GT5)

FLP: Coordenação com outros fóruns da ONU

FESG: Análise Econômica

ICT: Coordenação de Trabalho entre os Grupos de Trabalho

Como exemplo dos trabalhos em desenvolvimento no CAEP podemos citar a proposta de uma nova classificação para o ruído e a discussão dos instrumentos econômicos a serem utilizados para a comercialização de cotas de emissões de poluentes. O GT 5 é o responsável por essa tarefa.

Em relação ao ruído, o CAEP (Grupo de Trabalho 1) está elaborando uma proposta para o estabelecimento de uma classificação um pouco mais rígida para a certificação das aeronaves. A última classificação, o capítulo 3 do Anexo 16, foi elaborada em 1977. Há pelo menos uma década a União Européia, durante as negociações na ICAO, vem pressionando pela introdução dessa nova classificação. Entretanto, a nova classificação tem sido embargada pelos EUA, que alegam que a indústria aeronáutica norte-americana já estaria no limite da redução tecnológica do ruído aeronáutico.

Em relação às emissões, o CAEP está desenvolvendo um estudo para avaliar o potencial de implementação de instrumentos econômicos, tais como os certificados negociáveis de emissão de poluentes. O foco do estudo é a emissão de CO₂. Essas soluções baseadas nos princípios de mercado, como alternativa aos instrumentos tradicionais de comando e controle, estão baseadas tanto no Protocolo de Quioto, quanto na própria Convenção Internacional de Aviação Civil.

3.2 - Meio Ambiente X Aviação: Exemplos Internacionais de Regulamentações

Cada país possui um certo conjunto de leis que regulamenta a aviação nacional. Esse conjunto de leis, na maioria dos países, abrange a questão ambiental. Nesse sentido, determinadas leis impõem, por exemplo, limitações quanto à emissão de poluentes ou níveis admissíveis de ruído aeronáutico. Tais leis costumavam (até fins dos anos 80) ser mais restritivas com relação à questão do ruído do que com relação às emissões. Com o entendimento, a partir de meados dos anos noventa, por parte da comunidade científica, de que há, efetivamente, relação entre aviação e incremento do Efeito Estufa e Depleção da Camada de Ozônio, as regulamentações direcionadas a reduzir os níveis de emissões das aeronaves estão cada vez mais rigorosas (KAGENSON, 1993). Atualmente, as indústrias fabricantes de aeronaves despendem maiores investimentos em desenvolver tecnologias para reduzir a emissão de poluentes do que para minimizar o ruído aeronáutico (COMISSÃO EUROPÉIA, 1999). O fato de a tecnologia *by-pass*, que gera redução de

ruído, estar praticamente no limite⁶³, também induz a esse redirecionamento do aporte de investimento por parte das indústrias aeronáuticas.

A Holanda, país conhecido pelo pioneirismo em não coibir normas de conduta controvertidas, também é inovadora com relação a introduzir leis bastante radicais para prevenção ou minimização de impactos ambientais devido ao tráfego aéreo. Nesse país, em alguns importantes aeroportos, como o Schipol Airport, em Amsterdam, existe limitação quanto ao número de passageiros admissíveis ao ano e uma aeronave com menos de 50% de assentos ocupados não tem permissão para decolar (T&E, 1999). Essa última medida visa aumentar o aproveitamento (ou taxa de ocupação), com isso, reduz-se a quantidade de decolagens. Conseqüentemente, a poluição sonora e atmosférica, é minimizada. O exemplo da Holanda, a despeito de inicialmente ter sido considerado exagerado pela própria ICAO vem, aos poucos, sendo parcialmente seguido como no caso do Reino Unido, onde no aeroporto de Londres, dependendo das condições de poluição local atmosférica, a decolagem de aeronaves de grande porte e com tecnologia ultrapassada com relação à emissão de poluentes é proibida (T&E, 1999).

Taxas, impostos extras, encargos adicionais e tributações especiais são medidas que vem sendo impostas, pelos governos nacionais, em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, para imprimir ao setor aéreo um relacionamento menos degradante para com o meio ambiente. Em alguns países, tais medidas sucumbiram ao jogo político e econômico e não houve a continuidade de tais modalidades de preservação ambiental. Entretanto, existem países onde tais práticas já foram assimiladas pelos consumidores ou companhias aéreas e, efetivamente, são interessantes experiências na busca pela minimização de impactos ambientais gerados pelo transporte aéreo, como se verá a seguir.

3.2.1 – Taxação da passagem aérea no Reino Unido

Introduzido no Reino Unido em 1º de novembro de 1994, o imposto APD (*Air Passenger Duty*) cobrado no momento da aquisição do bilhete aéreo possui como filosofia

⁶³ Os projetistas aeronáuticos passaram a perceber que evoluções da tecnologia “by-pass” (para redução do ruído) estavam provocando aumento no peso dos motores e, conseqüentemente, no peso da aeronave como um todo. Deste modo, haveria necessidade de maior consumo energético. Assim, estima-se que, em curto prazo, substanciais aprimoramentos na tecnologia *by-pass* podem tornar-se antieconômicos.

embutir as externalidades ambientais no custo da passagem. O valor desse imposto é cobrado de acordo com a distância percorrida. Assim, um voo transoceânico de Londres para o Rio de Janeiro é mais taxado do que um voo cujo destino seja uma certa localidade qualquer no Reino Unido ou mesmo na Europa. Em certas situações especiais, o imposto APD não é cobrado, como, por exemplo, no caso de conexões ou transferência de passageiros. Esse imposto também não é cobrado para crianças com menos de dois anos e no caso de aeronaves de menos de 20 assentos (ROY MARTIN, 1999).

Idealizado em parte, para compensar a ausência de taxações direcionadas ao uso do querosene de aviação, o APD tem sido considerado pelo governo britânico eficaz no combate a problemas ambientais gerados pelo setor aéreo. Em 1997 esse imposto sofreu acréscimo e o capital arrecadado, de acordo com o governo do Reino Unido, vem sendo investido em projetos não-específicos para minimização de impactos ao meio ambiente e no desenvolvimento de um sistema de navegação aérea totalmente integrado visando a redução do consumo de querosene de aviação⁶⁴ (ROY MARTIN, 1999).

3.2.2 – O “Imposto Verde” na Noruega

Em 1995, a Noruega introduziu o “Imposto Verde” no custo das passagens aéreas. A cobrança é feita de forma bastante coerente, pois só é realizada quando o destino do voo é atendido por linha férrea, independentemente se o destino é nacional ou internacional. Como naquela região da Europa a vascularização do sistema de transporte por linhas férreas é ampla, dificilmente o “Imposto Verde” não é cobrado. A arrecadação gerada não é necessariamente investida em projetos ambientais. A idéia é coibir o uso desnecessário do transporte aéreo, considerado muito impactante ao meio ambiente pelo governo norueguês (T&E, 1999).

Inicialmente a cobrança era direcionada aos passageiros. Depois, no início de 1998, passou a ser cobrado às empresas aéreas. Após diversas reclamações por parte das empresas aéreas atuantes, o imposto, em fins de 1999, voltou a ser embutido no preço da passagem aérea. Observa-se que, em termos de coerência ambiental, o mais justo seria a taxação ao assento-km (ou seja, as empresas aéreas) e não ao passageiro-km. Afinal, ocupado ou não,

⁶⁴ A Força Aérea Britânica é responsável pelo desenvolvimento deste novo sistema de navegação aérea.

um assento-km responde por certo consumo de combustível⁶⁵. Como anteriormente ressaltado neste Trabalho, o jogo político e econômico, às vezes pernicioso, é inerente ao setor aéreo.

Em adição ao “Imposto Verde”, a Noruega possuía também uma taxação relativa à geração de CO₂ emitido em vôos domésticos. Em janeiro de 1999 essa taxação passou a vigorar também para vôos internacionais. Em maio de 1999, cedendo a pressões de companhias aéreas, o governo norueguês decidiu abolir tal imposto. As companhias alegaram acentuada queda na demanda pelo transporte aéreo devido à “taxa do CO₂” (como ficou conhecida), e também possíveis imprecisões no cálculo da quantidade de CO₂ emitido.

A experiência da “taxa do CO₂” na Noruega foi, sem dúvida, muito interessante sob o ponto de vista ambiental. A tributação ao CO₂ emitido combate coerentemente à questão do incremento do Efeito Estufa, afinal, atua no cerne da questão ambiental global. Espera-se que, em futuro próximo, esse tipo de imposto volte a vigorar. Os consumidores e demais “atores” do setor aéreo precisam, até por coerência econômica, assimilar o custo das externalidades ambientais.

3.2.3 – Taxações para emissões na Suécia

Em 1989 a Suécia introduziu um imposto ambiental relativo às emissões aeronáuticas de óxidos de nitrogênio (NO_x). Esse imposto era aplicado unicamente para empresas aéreas que operavam vôos domésticos comerciais e no caso de aeronaves registradas no País. O objetivo era incentivar que as empresas aéreas aliadas à indústria promovessem redução da emissão dos motores aeronáuticos. Em 1991, uma taxação à emissão de dióxido de carbono (CO₂) foi adicionada à já estabelecida taxação à emissão de NO_x. Ambas as medidas foram severamente criticadas pela União Européia. A Suécia chegou mesmo a sofrer discreto boicote na comercialização de produtos agrícolas e industrializados. Apesar da forte resistência inicial, a Suécia persistiu nas taxações às

⁶⁵ Seria incorreto dizer que o consumo de combustível de um assento-km, ocupado ou não, é o mesmo. Afinal, quando o assento está ocupado, a aeronave, naturalmente, estará mais pesada (além do próprio passageiro, há de se considerar suas bagagens e o serviço de bordo disponibilizado). Com isto, há a necessidade de uma maior quantidade de combustível para que a aeronave possa cumprir o mesmo percurso. Portanto, um “assento-km ocupado” consome mais combustível do que um “assento-km vazio”.

emissões de NO_x e CO₂ e, atualmente, com a crescente preocupação ambiental, tais impostos são vistos como bom exemplo pela Comunidade Econômica Européia (T&E, 1999).

Em 1998, a Suécia introduziu um imposto experimental relativo à poluição atmosférica gerada pelas emissões de CO₂ e NO_x, especialmente durante a aterrissagem da aeronave. O objetivo era reduzir os pousos em solo sueco e a medida foi considerada eficaz pelo governo do referido país. Atualmente os aeroportos suecos que operam sob a cobrança desse imposto são os seguintes: Östersund, Luleå, Sundsvall, Umeå, Arlanda, Gothenburg, Malmö, Ängelholm e o maior deles, Stockholm (Estocolmo). No cálculo das emissões de CO₂ e NO_x, para efeito da cobrança desses impostos, utilizam-se resultados de testes, em terra, com motores aeronáuticos e informações do banco de dados da ICAO.

3.2.4 – Taxação ao consumo de querosene de aviação nos Estados Unidos

Desde 1º de outubro de 1997, vigora o imposto sobre o consumo de querosene de aviação em vôos domésticos. Essa taxa ao querosene é cobrada junto às empresas aéreas e o valor é de US\$0,044 por 1 galão⁶⁶ de querosene. Os recursos arrecadados são direcionados a um fundo especial para promoção de melhorias na infra-estrutura dos aeroportos norte-americanos (EPA, 2002).

A quantia de US\$0,043 por galão de querosene é considerada baixa por ambientalistas (como os integrantes da organização não-governamental, *GreenPeace*). Mesmo as grandes companhias aéreas, jamais reclamaram do valor da cobrança, chegando mesmo a elogiar a iniciativa do governo. Considerando-se que a frota de aviões dos EUA é a maior do mundo e que o país responde por cerca de 1/3 do consumo mundial de querosene de aviação (FAA, 2002), estima-se que o capital arrecadado⁶⁷ seja expressivo.

Estima-se ser baixa a efetividade desse imposto ao querosene em relação a conter o consumo de QAV. Nesse contexto, conseqüentemente, não seria possível detectar uma perceptível minimização na quantidade de poluentes emitidos pelas aeronaves. A pujança e

⁶⁶ 1 galão de QAV = 3,79 litros.

⁶⁷ Com base em dados da IEA (2001) para o consumo de energia pelo transporte aéreo norte-americano estimou-se, neste Trabalho (em cálculo aproximado), que o valor arrecadado pela taxa ao QAV nos EUA seja da ordem de US\$ 290 milhões/ano (ano base: 2000).

vigor da economia norte-americana, especialmente desde o início da década de 1990, tornaram de fácil assimilação o imposto ao querosene. Assim, a despeito de a filosofia do imposto ser muito boa no intuito de redução do consumo de combustível, o valor cobrado é muito baixo e em termos ambientais a medida mostrou-se inócua. Um aumento considerável (de 50 a 100%) no valor do tributo e o direcionamento de parte da quantia arrecadada para o desenvolvimento de projetos ambientais ligados a aviação, possivelmente constituiria-se em medidas de ajuste ao modelo, tornando-o realmente efetivo em termos de conservação energética e ambiental.

Torna-se pertinente mencionar que, desde janeiro de 1987, vigora nos EUA um imposto relativo ao armazenamento de QAV (indiretamente, então, relativo ao consumo deste combustível). Esse imposto, cobrado junto às empresas aéreas e valorado em 0,1 do centavo de dólar por galão de querosene é direcionado ao financiamento do fundo LUST (*Leaking Underground Storage Tank Trust Fund*). Entretanto, tal imposto não objetiva a preservação ambiental, se esta fosse entendida como uma eventual redução na demanda por aviação. O montante arrecadado é totalmente destinado a estudos, pesquisas e no desenvolvimento de processos de segurança e qualidade relativos à construção e ao armazenamento de combustíveis em tanques na superfície e enterrados, em particular com referência à contaminação de solos e lençóis freáticos. O valor do imposto, a despeito de ser bastante inferior ao referente ao imposto ao QAV de 1997 (US\$0,043, conforme mencionado), é um dos poucos impostos que contam com o apoio das empresas aéreas deste país.

3.3 – O Conceito de “Comércio de Emissões”

A negociação da emissão de poluentes devido ao setor aéreo constitui-se em um instrumento econômico para preservação ambiental de filosofia semelhante ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM ~ *Clean Development Mechanism*). A idéia básica é de que uma empresa aérea, na incapacidade de que suas aeronaves emitam poluentes dentro de determinados limites, possa compensar essa violação ambiental através da compra de quotas de emissão de empresas que emitam abaixo do nível previamente estipulado. Assim, supõem-se que muitas empresas aéreas estimulariam a indústria aeronáutica a

desenvolverem tecnologias mais limpas como, por exemplo, motores aeronáuticos de baixos níveis de emissões, no intuito de emitir abaixo do limite admissível e obter algum lucro com a venda de determinado valor econômico relativo à diferença entre o limite e o que se emitiu efetivamente.

No contexto atual de globalização de mercados, é grande o potencial para expansão do chamado “Comércio de Emissões” no setor aéreo. Se forem superadas as dificuldades para implementação prática do conceito, os impactos ambientais gerados pela aviação podem, efetivamente, ser minimizados. Dentre as dificuldades, pode-se citar: atual imprecisão no cálculo do nível de emissões de uma aeronave em vôo; escolha coerente e justa de um determinado limite admissível para as emissões (são muitos os “atores” envolvidos); quantificação econômica coerente das quotas de emissões comercializáveis; e uma forma justa ou adequada de alocar as emissões relativas ao consumo de óleo bunker⁶⁸.

Determinadas questões éticas podem surgir quando se fala em comercializar a poluição. Para o caso do setor aéreo, os seguintes questionamentos seriam pertinentes: Qual seria a instituição ou organismo responsável pela monitoração, arbitragem e aplicação de eventuais penalizações? Estaria este órgão independente o suficiente para não se submeter ao forte jogo político-econômico inerente ao setor aéreo? Que instituição científica estaria hábil tecnicamente para determinar o limite admissível para as emissões aeronáuticas? Apenas os Gases de Efeito Estufa seriam alvo de negociações ou os óxidos de nitrogênio (de comportamento ambíguo) e outros poluentes também poderiam ter suas quotas de emissão comercializadas?

O conceito de Comércio de Emissões das aeronaves é focado em grandes quantidades de poluentes emitidos e nas negativas conseqüências ambientais, possivelmente geradas. Entretanto, assim como no caso do transporte rodoviário, existem certos “corredores de tráfego” extremamente “engarrafados” e outros freqüentemente livres. Assim, no caso das aeronaves operando em linhas aéreas de pouca ou nenhuma concorrência, seria coerente aplicar o conceito de Comércio de Emissões? A

⁶⁸ Entende-se por bunker o consumo de querosene e aviação, de gasolina de aviação e óleo combustível utilizados pela aviação e navegação internacional, interestadual e intermunicipal. A emissão de GEE devido ao consumo de bunker pode suscitar polêmica na medida em que nem sempre é trivial definir o que é mais justo: alocar tais emissões onde ocorre o abastecimento ou onde ocorre o consumo? No caso do município do Rio de Janeiro e para o modal hidroviário, por exemplo, considera-se não haver consumo de bunker, pois a frota de navegação internacional não é abastecida na cidade (RIBEIRO e MATTOS, 2002). Tal consideração não encontra eco de unanimidade entre os especialistas em comércio de emissões do IPCC (IPCC, 2001).

potencialização de problemas ambientais é muito diferente quando se compara, por exemplo, uma aeronave operando (e emitindo poluentes) na rota Rio de Janeiro (Brasil) – Joanesburgo (África do Sul) e uma outra operando na rota Nova Iorque (Estados Unidos) – Londres (Inglaterra). No primeiro caso (Rio de Janeiro – Joanesburgo) a potencialização de impactos ambientais é muito inferior, tendo em vista, que com o baixo tráfego, os poluentes, de acordo com estudo da NASA, tendem a se dispersar mais, sendo mais absorvidos por florestas ou oceanos⁶⁹.

3.4 – A Informação como Importante Instrumento para Tratar os Problemas Ambientais Decorrentes da Atividade Aérea

Cada vez mais a sociedade civil, através de Organizações Não-Governamentais (ONG's) ou mesmo manifestações individuais, exprime seu descontentamento com relação à progressiva degradação ambiental a que vem sendo submetido o planeta. Desde fins dos anos 60, com o movimento hippie, que era contra testes nucleares ou agressões industriais ao meio ambiente, até os dias de hoje, a consciência ecológica da população mundial foi crescente e qualitativa. E, quanto maior o nível educacional de um país, maior a compreensão para os problemas ambientais globais de acordo com estudo realizado pela COMISSÃO EUROPEIA (1996).

Ao longo da evolução histórica da preocupação ecológica por parte da sociedade, a Convenção ECO 92 ⁷⁰ (Rio de Janeiro, 1992) foi um grande marco. Nessa Reunião quase a totalidade dos países estava presente, representados por chefes de Estados, de Governo e/ou Ministros de Estado. Muitos assuntos importantes sob a ótica ambiental foram debatidos e acordaram-se diversas práticas de preservação ambiental. Entretanto, a poluição atmosférica gerada pelo setor aéreo foi um dos raros temas não debatidos. Na época a própria questão do incremento antropogênico do Efeito Estufa (e da Depleção da Camada de Ozônio) estava em seu estágio inicial de entendimento por parte da ciência. Assim, correlacionar o setor aéreo com tal problema não fazia sentido, à época. Na ECO 92, com

⁶⁹ Este não seria o caso do CO₂ que se dispersa por toda a atmosfera terrestre, independentemente do local onde tenha ocorrido a emissão (IPCC, 1999).

⁷⁰ Convenção ECO significa “Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento”.

relação a aviação, mencionou-se apenas a questão do ruído aeronáutico em duas palestras técnicas de pouca repercussão pela mídia.

No decorrer dos anos 90, a comunidade científica mundial passou, cada vez mais, a compreender a magnitude de grandes problemas ambientais tais como o aquecimento global pelo incremento do fenômeno do Efeito Estufa, a Chuva Ácida ou a Depleção da Camada de Ozônio. Assim, a ciência alertou a sociedade e os dirigentes mundiais para os riscos envolvidos no processo de degradação ambiental global. A consciência ambiental da sociedade para tais problemas, rapidamente se alastrou. Para isso, os alicerces ambientalistas dos anos 70 e a “avalanche” de informações pela mídia nos anos 90, foram decisivos.

Particularmente, a expansão de conhecimento pela sociedade com relação ao incremento antropogênico do Efeito Estufa, suas causas e conseqüências têm sido notória. Começou então a pressão da sociedade para que os governantes aplicassem medidas mitigadoras e, no caso do Efeito Estufa, tais medidas precisariam ser conjuntas, caso contrário, haveria pouca efetividade.

Especificamente, para o caso dos problemas ou impactos ambientais decorrentes da atividade aérea, já há, na Europa, Japão e nos Estados Unidos, Organizações Não-Governamentais (ONGs) criadas e voltadas para discutir a respeito de tais impactos. A atuação dessas organizações tem sido marcada pela elaboração de propostas para mitigar as emissões de poluentes pelas aeronaves, alertando a sociedade civil para a importância desse tema. Nesse sentido, a ONG inglesa, *Friends of the Earth*, tem-se destacado, sobremaneira, na promoção de campanhas, como *The Right Price for Air Travel* e atos públicos, como o *International Action Day on Aviation and the Environment* (MILIEUDEFENSIE, 2000). No Brasil, não há registros de ONGs com esse perfil de atuação.

Considerações finais sobre o Capítulo III

O planejamento de políticas (de âmbito nacional ou internacional) voltadas a melhorar a relação do setor aéreo com o meio ambiente (na perspectiva de mínima degradação ambiental possível) precisam, necessariamente, incorporar estudos que forneçam indícios a respeito de como se dará a evolução da demanda futura por transporte

aéreo. É esse o contexto (como foco no transporte aéreo brasileiro) que se delinea o desenvolvimento do próximo capítulo deste Trabalho.

CAPÍTULO IV – ASPECTOS SOBRE A DEMANDA POR AVIAÇÃO NO BRASIL

4.1 – Caracterização da Demanda por Transportes

A demanda por transporte (tanto de passageiros quanto de cargas) é analisada por pesquisadores de forma notadamente diversificada. Entretanto, grande parte dos estudos busca focar a análise da identificação e quantificação de demandas futuras. Tal convergência traduz a importância do planejamento prévio de ações para o setor de transportes.

O entendimento a respeito do comportamento da demanda por transportes é vital tanto para empresas privadas operantes quanto para o Poder Público. No caso das empresas privadas, tal entendimento, quanto mais aprofundada for, mais chance de sucesso terá o planejamento estratégico das empresas. Como o setor aéreo é especialmente marcado pela competitividade, as empresas atuantes precisam antever, da forma mais coerente possível, a evolução da demanda, sob pena de ficarem à margem do mercado.

Enquanto órgão responsável pela concessão de serviços e administração das políticas vigentes cabe ao Poder Público a incumbência de incentivar e acompanhar o desenvolvimento racional do setor de transportes. Para tanto, o amplo entendimento sobre a evolução da demanda é ferramenta para a definição de planos diretores específicos e prioridades de investimentos em infra-estrutura dos sistemas de transportes.

A demanda por transportes é um fenômeno derivado de diversos fatores exógenos. O correto entendimento da demanda depende da compreensão por parte do planejador, da distribuição espacial e da necessidade de deslocamentos da população, satisfazendo seus interesses por deslocamentos em função dos mais variados motivos, tais como saúde, trabalho e lazer.

Uma análise sob a ótica comportamental do usuário foi desenvolvida por BODMER (1984) que caracteriza a demanda de forma diferenciada devido às particularidades inerentes à motivação da escolha do consumo. Bodmer conclui que uma viagem é fruto da vontade ou necessidade que determinado indivíduo tem, em participar de alguma atividade em determinado local.

Sob a ótica econômica, GHOBRIAL e KANAFANI (1995) propõem a comparação entre a demanda e o nível de consumo de um serviço ou bem de acordo com a oferta disponível. Assim, um aumento no consumo de passagens propiciará um aumento na oferta de serviços de transportes.

4.1.1 – Metodologias para previsão da demanda por transportes

Inferir como se dará a evolução da demanda por transportes é um processo que exige abordagem científica amparada por um conjunto de variadas técnicas. Segundo ORRICO FILHO (1992), o elaborador deve ter em mente o objetivo da pesquisa e a disponibilidade dos dados a serem utilizados. Nesse último quesito, é possível fazer-se uma analogia entre a elaboração da previsão da demanda por transportes com as metodologias para o cálculo das emissões de CO₂. O método *bottom-up* é muito mais minucioso do que o *top-down*⁷¹. Entretanto, os dados para confecção do segundo estão, em geral, disponíveis (ao contrário da metodologia *bottom-up*). Assim, não é difícil incorrer em erros quando se trabalha com dados parciais ou mesmo indisponíveis para o cálculo das emissões de CO₂ e para a elaboração de previsões a respeito da evolução da demanda por transportes.

Alguns métodos utilizados para previsão da demanda por transportes e suas características principais, de acordo com a literatura especializada (SILVA, 1983, LOURENÇO, 1989; LOPES, 1998; BURMAN, 1999), são:

- Método das Elasticidades: este método é caracterizado pela utilização das elasticidades na estimação das alterações do que é quantitativamente demandado para uma variação em seus atributos. O coeficiente de elasticidade avalia as flutuações relativas da demanda para variação relativa dos atributos. Tal coeficiente é obtido através de métodos estatísticos. O método das elasticidades é uma técnica de previsão incremental por considerar apenas modificações na variável dependente;
- Método das Séries Históricas: este método consiste na criteriosa observação de registros históricos e seqüenciais de fatos relacionados à produção, que podem ser manipulados

⁷¹ As metodologias *bottom-up* e *top-down* são mais exploradas no Capítulo V deste Trabalho.

estatisticamente. Os produtos gerados por este método são previsões de natureza incondicional e de curto prazo. Para que o método das Séries Históricas possa captar efeitos sutis como os sazonais ou cíclicos, é indispensável a posse de um considerável número de observações;

- Métodos Qualitativos: a utilização de tais métodos está voltada para a previsão tecnológica dos meios que são capazes de gerar bens ou serviços, para que as empresas possam se adequar ao processo de inovações tecnológicas, podendo então fundamentar mais coerentemente seus planejamentos táticos ou estratégicos. Dentre os métodos Qualitativos, um dos mais empregados é a Técnica Delphi, que se baseia na opinião de especialistas sobre alterações na demanda, fundamentada em suas experiências acumuladas sobre determinado assunto. A aplicação da Técnica Delphi é um processo interativo, sendo as respostas, comumente obtidas através de formulários padronizados. Tais respostas são tabuladas criteriosamente para a obtenção de indicadores estatísticos da opinião do grupo. Objetiva-se assim, uma boa convergência de opiniões;
- Método da Extrapolação de Tendências: consiste em observar dados referentes a demandas anteriores e adequar o tipo de função que melhor se ajusta a essa realidade histórica. Assim, a função empregável pode ser exponencial, logarítmica, linear, etc. As previsões resultantes através da extrapolação de tendências, não consideram fatores exógenos, sendo o tipo de modelo utilizado uma função na qual a série observada é explicada unicamente pela variável tempo. É um dos métodos mais empregados na cenarização da demanda por transportes aéreos;
- Modelos Explicativos: a aplicação deste método objetiva o estabelecimento de uma ou mais relações funcionais que permitam prever a variável dependente a partir do comportamento das independentes. Para tanto, utiliza-se uma abordagem econométrica;
- Modelos Comportamentais: consistem em tentativas de compreender as decisões tomadas pelos indivíduos quando existem diversas alternativas de escolha a serem tomadas, ou seja, são baseadas na teoria da escolha. A escolha pode ser representada

pelos modelos que predizem a probabilidade de cada alternativa dentro do grupo de escolhas e que possa ser selecionada pelo usuário, com base na observação da utilidade de cada alternativa.

4.2 – O Setor Aéreo e a Demanda

A demanda por transporte aéreo apresenta diversas particularidades em relação às outras formas de transporte (ou modais), especialmente no que se refere aos custos operacionais elevados decorrentes da necessidade de uma complexa infra-estrutura e da alta tecnologia empregada nas aeronaves. Os usuários do transporte aéreo constituem-se em outro diferencial do setor por possuírem algumas características especiais, tais como, maior poder aquisitivo (em média) que os distinguem dos usuários de ônibus, trens, automóveis ou embarcações. Efetivamente, o sistema de transporte aéreo pode ser caracterizado como um modal distinto e especial, necessitando de robusta infra-estrutura na forma de aeroportos, sistemas de auxílio ao voo e aeronaves, o que requer tecnologias de ponta e maciços investimentos na implementação, modernização e conservação. E, quanto maior for o país, maior a influência do setor de transporte aéreo no desenvolvimento econômico nacional devido a grande capacidade de integração proporcionada pelo setor.

Um perfil dos usuários por transporte aéreo no Brasil, elaborado por Franco, em 1976, conclui que 90% das passagens aéreas são pagas por pessoas jurídicas, refletindo a natureza de grande parte das viagens: negócios (FRANCO, 1976). Trabalhos realizados posteriormente, tais como os de BARBOSA (1983), LOURENÇO (1989) e SILVA (2001) confirmam que a maioria das passagens aéreas no país são, de fato, custeadas por pessoas jurídicas. De acordo com informações obtidas junto a TAM, atualmente (2003), o referido percentual é da ordem de 79% (TAM, 2003). Entretanto, cada vez mais, as classes média e alta e mesmo as menos favorecidas, através de eventuais promoções, têm buscado satisfazer suas necessidades por consumo reprimidas e, com isto, as viagens aéreas cuja natureza é o lazer, têm crescido substancialmente, em especial após a implementação do Plano Real em 1994, com a conseqüente estabilidade econômica gerada. Em países desenvolvidos, como os EUA ou o Canadá, as viagens aéreas em sua maioria (cerca de 86%) possuem o lazer como natureza (IATA, 2001).

Uma característica apontada por FRANCO (1976) que diferencia o modal aéreo dos demais é a vantagem proporcionada devido à economia de tempo de viagem em relação aos transportes de superfície, exercendo grande atividade com relação a deslocamentos motivados para fins de negócios. De acordo com Franco, quanto maior a distância entre duas localidades, maior será o interesse na utilização do transporte aéreo. Distâncias curtas indicam uma menor diferença de tempo gasto entre os modais disponíveis para realização da viagem, representando uma tendência a uma maior concorrência com os modais terrestres.

De acordo com inúmeras pesquisas (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998; IPCC, 1999; ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, 1996), um fator determinante que caracteriza a demanda por aviação é a forte ligação que ela tem com a atividade econômica do país. Tratando-se de viagens de passageiros a negócios e do transporte de cargas, em geral pagas por pessoas jurídicas, quanto maior for o nível de atividade econômica da região ou país, maior é o número de transações comerciais entre empresas e, conseqüentemente, maior a demanda por transporte aéreo. Para as viagens destinadas ao lazer (férias ou visitas), geralmente pagas pelo próprio passageiro, quanto maior for a atividade econômica do país, maior o poder aquisitivo da população para a compra de passagens aéreas, aumentando também a demanda.

A maioria das companhias aéreas, a ICAO e as indústrias aeronáuticas elaboram cenários futuros para a evolução da demanda por aviação. Os modelos, em geral, geram cenários não lineares, dinâmicos e de aproximação sistêmica. Avaliam tanto países desenvolvidos como os em desenvolvimento. Os níveis de crescimento da demanda para as diferentes regiões do mundo são determinados pela história econômica e pela análise histórica da indústria da aviação nestes países. Em relação à construção de demandas futuras para a evolução do setor de aviação no Brasil observa-se, preliminarmente, que os modelos adicionam os parâmetros de análise do transporte aéreo de carga e de passageiros e não separam viagens por tipo, ou seja, não especificam se as viagens são a negócio ou a lazer. Além disso, supõe-se haver certa desconsideração a respeito da demanda reprimida⁷².

⁷² Tal comentário é pertinente apenas para o caso de modelos para a previsão da demanda por transportes que não encerrem a consideração de séries históricas ou extrapolações. Afinal, em ambos o caso, não se trabalha com a demanda reprimida, mas sim com dados sócio-econômicos passados (e não futuros, como seria o caso da demanda reprimida).

Efetivamente, há no Brasil uma boa parcela da população com poder aquisitivo de “classe média” e que ainda não satisfaz suas necessidades de consumo, tais como viagens aéreas a lazer, por exemplo.

De acordo com SCHÄFER (1992), a evolução da demanda por aviação em um determinado mercado é afetada pelos seguintes fatores:

1. Demanda Latente → ocorre quando um novo aeroporto é construído. Oferece-se subitamente uma nova opção de transporte e a tendência é uma expansão acentuada na demanda. Em geral, este desenvolvimento inicial é muito rápido. Nos EUA, por exemplo, devido ao mero anúncio da construção de um aeroporto, já se é possível esperar uma taxa de utilização superior ao aeroporto concorrente ou mais próximo. Estudo aponta que um novo aeroporto cresce cerca de 15% a mais no primeiro ano de operação que os aeroportos vizinhos no mesmo ano em análise (SCHÄFER, 1992). Trata-se da demanda latente.
2. Expansão Continuada → ocorre pela ampla gama de atividades geradas pela implementação da infra-estrutura aeroportuária. Um aeroporto é uma estrutura dinâmica que abre novas oportunidades de negócios e turismo. As pessoas aprendem a trabalhar, negociar em distâncias maiores e aumenta também a emigração. Enfim, a aviação muda os hábitos das pessoas e os negócios se expandem à medida que aumenta a demanda por viagens aéreas. Potencializada pela expansão continuada, a demanda experimenta um rápido e continuado processo de crescimento.

A figura, a seguir, ilustra o quão forte foi a incorporação da aviação nos hábitos pessoais e de negócios dos americanos, ou seja, reflete a notável expansão continuada do transporte aéreo norte-americano, como um todo.

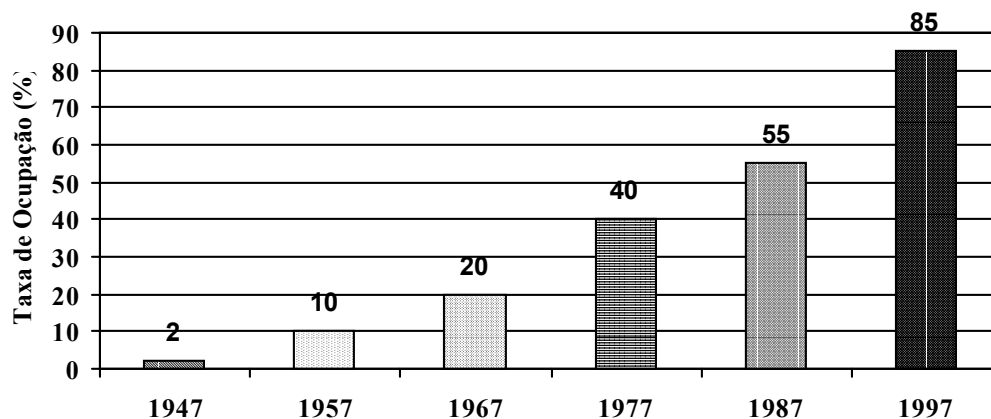


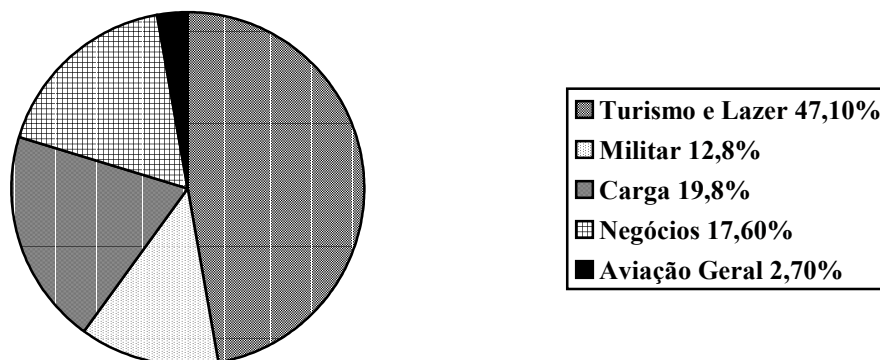
Figura 4.1: Evolução da demanda histórica por aviação nos Estados Unidos: taxa de ocupação (= número de assentos ocupados/número de assentos oferecidos), 1947-1997
 Fonte: T&E, 1997.

Os setores de mercado da demanda por aviação são, de acordo com a literatura especializada (LEE, LUKACHKO, WAITZ et al., 2001; CARLSON e HAMMAR, 2002), os seguintes:

- Viagens de Negócios;
- Turismo e Lazer;
- Carga;
- Militar;
- Aviação Geral.

A figura, a seguir, exprime a distribuição global, em 1990 e 2000, dos setores de mercado por aviação, de acordo com o combustível consumido.

a) 1990



b) 2000

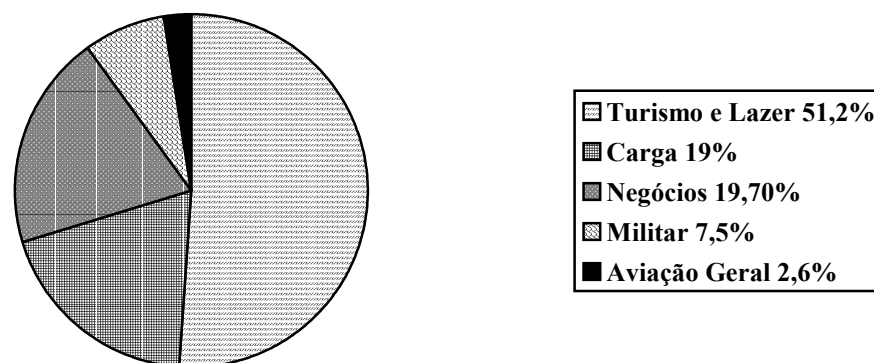


Figura 4.2: Distribuição percentual global, em 1990 (a) e 2000 (b), dos setores de mercado por aviação de acordo com a quantidade de combustível consumido

Fonte: Elaboração Própria a partir de EPA, 2001 e IEA, 2000.

Observa-se pela figura anterior que o setor de Turismo e Lazer foi o que mais cresceu (entre 1990 e 2000). De fato, é este setor que, efetivamente, tem impulsionado o setor aéreo como um todo. No período analisado, os demais setores mantiveram suas participações percentuais proporcionais. A exceção foi o setor militar que experimentou considerável retração que pode, em parte, ser explicada pela redução da polarização bélica entre Estados Unidos e Rússia. Cabe denotar que a política conduzida pelo presidente norte-americano George W. Bush encerra o fortalecimento do aparelho militar dos EUA. É

de se esperar, conseqüentemente, um reaparelhamento da força aérea dos EUA e de países “inimigos”. Ocorrendo isto, o setor de mercado por aviação militar experimentará rápido crescimento. Observa-se que a aviação militar não possui uma lógica racional de expansão. Na eminência de uma guerra, a demanda por aviação militar pode sofrer uma exponencial expansão, por exemplo.

A separação de viagens de passageiros em negócios e turismo é complexa⁷³. Estima-se que o percentual global de viagens de negócios seja de 33% a 40% (IATA, 2001). Entretanto isto varia muito de país para país. Em geral, quanto mais rico o país, maior a chance de uma viagem de negócios ser também uma viagem turística (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998).

Em geral, a viagem de negócios é percentualmente muito maior em países pobres onde, comumente, não há tempo ou dinheiro para as pessoas fazerem turismo e quando o fazem, por razões econômicas, tendem a optar por outros meios de transporte. Na China, por exemplo, cerca de 80% a 90% das viagens aéreas são devido a negócios (IATA, 2001). As razões para muitas viagens de negócios em nações em desenvolvimento incluem, além das já mencionadas falta de disponibilidade de tempo e dinheiro, o incipiente favorecimento do governo para viagens de lazer.

A tabela, a seguir, apresenta dados representativos a respeito da demanda por aviação (em nível mundial) com relação a viagens de passageiros.

⁷³ Conforme comentado anteriormente, a maioria das viagens aéreas no Brasil são classificadas como sendo a negócios. Entretanto, a metodologia de avaliação (do DAC/IAC, por exemplo) não considera, por exemplo, que um viajante a negócios que faça ao menos um pernoite, deve ser tratado como um “turista a negócios”. Isso se dá uma vez que, de forma simplista, um “turista” pode ser considerado qualquer viajante que pernoite fora de sua cidade de residência (uma noite fora, pelo menos). Assim, o executivo que sai do Rio, vai para São Paulo e retorna no mesmo dia é um viajante a negócios, mas não um “turista a negócios”. Estima-se que a separação de viagens de passageiros em negócios e turismo seja mais sutil do que se considera atualmente. De fato, a complexidade nesta separação se dá, pois, geralmente, os especialistas em aviação não são também, especialistas em turismo. Também de forma simplista, os turistas podem ser segmentados: a negócios; em eventos (feiras, congressos, etc); em visitas a parentes e amigos; a lazer; e outros.

Tabela 4.1: Dados representativos para a demanda global por aviação: dados referentes ao transporte aéreo de passageiros, em 2000

Grupo econômico ⁷⁴	Quilometragem “per capita” percorrida	Viagens de negócios	Viagens a lazer	Percentual de habitantes que nunca utilizaram o transporte aéreo
1-Economias Industrializadas	178	10%	86%	12%
2-Novas Economias Industrializadas	52	15%	78%	24%
3-Economias em Acelerado Desenvolvimento	8	62%	28%	72%
4-Economias em Lento Desenvolvimento	20	65%	22%	78%
5-Economias em Transição (Ex-Socialistas ou Comunistas)	66	50%	16%	80%

Fonte: Elaboração própria a partir de IATA, 2001 e SCHÄFER, 1992.

Analisando a tabela anterior, ressalta-se que a baixa quilometragem “per capita” observada em países de economia em acelerado desenvolvimento (em torno de 8) pode ser explicada pelo grande contingente populacional da China. A China, aliás, deve ser uma grande força-motriz para a provável forte expansão da aviação mundial prevista para as próximas décadas. Para se ter uma noção do gigante populacional que é este País, está em estágio de obras finais (inauguração prevista para fevereiro de 2004) um novo aeroporto internacional em Xangai com capacidade para atender cerca de 90 milhões de passageiros/ano e há projetos para construção de 60 a 100 aeroportos (de médio e grande porte) nos próximos dez anos⁷⁵ (GAZETA MERCANTIL, 2003).

⁷⁴ Definição dos Grupos Econômicos:

- Economias Industrializadas: OCDE, exceto Japão.
- Novas Economias Industrializadas: Ásia Industrializada (Ex: Coréia e Japão).
- Economias em Acelerado Desenvolvimento: China, resto da Ásia e Brasil.
- Economias em Lento Desenvolvimento: África, América Latina e Central.
- Economias em Transição: Ex-integrantes da União Soviética, Europa do Leste.

⁷⁵ O aeroporto de Atlanta é, atualmente, o de maior movimentação de passageiros no mundo, movimentando cerca de 75-80 milhões de passageiros/ano.

4.2.1 – Modelos de previsão para a demanda por transporte aéreo

O crescente número de publicações especializadas nas últimas duas décadas reflete o grande interesse da comunidade científica mundial por pesquisas na área de demanda por transporte aéreo. É bem possível que a crescente competitividade do setor aéreo, desde fins dos anos 70, tenha estimulado a geração de demandas (e análises destas) para avaliação do nível evolutivo do transporte aéreo. Os enfoques das demandas geradas têm amplo espectro buscando contemplar as muitas variáveis inerentes ao transporte aéreo.

O contexto descrito reflete o panorama mundial onde são desenvolvidos diversos estudos sobre demanda por transporte aéreo conduzidos por empresas privadas como as européias BRITISH AIRWAYS (1998) e a KLM (2000) e por organismos internacionais como a IATA (2001) ou a ICAO (1992). Em contrapartida, incoerentemente, no Brasil, observa-se certa carência de estudos específicos para a demanda. Apenas o DAC (Departamento de Aviação Civil) realiza, regularmente, um estudo neste sentido⁷⁶. Cabe ressaltar, porém, que algumas aprofundadas teses de mestrado ou de doutorado realizadas no Brasil, têm contribuído amplamente para reverter este quadro. Nesse contexto, cabe mencionar a tese de mestrado elaborado por LOPES (1999), e a de doutorado desenvolvida por ESPÍRITO SANTO JÚNIOR (2000).

Existem algumas diferenciações marcantes entre as demandas geradas por países, companhias e indústrias aeronáuticas. Interesses políticos e econômicos muitas vezes induzem a elaboração de previsões subestimados ou superestimados, para demanda por transporte aéreo. Ressalta-se que os cenários elaborados pelo IPCC são, caracteristicamente, isentos de manipulações inequívocas dada a grande quantidade de renomados pesquisadores de diversos países envolvidos na elaboração desses cenários.

A maioria dos trabalhos relacionados a previsões para a evolução da demanda por aviação (e transportes, em geral, tanto no exterior como no Brasil), baseia-se, em sua grande maioria em métodos de previsão por Extrapolação de Tendências e em métodos de

⁷⁶ Apesar de muito abrangente e útil, a demanda para a aviação no Brasil, elaborada pelo DAC (FILHO, RAMOS, CARVALHO, 1998), não infere sobre emissões de CO₂ (e de outros poluentes) ou comportamento do consumidor.

previsão quantitativa, mais precisamente modelos econométricos⁷⁷. Tais modelos analisam os dados fornecidos pela estatística, mediante aplicação de métodos matemáticos.

Diversos trabalhos relacionados à previsão da demanda por transporte aéreo sugerem modelos agregados como o modelo proposto por GHOBRIAL e KANAFANI (1995) direcionado a analisar regiões de economia estável. O trabalho dos autores mencionados analisa sete estados da região sudeste dos Estados Unidos (Alabama, Flórida, Geórgia, Louisiana, Mississippi, Carolina do Norte e Carolina do Sul). A estimação do modelo é feita através de dados indicativos das atividades econômicas predominantes referentes a cada um dos estados, em relação ao número total de passageiros embarcados nos mesmos. O objetivo do estudo foi demonstrar a influência desses fatores no comportamento da demanda na região, através da análise da elasticidade.

Outros trabalhos sugerem modelos para programação de viagens em empresas aéreas como o realizado por CALDERÓN (1997) aplicável a rotas internacionais européias. O modelo sugerido pelo autor busca avaliar a importância que a demanda exerce sobre o fluxo de tráfego europeu, através da estimação da elasticidade da demanda em relação a elementos essenciais, como por exemplo, a frequência de vôos, o tamanho e o tipo de aeronave e as tarifas aplicadas.

Um modelo testado para expressar o potencial da demanda entre dois pólos geradores de tráfego pode ser o modelo gravitacional, utilizado para demonstrar a atração da gravidade entre dois pólos. Trivialmente, o modelo pode ser expresso através da seguinte fórmula:

$$F = C \cdot \frac{M_1 \times M_2}{D}$$

(Equação 4.1)

Onde: F = Força de atração entre os corpos;

M1, M2 = Massa dos corpos;

D = Distância entre os corpos;

C = Constante.

⁷⁷ A econometria é o ramo da economia que estabelece leis quantitativas para os fenômenos econômicos, partindo-se da teoria econômica.

Adaptando-se a fórmula descrita para o setor de transportes, observa-se:

$$PAX = C \cdot \frac{P_1 \times P_2}{D^2}$$

(Equação 4.2)

Onde: PAX = Número de passageiros transportados na ligação;

P1, P2 = População das duas cidades;

D = Distância entre as cidades;

C = Constante.

Testado por FRANCO (1976), o modelo gravitacional foi empregado para inferir sobre o comportamento da demanda por transporte aéreo regional no Brasil, mas os resultados não foram satisfatórios. Este tipo de modelo é pouco eficiente para prever a evolução do tráfego aéreo a médio e longo prazo, pois os variáveis independentes incluídas são exclusivamente magnitudes físicas e não refletem os fatores econômicos que influem na sua evolução com o tempo.

4.3 – Fatores Determinantes da Demanda por Aviação no Brasil

4.3.1 – Nível de atividade econômica

Especialmente no segmento de cargas aéreas, a demanda por transportes mantém uma relação direta com o nível de atividade da economia. Observa-se que a circulação de mercadorias se expande quanto o nível de atividade aumenta e maior tende a ser a demanda pelos transportes aéreos. Trabalhos apontam que, para cada ponto percentual de crescimento do PIB de uma região, a demanda por transporte aéreo cresça entre 1,6% e 1,8% (FILHO, RAMOS, CARVALHO, 1998; ICAO, 1995; ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, 1996).

O volume das transações comerciais internacionais do país (importações e exportações) e o próprio perfil da economia (agrícola, industrial, etc.) constituem-se

também em importantes elementos de caracterização do setor aéreo (FLEMING e GHOBRIAL, 1994). Observa-se que quanto mais industrializada a economia, maior o valor agregado de sua produção e com isto, maior tende a ser a quantidade de produtos transportados por aeronaves. Uma maior utilização do transporte aéreo está, intimamente, relacionada ao aumento de valor agregado do que se produz. Isto ocorre pelos ainda elevados custos associados a este tipo de modal. A frase, a seguir, atribuída ao ex-presidente da Varig, Ozires Silva, resume bem a inter-relação comentada:

“A viagem só se paga quando a carga é ou se faz valiosa”

Especificamente no caso do comércio internacional, de acordo com o perfil da pauta de importações e exportações de um país, quanto maior as quantidades transacionadas, maior tende a ser a demanda por transporte aéreo. Muito fundamentado em transporte de cargas de baixo valor agregado como o minério de ferro, o comércio internacional brasileiro, utiliza-se muito do modal aquaviário. Enfim, o perfil dos produtos transportados é mais influente que a quantidade no que se refere à expansão da demanda por transporte via aérea.

O aumento de 20% no total de ton-km transportadas entre 1994 e 1996 (GEIPOT, 2000), exemplifica e denota como alterações no perfil da economia geram alterações na demanda do setor aéreo. Esse incremento teve como força motriz o processo de abertura econômica e o aumento das importações, associados à implementação do Plano Real, em 1994, no primeiro ano do governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso.

4.3.2 – Nível de renda

Diretamente relacionados estão os níveis de renda e a demanda por transporte aéreo. Quanto maior o nível de renda de uma nação observa-se uma maior tendência para utilização do transporte aéreo (LEE, LUKACHKO, WAITZ ET AL. 2001). Em parte, isto se explica pelo incremento das viagens turísticas associadas ao aumento no nível de renda.

A concentração de renda também possui forte influência na demanda do setor. Quanto maior a concentração de renda, menor tende a ser o número de viagens aéreas

(STEENHUIS e BRUIJN, 2001). Estima-se, nesse contexto, que a pouca eqüitativa distribuição de renda⁷⁸ no Brasil tem sido, historicamente, um fator de “freio” à expansão do transporte aéreo.

De acordo com dados do IBGE (1997), 10% da população brasileira, em 1996, concentrava 50% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Pesquisas do IAC indicam que a demanda pelos transportes aéreos no Brasil, em 1997, tenha sido gerada por cerca de 6 milhões de pessoas, o equivalente a apenas 3,84% da população denotando a baixa acessibilidade do transporte aéreo à população brasileira. A mesma pesquisa aponta que a quantidade de vôos per capita no Brasil, em 1997, foi de cerca de 3,2.

Um bom exemplo de impacto da variação de renda sobre o setor aéreo no Brasil foi a experiência do Plano Cruzado em 1986. No ano seguinte à implementação do plano, o total de pax-km transportados pelas companhias aéreas aumentou de cerca de 10 para 15 bilhões, um expressivo crescimento de 50% (GEIPOT, 2000). Esse aumento pode ser atribuído ao discreto aumento no nível de renda proporcionado pelo congelamento de preços e ao congelamento das tarifas, que estiveram associadas ao plano.

Outro célebre exemplo da relação entre alterações na renda e demanda por aviação foi o Plano Real. Observa-se que o mesmo efeito-renda gerado pelo Plano Cruzado em 1986, ocorreu em 1995 e 1996 com o Plano Real, editado em junho de 1994. A diminuição da inflação para níveis baixos, o aumento da renda da população (com o conseqüente aumento de poder aquisitivo) e a expansão dos prazos de financiamento das passagens aéreas promoveram um considerável aumento no número de pax-km transportados: de 53,44 bilhões em 1993 para 62,74 bilhões em 1995 (GEIPOT, 2000), caracterizando cerca de 14,8% de variação entre 1993 e 1995. O número de pax-km de muitos países industrializados não cresce tanto nem em uma década.

⁷⁸ A renda per capita anual no Brasil, em 2001, de acordo com o IBGE, foi de cerca de US\$2.660,00 (IBGE, 2003), o que a posiciona como uma das 20 piores dentre os 178 países filiados à ONU (em 2001). Cabe ressaltar que o Brasil é considerado a 10ª maior economia do mundo (em termos de valor do PIB) (IBGE, 2003). O baixo nível de equidade econômica e social torna-se evidente.

4.3.3 – Valor das tarifas e frequências

A demanda por transportes aéreos também está intimamente relacionada ao preço das tarifas, ao número de frequências e à diversidade das ligações que as companhias aéreas oferecem (FLEMING e GHOBRIAL, 1994). Observa-se que quanto menor o valor das passagens, maior tende a ser a demanda pelos transportes aéreos, especialmente tratando-se do setor de turismo a lazer e aquele relacionado a visita de amigos e parentes. Por exemplo, a queda nos preços das passagens no primeiro trimestre de 1998, causada por uma verdadeira “guerra” de preços entre as companhias aéreas brasileiras, promoveu um incremento de 20% na demanda do setor em relação ao mesmo período de 1997 (GARIO, 2002). A disputa de preços, em 1998, gerou tarifas tão acessíveis que chegou a tornar-se, economicamente comparativo, viajar de avião ou de ônibus. Assim, em 1998, muitas pessoas que jamais haviam pisado em um avião, puderam enfim, se beneficiar de um modal de transporte que deu seus primeiros passos no começo do século XX. Pode-se caracterizar como força-motriz para este considerável “surto de expansão” na demanda, a queda nos preços dos bilhetes aéreos, ocorrida no primeiro trimestre de 1998. Após esse ano, outros pequenos “surtos de expansão” ocorreram. Nesse contexto, estima-se que a crescente competitividade com a entrada no mercado de companhias de política agressiva com relação a preços, como a GOL, devam gerar no transcorrer de 2004, outra grande redução de preços de passagens aéreas.

Quanto mais diversificada for a oferta dos serviços (número de destinos, opções, etc.) e quanto maior for a frequência dos vôos, maior tende a ser a demanda por transporte aéreo. A questão da frequência é notadamente importante para a demanda nas rotas regionais ou de pequeno percurso, onde é acirrada a concorrência com o modal rodoviário, em diversas regiões do Brasil. Com relação à diversidade na oferta de serviços, a atuação da VARIG S.A., efetivamente, impacta a demanda. A referida empresa possui opções de vôos para todos os continentes (GARIO, 2003). Tratando-se do setor de aviação regional, observa-se grande expansão nos últimos 10 anos devida, em parte, aos incentivos governamentais. Em termos percentuais, a aviação regional tem se expandido mais do que a doméstica nacional ou a internacional, conforme explicitado através de análises e figuras

inclusas no Capítulo I deste Trabalho. Observa-se, porém, que o setor de aviação regional tem sido muito pouco estudado sob as óticas ambientais e/ou energéticas.

4.3.4 – Distâncias percorridas

Em geral, maior tende a ser a demanda por transportes aéreos quanto maiores forem as distâncias entre as regiões e cidades que mantêm relacionamentos sociais, culturais e/ou econômicos. Por este motivo, países com grandes áreas territoriais tendem a possuir um volume de tráfego aéreo doméstico proporcionalmente maior do que os países com áreas pequenas.

Cabe ressaltar que o transporte aéreo pode ser considerado como o modal mais barato quando o objetivo é a integração de regiões muito distantes dos centros econômicos, com topografia muito acidentada e com limitações em termos de infra-estrutura de transporte. De um modo geral, é mais custosa a construção de ferrovias ou rodovias do que de aeroportos. O aporte de capital requerido para a construção de um aeroporto internacional é cerca de 1/5 do necessário à construção de uma rodovia de cerca de 500km ou uma ferrovia de 650km (FAA, 1999).

Pelos motivos comentados, o transporte aéreo foi amplamente difundido em países de dimensões continentais, como os Estados Unidos e o Canadá e, em menor escala, mas também muito utilizado no Brasil. A opção pelo modal rodoviário, decidida no início dos anos 50 durante o governo de Juscelino Kubistheck, não impediu a difusão da aviação como forma de transporte em regiões de difícil acesso. Na Região Amazônica, por exemplo, o transporte aéreo ainda é um dos principais meios de acesso, tendo em vista as dificuldades e limitações na implementação da infra-estrutura necessária aos transportes rodoviário e ferroviário.

Portanto, para algumas populações brasileiras habitantes em regiões de acesso extremamente dificultoso, a aviação cumpre um indispensável papel social, trazendo medicação, “contato com a civilização” através dos correios aéreos⁷⁹ e também meios para o desenvolvimento educacional (livros, professores, utensílios, etc.).

⁷⁹ Desde 1932, a Força Aérea Brasileira operacionaliza os correios aéreos na Região Amazônica, cumprindo fundamental papel de integração nacional (COMAER, 2002).

4.4 – Indicadores da Demanda por Aviação no Brasil

Diversos fatores podem ser utilizados para caracterizar o setor de transporte aéreo em um país. Entretanto, este Trabalho, focando o Brasil, utilizar-se-á dos parâmetros mais utilizados pela literatura especializada quais sejam: o número de passageiros-quilômetros transportados (pax-km); e o número de toneladas-quilômetros transportadas (ton-km). As duas próximas figuras apresentadas, a seguir, explicitam, respectivamente, as evoluções dos parâmetros pax-km e ton-km para o Brasil.

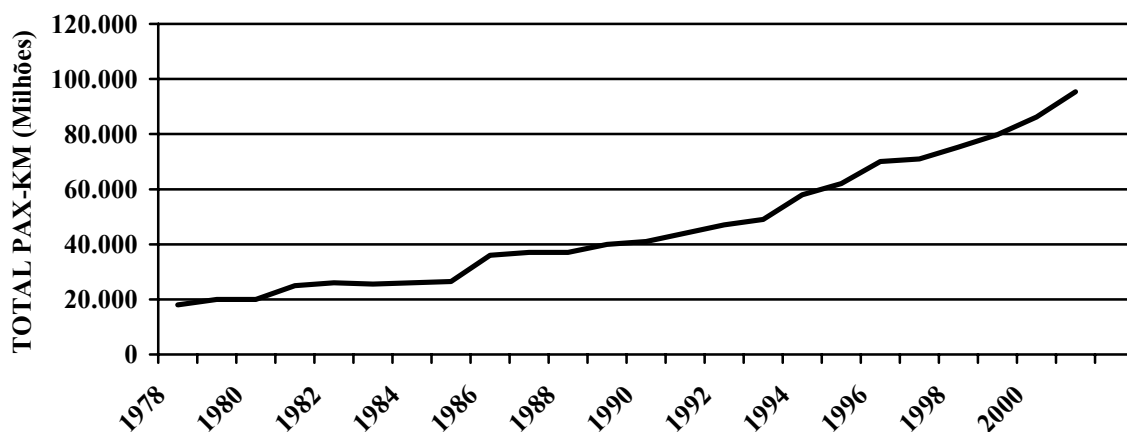


Figura 4.3: Passageiros-quilômetros transportados: tráfego aéreo total (regional + nacional + internacional) no Brasil, 1978 a 2001

Fonte: Elaboração própria a partir de DAC, 2002.

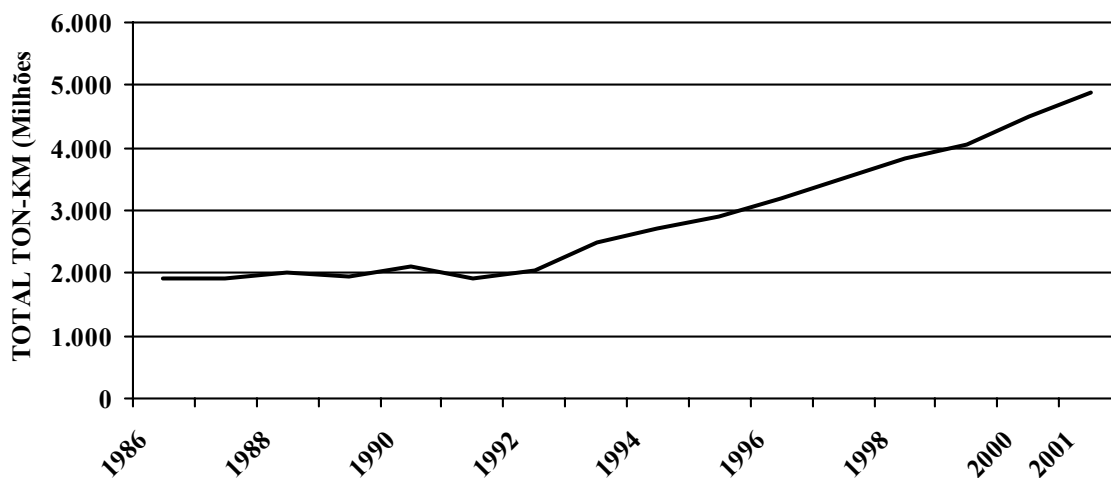


Figura 4.4: Toneladas-quilômetros transportadas. Tráfego aéreo total (regional + nacional + internacional). Período: 1986 a 2001

Fonte: Elaboração própria a partir de DAC, 2002.

O volume de passageiros e cargas transportados pelas companhias aéreas brasileiras cresceu de forma constante ao longo da década de 1970 e início da década de 1980. Entretanto, em 1983, por conta da crise da dívida externa, registrou-se ligeira queda das atividades com passageiros e cargas. O setor aéreo voltou a recuperar-se a partir do Plano Cruzado em 1986 (conforme se observa pela Figura 4.3). A partir de 1991, o setor de transporte aéreo de carga, impulsionado pelo aumento das importações brasileiras, cresceu linearmente ano após ano (conforme se observa pela Figura 4.4).

De uma forma geral, pode-se dizer que a evolução do número de pax-km e ton-km, na década de 1990, foi marcada por um crescimento linear a despeito de eventuais prejuízos acumulados. A diminuição dos custos associada ao aumento das escalas de operações implicou no incremento das atividades aéreas, tanto de cargas como de passageiros. A partir de 1994, a expansão do setor aéreo no Brasil foi mais acentuada (conforme se observa pelas duas figuras anteriores), devido à estabilização econômica gerada no país a partir de então.

Para efeito de comparação a figura, a seguir, apresenta o crescimento (%), para o período 1994-1998, do número de pax-km transportados pelo Brasil e por alguns países selecionados. Observa-se a forte expansão do transporte aéreo de passageiros no Brasil no período em questão⁸⁰, chegando mesmo a ser superior (em termos relativos) à de países que investiram muito mais capital no setor aéreo, como China e Estados Unidos (GARIO, 2002). A crise econômica na Rússia e problemas de endividamento das empresas aéreas mexicanas, explicam, em parte, as taxas negativas observáveis no gráfico. No caso brasileiro, estima-se que o expressivo crescimento de 38% (ver Figura 4.5) guarde relação com reformas realizadas na economia brasileira, a partir de 1994.

⁸⁰ Para o caso do transporte aéreo de cargas, em termos de crescimento acumulado percentual em períodos recentes, o Brasil também se destaca no cenário internacional. Para o período 1994-1998, tal crescimento atingiu o patamar de 19%, enquanto que em países como Alemanha, França, México e Rússia alcançou os valores de 12,1%, 3,5%, -28% e -44,3%, respectivamente, de acordo com dados do GEIPOT (2000).

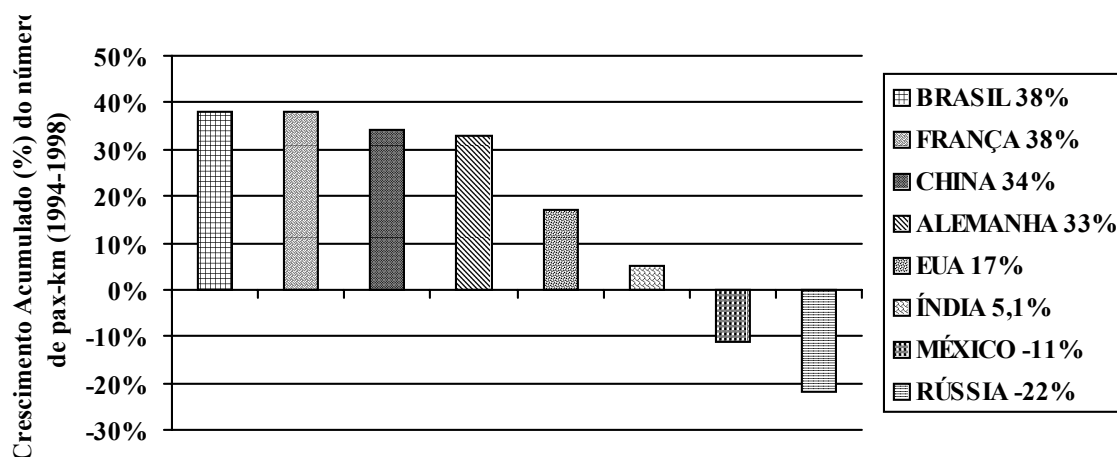


Figura 4.5: Crescimento acumulado (%) do número de passageiros-quilômetros transportados (pax-km): Brasil e países selecionados, 1994-1998

Fonte: Elaboração Própria a partir de GEIPOT, 2000.

4.5 – Projeções para a Demanda Futura por Aviação no Brasil

Este trabalho, na elaboração de projeções para a demanda por aviação no Brasil, utilizou-se duas premissas básicas: o emprego do método da extrapolação de tendências e o forte vínculo entre atividade econômica e demanda por aviação. O pressuposto para a adoção da segunda premissa está alicerçado no entendimento de que o PIB brasileiro – definido como a soma das riquezas produzidas pelo país, seja o principal indutor da evolução da demanda por transporte aéreo.

O método da extrapolação de tendências tem sido a metodologia mais utilizada pela comunidade científica mundial e baseia-se, fundamentalmente, na observação de dados referentes a demandas anteriores e adequação de determinado tipo de função que melhor se ajuste a essa realidade histórica.

O vínculo entre atividade econômica e demanda por aviação é bastante evidente na maioria dos países. Inúmeras pesquisas (FILHO, RAMOS, CARVALHO, 1998; IPCC, 1999) indicam haver forte estreitamento em relação a esse vínculo e ressaltam que em períodos de estabilidade econômica, a demanda por serviços aéreos atinge patamares evoluídos, variando a taxas modestas. Os mesmos estudos denotam que, em períodos de pujante crescimento econômico, a expansão da atividade aérea é muito acentuada.

Ao longo dos últimos trinta anos, a evolução do setor aéreo brasileiro relacionou-se, intrinsecamente, com a conjuntura econômica ou com o nível de atividade econômica. O período de 1970 a 1980, marcado por avanços tecnológicos como a intensificação do uso de aeronaves mais modernas, em substituição às aeronaves propulsão convencional a jato, foi de constante crescimento com relação aos parâmetros pax-km total (regional + doméstico + internacional) e ton-km total (regional + doméstico + internacional). O Brasil vivia o período do “milagre econômico”⁸¹, caracterizado por grande crescimento econômico.

Entre 1980 e 1990, a conjuntura econômica, ao contrário da década anterior, foi marcada por uma política recessiva não só no Brasil como, também, no mundo. O setor aéreo, como um todo, sofreu recessão pelo aumento no preço dos combustíveis, insumo básico da aviação, e pelas taxas de inflação que corroeram os constantes reajustes tarifários.

O início da década de 1990 foi marcado por um período de instabilidade econômica e política no País. A partir de 1994, com a implementação de medidas governamentais focadas na estabilização econômica, houve notória recuperação e crescimento da economia brasileira. Agregado a essa positiva conjuntura econômica observou-se uma efetiva melhora no nível de renda e uma grande oferta de descontos nos preços dos bilhetes aéreos, fruto do aumento de competitividade gerada pelo início do processo de desregulamentação do setor aéreo no Brasil. Todo o contexto descrito propiciou a incorporação ao mercado de novos usuários que, até então, não utilizavam o transporte aéreo como meio de locomoção. E, devido ao aumento nas importações, o volume de cargas transportadas via aérea também sofreu grande expansão no período em questão (GEIPOT, 2000).

Corroborando para a expansão mais acentuada da demanda por aviação no Brasil, a partir da década de 1990, cabe ressaltar um importante fator estrutural pertinente ao contexto sócio-político-econômico internacional: o processo de globalização. De fato, é possível correlacionar a este processo vigente um maior estímulo ao crescimento do comércio internacional. Estabeleceu-se, neste contexto, um quadro favorável para uma expansão, em nível mundial, na demanda por aviação. A globalização - a despeito de muito

⁸¹ O período do “milagre econômico” refere-se, basicamente, aos anos de 1970 a 1980 quando o Brasil se encontrava em plena ditadura militar. Os governos dos generais Emilio Garrastazu Médici (1969-1974), Ernesto Geisel (1974-1979) e João Baptista Figueiredo (1979-1984) obtiveram considerável sucesso em termos de desenvolvimento econômico. Entretanto, o Brasil logo no início dos anos oitenta começava a sentir os impactos negativos dos vultosos empréstimos internacionais que alicerçaram e impulsionaram o “milagre econômico” (ASSIS, 2000).

provavelmente ter aumentado a discrepância social e econômica entre países ricos e os em desenvolvimento –, alicerçada no aumento do consumo de bens materiais (dentre outros aspectos), sem dúvida, impulsiona o comércio internacional de bens industriais (de base tecnológica, em especial). E, para o transporte, em grandes distâncias, de produtos de alto valor agregado, o modal aéreo é de fato, o mais indicado.

A tabela, a seguir, apresenta o relacionamento entre atividade econômica (através da taxa de crescimento do Produto Interno Bruto – PIB) e evolução de parâmetros característicos da demanda por aviação no Brasil. Observa-se que, a partir dos anos oitenta, o crescimento do setor aéreo tem sido superior ao registrado para o PIB. Mas, de uma forma geral, conforme atesta estudo do DAC realizado, em 1998, ao se analisar a evolução e o desempenho do transporte aéreo doméstico no Brasil nas últimas três décadas do século XX, pode-se constatar uma grande correlação com os ciclos da economia brasileira, demonstrando o alto grau de dependência entre o segmento da indústria de transporte aéreo e o desempenho da economia (medido pelo comportamento do PIB, indiscutivelmente um forte indutor da evolução da demanda por transporte aéreo) (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998).

Tabela 4.2: Taxas de crescimento (% ao ano) do PIB e dos parâmetros pax-km e ton-km transportados, 1972-2001

PERÍODO	PIB	PAX-KM TRANSPORTADOS	TON-KM TRANSPORTADAS
1972 – 1981	8,7	6,9%	6,3%
1982 – 1991	1,6	4,7%	5,1%
1992 – 2001*	3,8	6,0%	5,8%

Fonte: Elaboração própria a partir de FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998.

* Nota: os valores para PIB, pax-km e ton-km transportados referentes ao período 1992-2001 correspondem a previsões do DAC (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998).

4.5.1 – Descrição do contexto associado às projeções

Na elaboração das 3 diferentes projeções elaboradas para a evolução da demanda por aviação no Brasil optou-se por uma abrangência temporal de 21 anos, ou seja, de 2002 a 2023. Estima-se ser este um período adequado, no caso do Brasil, para sinalizar a respeito da importância da aplicação de planejamentos estratégicos (sob as óticas energética e ambiental) adequados ao transporte aéreo brasileiro. Uma projeção até 2050, por exemplo,

tende a diminuir notadamente a acérea de dados⁸². Além disso, o Estudo “Demanda Detalhada” do DAC/IAC, atualmente em elaboração, contempla o período 2002-2023 e será incorporado ao presente trabalho (item 4.6).

Cabe ressaltar que todas as premissas para o crescimento do PIB brasileiro empregadas na elaboração das três projeções propostas (Referencial, Baixo e Alto) refletem expectativas próprias e baseadas em projeções elaboradas pelo IPEA (1997), BNDES (1997) e PETROBRAS (2002) para a evolução da atividade econômica brasileira.

Projeção Referencial/Aviação

Trata-se de uma projeção onde a premissa básica é a manutenção das tendências atuais do setor de transportes aéreos no Brasil, ou seja, a falta de estímulos por políticas públicas. A tendência é de que a iniciativa privada passe, cada vez mais, a executar planos de grande porte para o desenvolvimento do setor aéreo.

A desregulamentação do setor aéreo, muito provavelmente, induzirá a uma redução no preço das passagens aéreas e uma maior diversidade de ofertas das rotas aéreas. Além disso, há uma tendência de crescimento do turismo aéreo a lazer e aquele relacionado à visita de amigos e parentes, estimulando ainda mais a procura pelo transporte aéreo de passageiros.⁸³

⁸² Para avaliar a evolução da demanda por aviação no Brasil, poder-se ia ter optado por projeções de curto prazo (cinco ou dez anos), tais como determinadas projeções do DAC (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al. 1998). Entretanto, objetivou-se correlacionar projeções para a evolução da demanda por aviação com projeções relacionadas a emissões aeronáuticas de CO₂. E, de acordo com o IPCC (1999), projeções de curto prazo não são adequadas ao estudo do comportamento futuro das emissões de CO₂ devido às aeronaves. Afinal, o projeto (design), construção, teste e entrada em operação de uma nova aeronave (que irá responder por um novo padrão de emissões de poluentes) consomem, no mínimo, de 15 a 20 anos (IPCC, 1999; EMBRAER, 2003c).

⁸³ Cabe denotar que, sem dúvida, o crescimento do turismo aéreo já é forte indutor da demanda por aviação no Brasil. Afinal, atualmente, cerca de 90% das passagens aéreas vendidas no Brasil (viagens domésticas e internacionais) são comercializadas por agentes de viagem filiados a ABAV (Associação Brasileira de Agências de Viagens). Com se observa, há no país uma dependência inequívoca entre empresas aéreas e agências de viagens.

Com relação ao transporte de cargas, estima-se que haverá um crescimento superior ao do transporte de passageiros, a partir de duas hipóteses: o governo tende a incentivar, através de instrumentos econômicos, o setor industrial brasileiro no sentido de diversificar as importações e exportações brasileiras, equilibrando assim, a balança comercial. Portanto, a influência do setor público induziria a uma acentuada expansão no volume de cargas transportadas pelo modal aéreo. Influência positiva semelhante não seria observada para o caso do transporte aéreo de passageiros. Além disso, as empresas aéreas passariam a adquirir mais aeronaves de carga do que de passageiro com o intuito de amealharem maiores fatias de mercado do, supostamente mais lucrativo (premissa para os períodos de 2002 a 2011 e de 2012 a 2023), transporte aéreo de cargas.

Estudo conduzido pelo DAC aponta ser de 1,6 a elasticidade do setor aéreo frente ao PIB (DAC, 1998). Tal relação foi detectada na década de 1990 (3,8% para o crescimento do PIB contra 6% para o crescimento da atividade aérea) (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998). Analisando-se dados históricos para a evolução do setor aéreo e do PIB ao longo da década de 1990, este Trabalho constatou o mesmo valor de 1,6 apontado pelo estudo do DAC. Sugere-se que irá ocorrer a mesma interdependência para as próximas duas décadas no caso do transporte aéreo de passageiros. Para o transporte de cargas, devido à adoção da hipótese de um crescimento superior ao do transporte de passageiros, será adotado como premissa que a elasticidade do setor aéreo frente ao PIB irá atingir o valor de 1,8 para o período sob exercício de projeção, ou seja, de 2002 a 2023.

Para a Projeção Referencial, estima-se, com base em cenarização referencial elaborada pela Petrobras para a evolução da economia nacional (PETROBRAS, 2001a) que durante o período de 2002 a 2011, o Governo brasileiro dará ênfase à estabilidade econômica, buscando reduzir a vulnerabilidade externa. Ainda com base na referida cenarização da Petrobras, haverá uma maior pressão sobre o déficit público atenuada pela redução da taxa de juros. Nesse contexto, este trabalho adotará como premissa para a Projeção Referencial que haverá um crescimento econômico da ordem de 4,2% (ao ano) para o PIB brasileiro no período de 2002 a 2011, ou seja, 0,4 ponto percentual a mais do que o registrado para a década anterior.

Para o período de 2012 a 2023, estima-se que haverá crescimento econômico superior ao do período anterior (2002 a 2011). Para tal, considera-se a hipótese de que grande estabilidade econômica será alcançada gerando pujante crescimento industrial. Assim, esse trabalho adotará como premissa de Projeção Referencial que haverá um crescimento econômico da ordem de 5% ao ano no PIB brasileiro para o período de 2012 a 2023.

Considerando as elasticidades de 1,6 e 1,8 do setor aéreo de passageiros e de cargas, respectivamente, frente ao PIB brasileiro para o período de 2002 a 2023 e as premissas adotadas de crescimento do PIB para os períodos de 2002 a 2011 e de 2012 a 2023 estima-se que o crescimento (% ao ano) dos parâmetros pax-km⁸⁴ e ton-km⁴⁹, será da ordem de 6,7% e de 7,6%, respectivamente, para o período de 2002 a 2011. Para o período de 2012 a 2023, utilizando-se as mesmas elasticidades de 1,6 (setor de passageiros frente ao PIB) e 1,8 (setor de cargas frente ao PIB), estima-se que tais valores sejam da ordem de 8% e 9%, respectivamente.

Projeção Baixa/Aviação

Com base nas premissas e hipótese adotadas na construção pela Petrobras⁸⁵ de cenário pessimista para a evolução futura da economia brasileira (PETROBRAS, 2001a), estima-se, nesta Projeção Baixa / Aviação, que o período de 2002 a 2011 seja marcado por instabilidade política e crise econômica. Assim, algumas hipóteses para o período em questão seriam (PETROBRAS, 2001a): medidas políticas sem consistência econômica, desvalorização cambial, retorno da inflação, elevação das taxas de juros, perda de competitividade dos produtos brasileiros e fuga de capitais. Sob esse contexto, adota-se como premissa fundamental que o crescimento do PIB brasileiro no período de 2002 a 2011 será da ordem de 1,5% ao ano, caracterizando assim, notória retração no nível de atividade econômica em relação à década anterior (ver dados da Tabela 4.2).

⁸⁴ Os valores dos parâmetros pax-km e ton-km referem-se a soma de todos os setores da aviação comercial brasileira, ou seja, segmento regional, doméstico nacional e internacional.

⁸⁵ Que, de fato, em sua Revisão do Plano Estratégico Empresarial 2001-2010, realizou detalhado diagnóstico da situação, através do levantamento de diversos fatores sociais, políticos, econômicos e tecnológicos que possam (ou não) vir a influenciar a sociedade, o Governo, as empresas e a economia brasileira.

Para o período de 2012 a 2023 sugere-se abrandamento da crise econômica e da instabilidade política e social. Assim, adota-se como premissa de crescimento do PIB brasileiro, o valor de 2% ao ano para o período em questão.

Semelhantes hipóteses e premissas com relação à interdependência na elasticidade do setor aéreo frente ao PIB brasileiro empregadas na elaboração da Projeção Referencial são também adotadas para a Projeção Baixa.

Entretanto, para a Projeção Baixa, estima-se que o setor aéreo mundial, no período de 2002 a 2011, não consiga se recuperar plenamente do impacto negativo causado pelos atentados terroristas ocorridos em 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos. Estima-se também que, no caso brasileiro, o turismo aéreo nacional (em todos os segmentos possíveis), prejudicado pela própria crise econômica instalada, não consiga alavancar o setor de transporte aéreo de passageiros.

Nesse contexto, baseando-se no entendimento de que a Projeção Baixa deva encerrar elasticidades (do setor aéreo de cargas ou de passageiros frente ao PIB brasileiro) mais conservativas do que a Projeção Referencial, optou-se neste trabalho pela fixação arbitrária dos valores de 1,4 e de 1,6 para as elasticidades do transporte aéreo de passageiros e de cargas, respectivamente, frente ao PIB brasileiro no período de 2002 a 2011. A diferença numérica em relação aos valores das elasticidades (1,4 frente a 1,6) encerra a hipótese de que o setor de transporte aéreo de cargas, assim como na Projeção Referencial, continue sendo mais lucrativo crescendo em patamares superiores em comparação ao transporte de passageiros.

Ainda com base na Revisão do Plano Estratégico da Petrobras 2001-2010 (PETROBRAS, 2001a) (hipótese pessimista para a evolução da economia brasileira), adotar-se-á a hipótese de que o setor aéreo brasileiro, entre 2012 e 2023, terá, definitivamente, saído do quadro recessivo experimentado na década anterior. O abrandamento na crise econômica geraria, portanto, uma melhora no nível de renda e, com isto, o setor aéreo brasileiro, tanto de passageiros como de cargas, experimentaria crescentes níveis evolutivos. Nesse contexto, arbitrariamente, adotar-se-á a premissa de que a elasticidade do transporte aéreo de passageiros frente ao PIB será de 1,6. E, considerando que o transporte de carga continuará crescendo em taxas superiores às registradas para o

transporte de passageiro, adota-se como sendo de 1,8 a elasticidade do transporte aéreo de cargas frente ao PIB brasileiro no período de 2012 a 2023.

As premissas e hipóteses adotadas para a Projeção Baixa/Aviação conduzem aos seguintes percentuais de crescimento ao ano para os parâmetros pax-km e ton-km transportados:

- Período de 2002 a 2011 → o parâmetro pax-km crescerá cerca de 2,1% ao ano e o crescimento do parâmetro ton-km será da ordem de 2,4% ao ano;
- Período de 2012 a 2023 → o parâmetro pax-km registrará crescimento da ordem de 3,2% ao ano e o parâmetro ton-km se expandirá sob taxas da ordem de 3,6% ao ano.

Projeção Alta/Aviação

Com base nas hipóteses inclusas no cenário pessimista para a evolução da economia brasileira pertinentes a Revisão do Plano Estratégico da Petrobras 2001-2010 (PETROBRAS, 2001a), adotar-se-á para a Projeção Alta/Aviação a premissa de vigoroso crescimento econômico, durante o período de 2002 a 2011. Nesta projeção, os alicerces para o crescimento da economia nacional serão, em tese, os seguintes (PETROBRAS, 2001a): marcante reestruturação do parque industrial brasileiro (automação, mudanças organizacionais, etc.), com ganhos de produtividade; o governo enfatizará ao máximo uma melhor qualidade do gasto público para enfrentar as questões sociais; haverá uma menor vulnerabilidade da economia brasileira frente à economia mundial; e, o desemprego alcançará índice tipicamente baixo a ponto de não induzir a qualquer tipo ou nível de desestruturação da malha social. Sugere-se que a estabilidade econômica estará solidificada e funcionará como a principal força-motriz para o desenvolvimento econômico.

Estima-se que, para o período de 2012 a 2023, os alicerces político-econômicos do período anterior serão mantidos e as condições políticas e sociais serão ainda mais favoráveis induzindo a uma expansão na atividade econômica superior à registrada para a década anterior.

Sob o contexto descrito, este trabalho adotará como premissa que o crescimento do PIB brasileiro será da ordem de 5,8% para o período de 2002 a 2011 e de cerca de 6,6% para o período de 2012 a 2023.

O transporte aéreo, devido à conjuntura econômica favorável, também se caracterizará por um desenvolvimento considerável tanto em relação ao transporte de cargas, como de passageiros no período de 2002 a 2023. Especialmente a partir de 2011, pela adoção da hipótese de a população encontrar-se com bom nível de renda, estima-se que será possível, em larga escala, o atendimento à histórica demanda reprimida por aviação no Brasil. Assim, estima-se que haverá uma explosão na demanda por serviços aéreos no Brasil a partir do início da segunda década do século XXI. Projeções do IPCC relativas a evolução do transporte aéreo em países em desenvolvimento, apontam nesse mesmo sentido (IPCC, 1999).

Baseando-se no entendimento de que a Projeção Alta deva encerrar elasticidades (do setor aéreo de cargas ou de passageiros frente ao PIB brasileiro) mais elevadas do que as relativas a Projeção Referencial, adotar-se-á como premissa neste trabalho que a elasticidade do setor aéreo, como um todo (tanto o setor de cargas como o de passageiros crescerão em níveis semelhantes), frente ao PIB brasileiro será de 1,8 para o período de 2002 a 2011 e de 2,0 para o período de 2012 a 2023.

Utilizando-se as premissas e hipóteses pertinentes Projeção Alta, encontra-se o valor de 10,4% como a taxa de crescimento ao ano para os parâmetros pax-km e ton-km, no período de 2002 a 2011. Para o período de 2012 a 2023 observa-se que a taxa de crescimento ao ano dos parâmetros pax-km e ton-km será da ordem de 13,2%.

A tabela, a seguir, explicita as premissas adotadas na elaboração das Projeções Referencial/Aviação, Baixa/Aviação e Alta/Aviação, relativos à evolução da demanda por transporte aéreo no Brasil.

Tabela 4.3: Premissas adotadas para a elaboração das Projeções Referencial, Baixa e Alta – evolução da demanda por transporte aéreo no Brasil – período: 2002 a 2023

		PROJEÇÃO REFERENCIAL	PROJEÇÃO BAIXA	PROJEÇÃO ALTA
2002 a 2011	Taxa de Crescimento do PIB (% ao ano)	4,2	1,5	5,8
	Taxa de Crescimento do Parâmetro Pax-Km (% ao ano)	6,7 (1,6)	2,1 (1,4)	10,4 (1,8)
	Taxa de Crescimento do Parâmetro Ton-Km (% ao ano)	8 (1,9)	2,4 (1,6)	10,4 (1,8)
2012 a 2023	Taxa de Crescimento do PIB (% ao ano)	5	2	6,6
	Taxa de Crescimento do Parâmetro Pax-Km (% ao ano)	7,6 (1,5)	3,2 (1,6)	13,2 (2,0)
	Taxa de Crescimento do Parâmetro Ton-Km (% ao ano)	9 (1,8)	3,6 (1,8)	13,2 (2,0)

Nota: entre parênteses encontram-se as respectivas elasticidades adotadas para o setor aéreo de passageiros ou de cargas frente ao PIB brasileiro.

4.5.2 – Resultados das projeções

Os resultados das projeções para a evolução da demanda por aviação no Brasil são apresentados por tipo de parâmetro avaliado (pax-km e ton-km) e por cenário. As duas próximas figuras apresentam as projeções elaboradas.

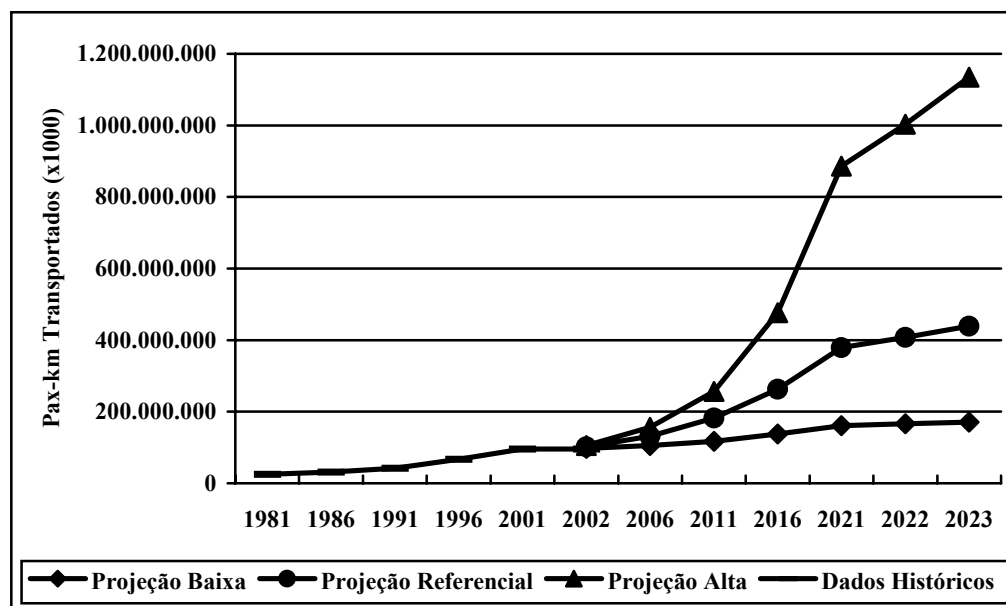


Figura 4.6: Evolução do parâmetro pax-km transportados / tráfego aéreo total (x 10³): Projeções (2002-2023): Baixa /Aviação, Referencial /Aviação e Alta / Aviação

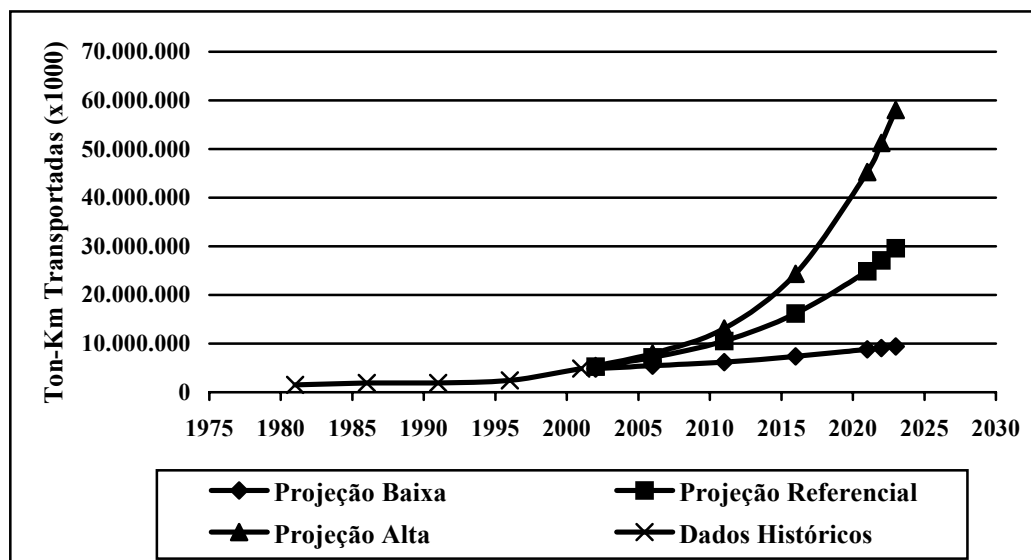


Figura 4.7: Evolução do parâmetro ton-km transportadas/tráfego aéreo total (x 10³): Projeções (2002-2023): Baixa/Aviação, Referencial/Aviação e Alta/Aviação

4.6 – Estudo de Demanda Detalhada do Departamento e do Instituto de Aviação Civil

Conforme mencionado anteriormente, no item 4.2.1, o DAC e o IAC são os órgãos que realizam, regularmente, um estudo voltado para a compreensão do comportamento futuro da demanda por aviação no Brasil. O último estudo elaborado pelo DAC/IAC nesse sentido foi o “Demanda Global do Transporte Aéreo”, publicado em 1998 (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998). Tal estudo previu o comportamento futuro da demanda por transporte aéreo no país, para um período de 10 anos, ou seja, de 1997 a 2007. Alguns dos diversos parâmetros analisados foram, o total de passageiros-quilômetros transportados, o total de ton-km transportadas, o total de passageiros transportados e o total de toneladas transportadas. Um dos principais alicerces empregados na construção das previsões do estudo de 1998 do DAC/IAC foi o forte vínculo entre o nível da atividade econômica no país (mensurado pelo comportamento previsto do PIB) e o crescimento do setor aéreo nacional.

Passados cerca de 5 anos da publicação da Demanda Global DAC/IAC, mostrou-se necessária⁸⁶ a realização de um novo estudo voltado a previsão do comportamento futuro da demanda por aviação no Brasil. O DAC/IAC, como órgão mais competente para a tarefa em questão, está conduzindo a realização deste novo estudo e os resultados consolidados só devem ser publicados em junho de 2004. Alguns relevantes resultados deste estudo, no entanto, foram gentilmente cedidos pela equipe do DAC/IAC. Tais resultados referem-se, basicamente, ao número de passageiros e cargas (em toneladas) a serem transportados até o ano de 2023 e são apresentados, a seguir (Figuras 4.8 e 4.9).

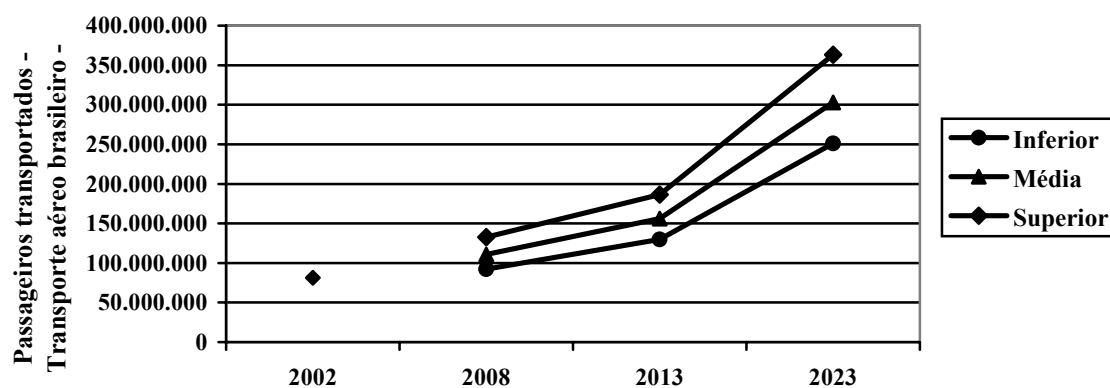


Figura 4.8: Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de passageiros transportados via aérea no Brasil, 2002 – 2023

Fonte: IAC, 2003a.

⁸⁶ A motivação para a realização de um novo estudo originou-se de uma natural necessidade por atualização (e maior acurácia) e, de certa forma, motivada pelo entendimento atual de que o vínculo entre atividade econômica e demanda por aviação não mais poderia ser a base para a realização de previsões sobre a evolução da demanda por transporte aéreo no Brasil (BRAGA, 2003).

Uma outra importante característica do novo estudo do DAC/IAC sobre demanda por aviação no Brasil é o fato de o mesmo considerar dados pormenorizados a respeito dos 150 principais aeroportos do país. De acordo com BRAGA (2003), a movimentação aeroportuária (medida em relação aos parâmetros passageiros e cargas transportados) referente aos 150 principais aeroportos brasileiros, corresponde a cerca de 95% da movimentação aeroportuária total no Brasil.

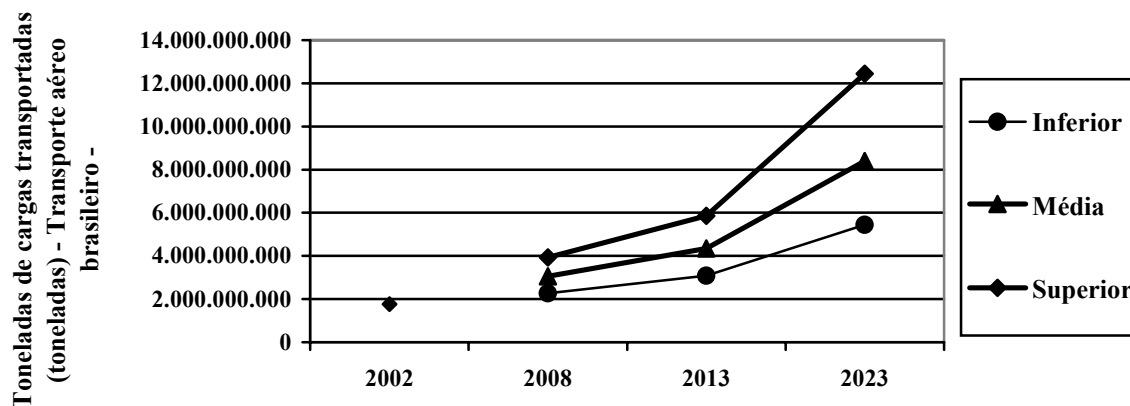


Figura 4.9: Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número total de cargas (em toneladas) transportadas via aérea no Brasil, 2002 – 2023

Fonte: IAC, 2003a.

As duas figuras anteriores apresentam os resultados já “consolidados” da Demanda Detalhada do DAC/IAC. Assim, já há uma previsão “oficial”⁸⁷ de comportamento futuro para os parâmetros passageiros (pax) e toneladas (ton) transportados no Brasil. Entretanto, para o comportamento futuro dos parâmetros pax-km e ton-km, ainda não há esta previsão “oficial”⁸⁸.

Nesse contexto e visando análise comparativa entre as projeções do DAC/IAC e as projeções elaboradas ao longo do desenvolvimento desta tese, utilizar-se-á a seguinte estimativa (BRAGA, 2003): a etapa-média das viagens aéreas realizadas no Brasil equivale a cerca de 1.000 km. Assim, de posse de tal estimativa e dos dados referentes ao número de passageiros (Figura 4.8) e cargas transportadas no país (Figura 4.9), até 2023, construiu-se uma prévia para a projeção do DAC/IAC para a evolução de tais parâmetros até o referido ano (Figuras 4.10 e 4.11, apresentadas a seguir).

⁸⁷ “Oficial” na medida em que o DAC é de fato o órgão governamental que coordena toda a atividade de transporte aéreo no país.

⁸⁸ A previsão do comportamento futuro dos parâmetros pax-km e ton-km configura-se numa das atuais etapas do desenvolvimento da Demanda Detalhada do DAC/IAC (BRAGA, 2003).

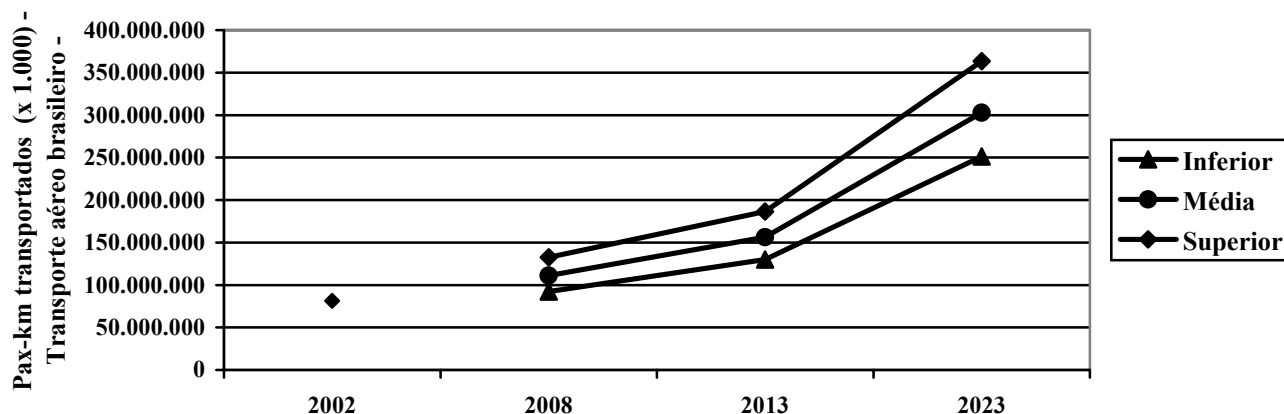


Figura 4.10: Prévía para a Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de pax-km, transporte aéreo brasileiro, 2002 – 2023

Fonte: Elaboração própria com base em IAC, 2003a.

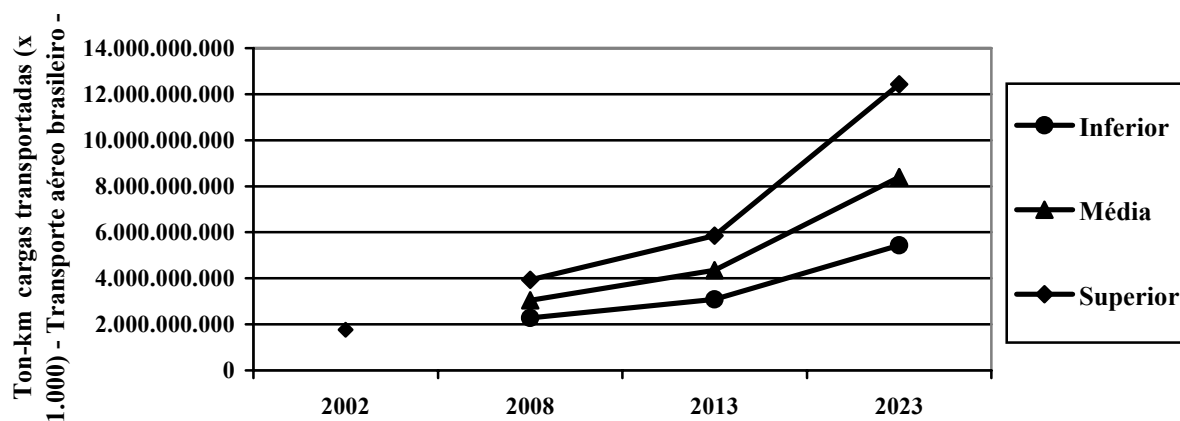


Figura 4.11: Prévía para a Demanda Detalhada DAC/IAC – Previsão para a evolução do número de ton-km, transporte aéreo brasileiro, 2002 – 2023

Fonte: IAC, 2003a.

Considerações finais sobre o Capítulo IV

O exercício de elaborar projeções sobre demanda por aviação no Brasil é útil na medida em que sinaliza a respeito de uma possível intensificação (antropogênica) do Efeito Estufa ou de uma eventual maior pressão sócio-econômico-energética gerada pelo desenvolvimento deste setor da economia nacional. Nesse contexto, a despeito de já haver resultados de elevada acurácia relativos ao Estudo Demanda Detalhada do DAC/IAC (IAC,

2003a), julgou-se pertinente a construção das projeções Baixa, Referencial e Alta para avaliação do comportamento futuro da demanda por transporte aéreo no país⁸⁹.

De acordo com as projeções elaboradas neste estudo, o setor de transporte aéreo de passageiros no Brasil, medido através do parâmetro pax-km (Figura 4.8), crescerá cerca de 11 vezes a partir do ano de 2002 e até o ano de 2023 para a Projeção Alta. Para a Projeção Referencial, o crescimento sugerido, para o mesmo período, será da ordem de 4,9 vezes e para a Projeção Baixa, da ordem de 2,2 vezes. No caso do parâmetro ton-km (Figura 4.9), as projeções Alta, Referencial e Baixa encerram crescimentos ainda superiores (quando comparados aos relativos ao parâmetro pax-km e para o mesmo período, ou seja, de 2002 a 2023): 4,5 vezes para a Projeção Baixa; 14,2 vezes para a Projeção Referencial; e 25,5 para a Projeção Alta.

Incorporando a hipótese de que a etapa-média dos vôos no Brasil equivale a cerca de 1.000 Km ao Estudo Demanda Detalhada do DAC/IAC (IAC, 2003a), observa-se que o parâmetro pax-km (Figura 4.10) crescerá cerca de 4,6 vezes, quando se compara os anos de 2002 e 2023 e no caso da Projeção Superior. Já no caso das projeções Média e Inferior, para o mesmo gradiente temporal, tal parâmetro crescerá cerca de 3,7 e 3 vezes, respectivamente. Tratando-se do parâmetro ton-km, os dados da Figura 4.11 apontam crescimentos ainda superiores (tal qual as projeções Alta, Referencial e Baixa, desenvolvidas nesta tese): de 2002 a 2023, tal parâmetro crescerá 7,0 vezes no caso da Projeção Superior, 4,5 vezes no caso da Projeção Média, e 3,2 vezes no caso da Projeção Inferior.

A tabela, a seguir, compara as projeções Alta, Referencial e Baixa e as projeções Superior, Média e Baixa, em relação ao crescimento percentual acumulado dos parâmetros pax-ton e ton-km.

⁸⁹ Mesmo considerando (a admitida) trivialidade do modelo adotada para a elaboração das referidas projeções, frente ao Estudo Demanda Detalhada do DAC/IAC.

Tabela 4.4: Projeções Alta, Referencial e Baixa versus projeções Superior, Média e Baixa

Projeções ⇒	Alta	Superior (DAC/IAC)	Referencial	Média (DAC/IAC)	Baixa	Inferior (DAC/IAC)
Crescimento percentual acumulado pax-km, 2002 a 2023	1.100%	460%	490%	370%	220%	300%
Crescimento percentual acumulado ton-km, 2002 a 2023	2.550%	700%	1.420%	450%	450%	320%

Analisando os dados da tabela anterior, observa-se que, de uma forma geral, as projeções Alta, Referencial e Baixa estão superestimadas em relação às projeções Superior, Média e Inferior. Nota-se, também, que tal observação é ainda mais pertinente quando se analisa o caso do parâmetro ton-km. Nota, também, que a Projeção Baixa é a que mais se aproxima de uma projeção oficial”, ou seja, elaborada pelo DAC/IAC. De fato, as projeções Baixa e Inferior encerram crescimentos acumulados semelhantes (ou próximos) para os parâmetros pax-km e ton-km, entre 2002 e 2023.

Tanto as projeções Alta, Referencial e Baixa quanto as projeções Superior, Média e Inferior indicam, claramente, que o setor de transporte aéreo no Brasil encontrar-se-á em expansão durante as duas próximas décadas. Na confirmação destas projeções (em especial, as projeções Alta, Superior, Referencial e Média) uma maior pressão ao meio ambiente atmosférico devido à atividade aérea no país, torna-se evidente. Nesse contexto, surge a seguinte questão: estariam os agentes atuantes no transporte aéreo brasileiro (empresas aéreas, Governo, indústrias aeronáuticas, etc.) suficientemente preparados para planejar e colocar em prática a contenção desta “maior pressão”? (ou devidamente conscientizados a respeito da importância desta atitude estratégica?). A julgar pela ausência na Comunicação Nacional⁹⁰ das emissões de CO₂ devido ao setor aéreo brasileiro, a resposta a esta pergunta seria uma óbvia negativa.

⁹⁰ De acordo com a Convenção do Clima, os países (tanto os do Anexo I quanto os não integrantes a este grupo de países mais desenvolvidos) devem apresentar em uma Comunicação Nacional (idealmente um relatório de periodicidade anual) as emissões de CO₂ geradas pelos mais diversos setores econômicos.

Cabe ressaltar que o próprio IPCC projeta que, a partir de 2015, haverá grande impulso na demanda por aviação nos países em desenvolvimento. Assim, um acentuado nível de expansão para o transporte aéreo equivalente ao apresentado nas projeções Alta e Superior não seria totalmente improvável de vir a confirmar-se em realidade.

Portanto, sob o previsto contexto de forte expansão, torna-se oportuna, por parte dos diversos “atores” envolvidos direta ou indiretamente com a política de transporte aéreo no Brasil a elaboração de estratégias que visem empregar a mínima degradação ambiental possível à evolução do setor aéreo brasileiro. Nesse contexto, aspectos como a racionalização no uso dos recursos energéticos ou a mitigação de emissões de CO₂ devem ser cotejados na elaboração de tais estratégias. Antes disso, porém, torna-se fundamental compreender os aspectos associados ao consumo energético e às emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo brasileiro. Esse é o contexto que norteia o desenvolvimento do próximo capítulo deste trabalho.

CAPÍTULO V – CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO

5.1 – Panorama Mundial do Consumo Energético pela Aviação

Já se foi o tempo em que a decolagem de um quadrijato comercial, com seu ruído trovejante e esteiras de fumaça negra, era algo admirável e representava não só o progresso, mas a própria genialidade humana. Hoje, tal cena com certeza atrairia comentários muito menos elogiosos, versando sobre níveis de emissão de poluentes, zona de inadequação de ruído e outros parâmetros. De fato, a aviação comercial sofreu uma completa mudança em seus padrões e exigências nos últimos 20 anos e chega ao início de um novo milênio com desafios sequer imagináveis nos anos 60.

A resposta da indústria aeronáutica, com relação a reduzir o consumo de combustível por aeronave através de melhoramentos na eficiência do processo de vôo, tem sido razoavelmente rápida (MORTIMER, 1998). Tal eficiência foi muito aprimorada nas duas últimas décadas. Sob esse contexto, as aeronaves, passaram a operar sob condições de maior fator de carga possível (aumentou-se a relação passageiro/assento ou carga/espaço disponível na aeronave) e, passou-se a verificar, também, maiores autonomias de vôo, ou seja, as mesmas distâncias passaram a ser percorridas com menores consumos de querosene de aviação.

Na busca por melhoramentos na eficiência energética e tecnológica do processo de voar, a indústria aeronáutica mundial utilizou-se, basicamente, dos seguintes fatores (NASA, 1997): alterações na engenharia dos motores aeronáuticos no intuito de um máximo possível de aproveitamento do conteúdo energético do combustível e modificações no projeto (design) de aeronaves, objetivando reduzir o atrito da aeronave com o ar. Para tanto, a evolução da aerodinâmica e a crescente utilização de materiais mais leves⁹¹ (e de

⁹¹ Consideram-se materiais mais leves para a indústria aeronáutica aqueles que apresentam, em comparação aos aços e às ligas convencionais de alumínio (os materiais usualmente empregados na aviação), menores valores para densidade (g/cm³) sem perda de propriedades mecânicas (GODEFROID, 1993). Nesse sentido, materiais compostos como o grafite-epóxi e ligas nobres a base de Titânio, além de modernas ligas à base de alumínio e lítio, desenvolvidas pela indústria japonesa, têm encontrado crescente nicho de mercado (SÁ, 1989; GODEFROID, 1993).

semelhantes resistências mecânicas) pela indústria aeronáutica, mostraram-se fundamentais.

A figura apresentada, a seguir, ilustra a redução do consumo de combustível por modelo de aeronave, obtida com a evolução no processo de efficientização energética do setor aéreo.

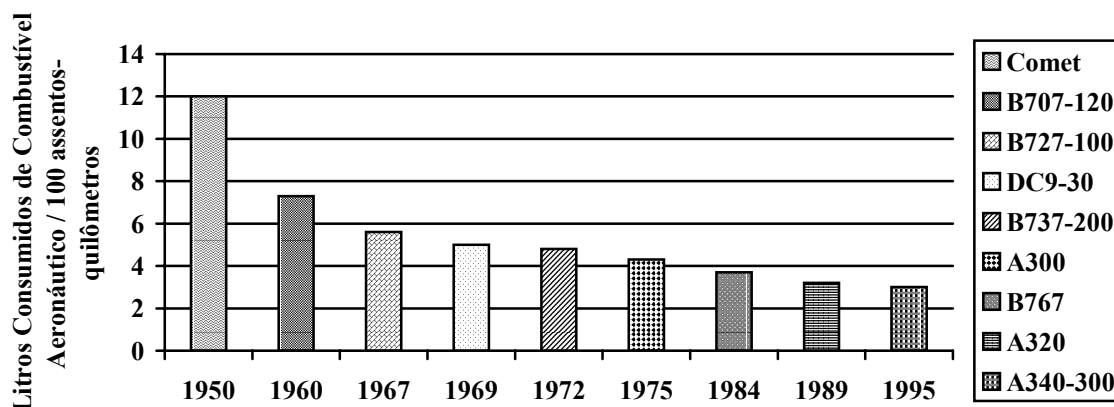


Figura 5.1: Evolução do consumo de combustível por modelos de aeronaves por 100 assentos-quilômetros ofertados

Fonte: MC DONNELL DOUGLAS, 2001.

Devido ao considerável sucesso obtido na efficientização energética das aeronaves seria possível de se prever uma redução acentuada no consumo mundial de combustível aeronáutico. Entretanto, devido à notável expansão da frota e do próprio tráfego aéreo, especialmente a partir do início da década de 1990, tem-se verificado que o consumo mundial de energia associado à aviação vem aumentando cada vez mais, conforme se observa pela figura apresentada, a seguir.

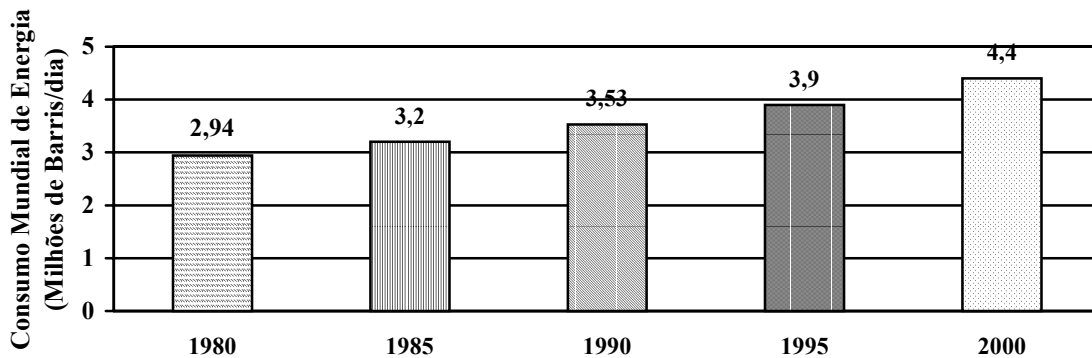


Figura 5.2: Evolução do consumo mundial de energia pelo modal aéreo (milhões de barris de combustíveis fósseis/dia), 1980-2000

Fonte: ARPEL, 2001.

Visando melhor contextualizar a questão energética associada ao transporte aéreo mundial, apresenta-se a figura, a seguir, onde se observa a distribuição percentual do consumo mundial de derivados de petróleo dentre os modais usuais de transporte à combustão (rodoviário, aeroviário, hidroviário e ferroviário não-elétrico). O percentual de 24,6% registrado para o ano de 2000 traduz a magnitude da aviação em termos de consumo energético. Trata-se de um percentual muito elevado em comparação relativa ao modal rodoviário, tendo em vista ser a frota de automóveis cerca de 8.000 vezes superior à de aeronaves (ANFAVEA, 2000).



Figura 5.3: Distribuição percentual do consumo mundial de derivados de petróleo por modais de transporte, 2000

Fonte: EIA, 2001.

Sem dúvida, o principal fator, no sentido de explicar o expressivo consumo de energia pelo setor aéreo em comparação relativa ou absoluta aos demais modais, é a questão da intensidade energética, que se refere à quantidade de energia requerida por carga (unidade usual: KJ/ton-km) ou passageiro transportados (unidade usual: KJ/passageiro-km). Pela tabela ilustrada, a seguir, observa-se claramente que o transporte aéreo é o modal mais energo-intensivo (consome mais energia por tonelada-km ou passageiro-km transportados) dentre todos os modais usuais baseados ou não na energia advinda do petróleo.

Tabela 5.1: Intensidades energéticas no transporte de passageiros e de cargas

MODO DE TRANSPORTE	INTENSIDADE ENERGÉTICA NO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS (KJ/PASSAGEIRO-KM)		INTENSIDADE ENERGÉTICA NO TRANSPORTE DE CARGAS (KJ/TONELADA-KM)	
	VALOR MÍNIMO REGISTRADO	VALOR MÁXIMO REGISTRADO	VALOR MÍNIMO REGISTRADO	VALOR MÁXIMO REGISTRADO
- Humano				
Bicicleta	60	140	---	---
Andar a pé	95	355	---	---
- Ferroviário	150	2.000	100	2.000
- Hidroviário	120	1.100	100	1.100
- Dutoviário	---	---	200	2000
- Rodoviário				
Ônibus	200	2.000	---	---
Moto	800	1.800	---	---
Automóvel	600	5.000	---	---
Caminhão				
Pequeno				8.000
Médio				6.000
Grande				2.000
- Aéreo	900	7.500	2.000	12.000

Fontes: RIBEIRO, COSTA, DAVID et al., 2000 e SCHÄFER e VICTOR, 1998.

A figura apresentada, a seguir, ressalta a importância do transporte aéreo, em termos de consumo de energia, em comparação à soma dos outros modais e a diversos setores (com desagregação para o setor industrial) da atividade econômica mundial cuja força-motriz sejam os derivados de petróleo.

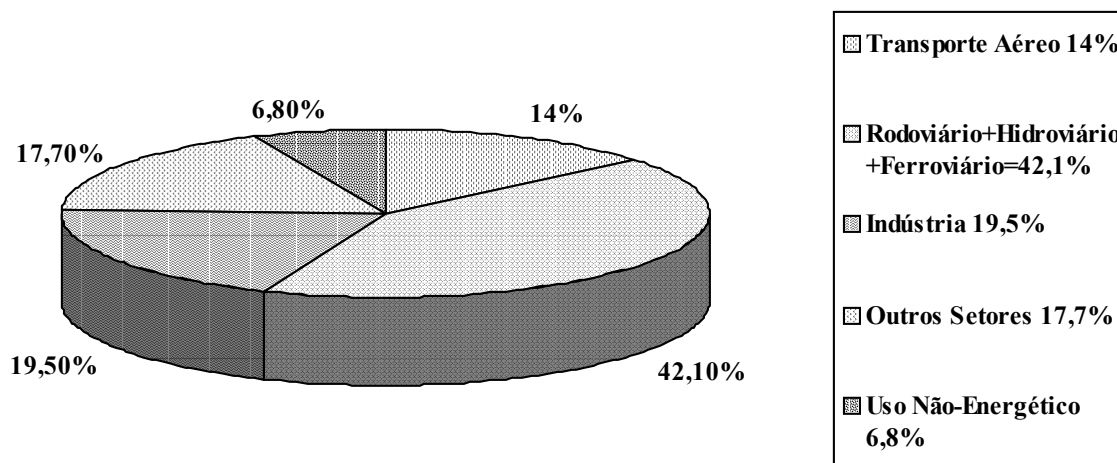


Figura 5.4: Distribuição percentual do consumo mundial de petróleo por setor, 2000

Fonte: Elaboração própria a partir de EIA, 2000 e EIA, 2001.

Notas: - Outros setores incluem serviços público e comercial, residencial, agricultura e não-especificado.

- Uso não-energético incluem asfaltos, ceras, etc.

Conforme se observa pelas duas figuras anteriores, o porte do setor aéreo mundial, em termos de consumo energético, é muito expressivo. Considerando ser o modal aéreo, caracteristicamente, de elevada intensidade energética e de estar em processo de considerável expansão na demanda desde meados dos anos 80 (DAVIS, 1999; IPCC, 1999), há uma nítida tendência de crescente pressão sobre o meio ambiente para as próximas décadas.

5.2 – O Mercado de QAV e de Gasolina de Aviação no Brasil

O querosene de aviação (QAV) é o principal insumo energético do setor de aviação. Responde por cerca de 95% do consumo mundial de energia por este setor da economia mundial, enquanto que, os outros 5% são supridos pela gasolina de aviação (IEA, 2003). O QAV é uma mistura de hidrocarbonetos refinados, derivados do petróleo e que tem função propulsora e lubrificante dos componentes com os quais entra em contato na turbina do avião.

No Brasil comercializa-se, anualmente, cerca de 4,6 milhões de m³ (2001) de querosene de aviação (PETROBRAS, 2002). O mercado brasileiro de QAV movimenta em torno de US\$ 1 bilhão e é caracterizado por uma complexa logística de produção e

distribuição. Diferentes meios de transporte são empregados na distribuição do QAV pelo Brasil tais como caminhões-tanque abastecedores e redes de dutos que abastecem os cerca de 2.000 aeródromos⁹² públicos e privados existentes no território nacional (PETROBRAS, 2002).

O mercado de QAV no Brasil é fortemente centrado na região Sudeste, onde os principais aeroportos brasileiros estão situados. Apesar da referida centralização, há considerável mercado para o QAV nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e um crescente mercado nas regiões Norte e Sul. Todas essas regiões do Brasil precisam ser atendidas e, as próprias dimensões continentais do País, tornam o atendimento a tais mercados uma tarefa extremamente complexa. Nesse sentido, ressalta-se a atuação da Petrobras na construção de dutos e de terminais marítimos e terrestres.

A distribuição geográfica percentual do mercado brasileiro de QAV é apresentada pela figura ilustrada, a seguir.

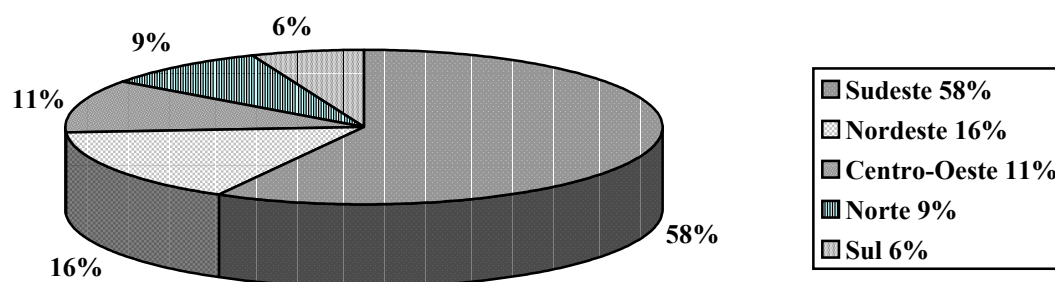


Figura 5.5: Distribuição do mercado brasileiro de QAV por regiões do Brasil, 2001 (mercado \approx 4,6 milhões de m³)

Fonte: PETROBRAS, 2002.

⁹² Aeródromo é qualquer área delimitada em terra, na água, ou flutuante (tal como os porta-aviões), destinada a pouso e decolagem de aeronaves. Já um aeroporto é um aeródromo que dispõe de instalações próprias para serviços de chegada, partida, carga e descarga e manutenção de aeronaves, assim como de atendimento, embarque e desembarque de passageiros. Assim, todo o aeroporto é um aeródromo, mas nem todo aeródromo é um aeroporto.

Aproximadamente 85% do QAV comercializado no Brasil é produzido por refinarias da Petrobras (REDUC, 2002). O volume restante é importado para o pleno atendimento da demanda nacional. O QAV importado, geralmente, é direcionado para a comercialização nas regiões Norte e Nordeste do País cujas infra-estruturas para distribuição da produção nacional são as mais precárias.

Das onze refinarias da Petrobras, sete produzem o QAV e suprem a maior parte (85%) da demanda brasileira pelo derivado. São elas: RLAM (Refinaria de Mataripe, localizada na Bahia), REDUC (Refinaria Duque de Caxias, localizada no Rio de Janeiro), REGAP (Refinaria Gabriel Passos, localizada em Minas Gerais), REVAP (Refinaria Henrique Lage, localizada em São Paulo), REPLAN (Refinaria do Planalto, localizada em São Paulo), REPAR (Refinaria Getúlio Vargas, localizada no Paraná) e REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini, localizada no Rio Grande do Sul). Destas, apenas REDUC, REGAP e REVAP produzem QAV através de metodologias não-convencionais, ou seja, utilizando técnicas mais modernas como o HDT⁹³. As demais refinarias empregam tecnologias convencionais tais como o Bender⁹⁴, o Merox⁹⁵ e a Regeneração Cáustica⁹⁶.

A tabela, a seguir, explicita a localização, a produção mensal e o tipo de processo de produção empregado nas sete refinarias da Petrobras que produzem o QAV.

Tabela 5.2: Refinarias da Petrobras produtoras de QAV – localização, produção mensal e processo de produção empregado, em 2000

REFINARIA	PRODUÇÃO ANUAL (Milhares de m ³)	PROCESSO DE PRODUÇÃO
RLAM	195	Tratamento de Regeneração Caustica
REDUC	832	HDT, Bender
REGAP	359	HDT
REVAP	1512	HDT
REPLAN	561	Tratamento de Regeneração Caustica
REPAR	165	Merox
REFAP	123	Bender

Fonte: ANP, 2001.

⁹³ HDT: processo caracterizado pela minimização da quantidade de enxofre do QAV, pelo emprego de hidrogênio líquido.

⁹⁴ Bender: processo baseado no emprego de leito fixo de sulfeto de chumbo, ar, enxofre e solução de soda cáustica.

⁹⁵ Merox: processo convencional. Destilação fracionada primária. Solução “Merox” de soda cáustica e converte enxofre mercaptídico em dissulfetos.

⁹⁶ Regeneração Cáustica: processo baseado no emprego de sulfeto de cálcio, CaSO₄.

Dos cerca de 4,6 milhões de m³ de QAV comercializados em 2001 no Brasil, cerca de 82% supriram o consumo nacional e 18% foram embarcados nos bunkers internacionais (ANP, 2002). Esse volume embarcado em bunkers é considerado, pelo Governo Federal, como exportação de energia. Assim, considera-se que o efetivo consumo de QAV no Brasil, em 2001, foi de cerca de 3,8 milhões de m³ (ANP, 2001). O percentual de 18% tem se mantido, praticamente, constante nos últimos 5 anos (PETROBRAS, 2002).

A figura apresentada, a seguir, ilustra a evolução recente – anos de 1999, 2000 e 2001 – do volume comercializado ao mês de QAV no Brasil. Observa-se discreta característica de sazonalidade do produto. Nota-se que os meses de janeiro e julho, caracteristicamente meses de férias profissionais ou escolares, tendem a apresentar maior comercialização do produto, possivelmente devido ao aumento nas viagens turísticas via aérea.

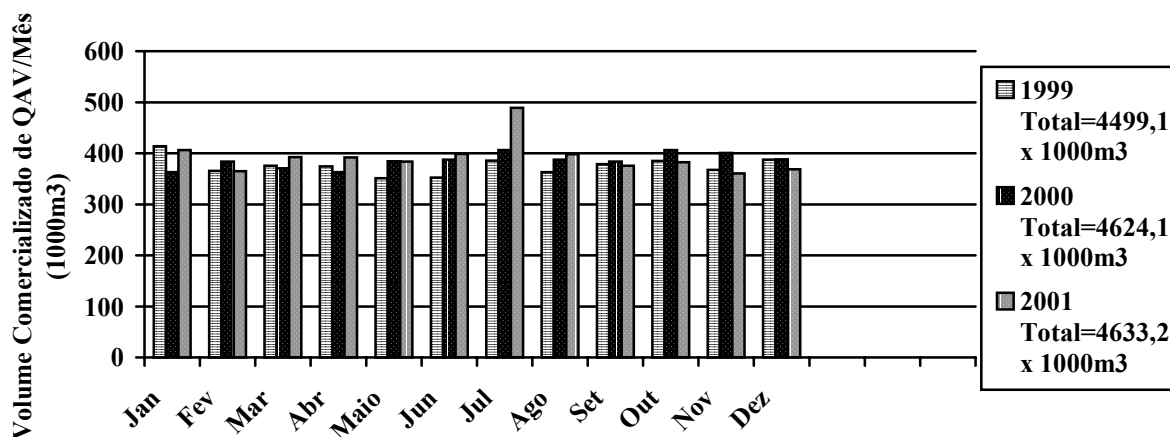


Figura 5.6: Evolução mensal do volume de QAV comercializado no Brasil: 1999, 2000 e 2001 (10³ m³)

Fonte: PETROBRAS, 2002.

Analisando a figura anterior, observa-se também que nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2001, comercializou-se menos QAV do que nos mesmos meses de 2000. Cerca de 2% a menos em setembro, 6% a menos em outubro, 10% a menos em novembro e 5% a menos em dezembro. Estima-se haver interdependência deste fato observado com os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001 ao *World Trade Center* e ao Pentágono.

A instantânea retração do mercado aéreo mundial, instaurada após os atentados, efetivamente, causou impactos negativos ao setor aéreo brasileiro. A partir de 11 de setembro, o transporte aéreo de passageiros no Brasil registrou declínio em termos de passageiros transportados (DAC, 2003). Tal declínio, de acordo com as companhias aéreas atuantes no País, foi provocado pela notória redução das viagens internacionais (DAC, 2003). Entretanto, dados da Petrobras para janeiro, fevereiro e março de 2002 referentes à comercialização de QAV indicam considerável reaquecimento do mercado desse derivado no Brasil (PETROBRAS, 2002). Pelo fato de os meses citados serem de “alta temporada”, era de se esperar uma maior movimentação aeroportuária (em relação aos meses de setembro, outubro e dezembro de 2001). Entretanto a comercialização de QAV nos 3 primeiros meses de 2002 foi ainda superior a registrada para os mesmo meses do ano anterior (2001) (PETROBRAS, 2002). Nesse contexto, estima-se que o setor turístico nacional (todos os segmentos) tenha auxiliado marcadamente a equilibrar os impactos negativos causados no segmento aéreo internacional e, conseqüentemente, no setor aéreo como um todo após os atentados terroristas de 11 de setembro de 2001.

A figura anterior denota também que o mercado de QAV, ano a ano, vem se expandindo. Mesmo com a ocorrência dos atentados terroristas e a conseqüente retração de mercado, o ano de 2001 registrou o maior volume comercializado de QAV em todos os tempos no Brasil. Estima-se que a tendência, sob o presente contexto de desregulamentação, seja de forte expansão desse segmento de mercado para as duas próximas décadas.

O mercado de gasolina de aviação, do porte de 74 mil m³, em 2001 (MME, 2002), é ainda mais restrito do que o de QAV. Apenas a BR Distribuidora (66,6% do mercado em 2000) e a Shell (37,4% do mercado em 2001) comercializam a gasolina de aviação no Brasil (ANP, 2002).

A evolução das vendas nacionais pelas distribuidoras, BR e Shell, é apresentada pela figura, a seguir.

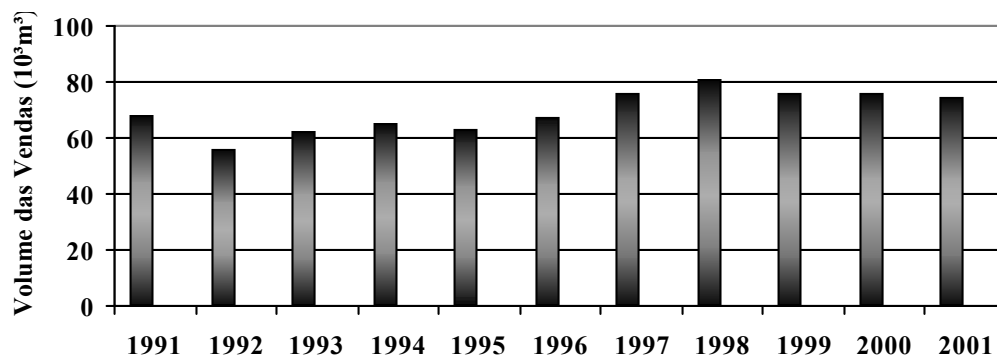


Figura 5.7: Vendas nacionais de gasolina de aviação pelas distribuidoras (10³m), 1991-2001

Fonte: MME, 2003.

A demanda nacional por gasolina de aviação, direcionada ao abastecimento de aeronaves equipadas com motores a pistão, utilizadas, fundamentalmente, na aviação geral e na aviação agrícola é plenamente atendida pela produção nacional. A refinaria RPBC (São Paulo), a única no Brasil a produzir o derivado, produziu 85 mil m³, em 2000 (ANP, 2001). Deste volume, cerca de 11,6%, ou 9 mil m³, não foram comercializados e sim direcionados ao consumo interno da Petrobras (alguns helicópteros e aeronaves da frota) (ANP, 2001).

5.2.1 – O programa de qualidade para QAV da Petrobras

As especificações para o QAV produzido pelas refinarias brasileiras são estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), desde dezembro de 1998. Para se adequar a tais especificações a Petrobras teve de desenvolver o Programa de Qualidade para o QAV. Afinal, os novos padrões estabelecidos pela ANP eram tão rígidos quanto os empregados nos países industrializados como os EUA, o Canadá, a Alemanha ou o Japão. O objetivo da ANP ao estabelecer padrões rígidos para o QAV é melhor situar o produto brasileiro em um mercado de características tipicamente globais, como é o caso da aviação.

O Programa, em vigência desde janeiro de 1999, foca a etapa de produção do QAV pelas refinarias através da entrada em operação de modernas tecnologias, como o HDT (tratamento de hidrossulfurização). A minimização da quantidade de enxofre no produto

final que sai da refinaria é um dos objetivos do programa e relaciona-se a padrões ambientais mais rígidos e a uma melhor performance do derivado. Entretanto, focar a qualidade da produção não é garantia de que o QAV que abastecerá os aviões em território nacional estará plenamente de acordo com as especificações da ANP e, conseqüentemente, com as especificações internacionais. Assim, o referido programa da Petrobras visa também as etapas de distribuição e de estocagem do produto nos aeroportos brasileiros.

Devido à própria complexidade da logística de distribuição do QAV em território nacional, são relativamente comuns contaminações do produto por metais (como o cobre, por exemplo), durante o transporte em dutos ou caminhões-tanque abastecedores. Esse tipo de contaminação, por metais, gera sérios problemas de estabilidade térmica ao QAV quando de sua utilização. Sob esse contexto, o Programa de Qualidade do QAV da Petrobras vem atuando com grande efetividade visando minimizar problemas de contaminação durante o transporte do derivado.

Cabe ressaltar que o principal problema tecnológico do QAV é a manutenção de sua estabilidade térmica afinal, as próprias condições operacionais de uma aeronave em vôo induzem a um amplo gradiente térmico (PETROBRAS, 2000). As grandes construtoras mundiais de motores aeronáuticos como a Pratt & Whitney, a General Electric e a Rolls Royce indicam que para manter o bom funcionamento dos motores, a temperatura do QAV não pode, sob hipótese alguma, ultrapassar o valor limite de 260°C (PETROBRAS, 2000). Ressalta-se, nesse contexto, que manutenção da estabilidade térmica do QAV é fundamental até mesmo para a segurança do transporte aéreo.

A Petrobras, através de seu supracitado programa de qualidade, vem atuando com rigor na manutenção da estabilidade térmica desse combustível. Nesse sentido ressalta-se a atuação da subsidiária da Petrobras, a Petrobras Aviação, encarregada da distribuição do QAV em território nacional e presente em 102 aeroportos brasileiros (os de maior afluxo de aeronaves e passageiros).

Problemas de contaminação microbiológica resultante de incorretas práticas de estocagem do QAV nos aeroportos também degradam a qualidade do derivado quando de seu emprego. Especificamente, a lubricidade do QAV é afetada por contaminação microbiológica (PINTO e SANTOS, 1999). Sob esse contexto, a Petrobras vêm aumentando o rigor nas fiscalizações das metodologias de acondicionamento do QAV nos

principais aeroportos brasileiros, especialmente os internacionais como o Galeão/Tom Jobim (Rio de Janeiro) e o de Guarulhos (São Paulo).

Basicamente, o Programa de Qualidade da Petrobras para o QAV baseia-se em dois tópicos: assegurar a qualidade do produto (do refino ao abastecimento das aeronaves) e ampla aplicação de mecanismos de avaliação da qualidade do QAV ao longo de sua cadeia de produção, distribuição e estocagem. Esses mecanismos de avaliação fundamentam-se em: monitoração da qualidade, auditorias técnicas, programas interlaboratoriais (auxílio de centros de pesquisas locados em universidades, por exemplo) e programas de visitas às companhias de aviação.

A qualidade e adequação ao uso do QAV, são asseguradas através da realização das seguintes etapas: controle de lubricidade; controle sobre a presença de metais (Cu, Fe, Zn, Pb e Na) e de partículas contaminantes; e análise para garantir a estabilidade térmica do QAV. Paralelamente, a qualidade do produto é garantida por vistorias nas instalações dos sistemas de filtração das refinarias e dos tanques de armazenagem⁹⁷.

O CENPES – Centro de Pesquisas da Petrobras – é o principal “braço” da empresa envolvido com o desenvolvimento e aplicação do mencionado programa de qualidade da Petrobras. Cabe ressaltar que a internacionalmente reconhecida excelência desse Centro de Pesquisas brasileiro vem garantindo o sucesso do programa. A melhoria na qualidade do QAV vem sendo constatada através de respostas à Petrobras de melhor performance, ambiental e energética do produto pelas principais companhias aéreas que operam no Brasil, como a United Airlines, a American Airlines, a VARIG S.A. e a VASP S.A.(Petrobras, 2001). As conseqüências indiretas do Programa são: a redução do custo de manuseio e limpeza dos tanques de armazenagem das refinarias e dos aeroportos e a redução do custo de manutenção das aeronaves (PETROBRAS, 2001).

Como exemplo de sucesso no desenvolvimento do Programa de Qualidade para o QAV da Petrobras, apresenta-se a Tabela 5.3 que resume dados dos parâmetros “depósito no tanque de armazenagem” e “queda de pressão no filtro” utilizados comumente para avaliação da estabilidade térmica do QAV. Observa-se que todos os valores da referida tabela atendem plenamente às rígidas especificações da ANP.

⁹⁷ Com relação aos tanques de armazenagem, a Petrobras analisa o estado de conservação da pintura interna desses tanques em refinarias e aeroportos brasileiros.

Tabela 5.3: Parâmetros de avaliação da estabilidade térmica do QAV empregado no Brasil

ESTABILIDADE TÉRMICA DO QAV *			
AEROPORTO	DEPÓSITO NO TANQUE DE ARMAZENAGEM IDEAL** $\approx < 2$	GRAU DE LIMPEZA DO TANQUE DE ARMAZENAGEM IDEAL** \approx ENTRE 0 e 7 (melhor)	QUEDA DE PRESSÃO NO FILTRO (mm Hg) IDEAL** \approx ATÉ 3,0
BRASÍLIA	< 1	2 – 4	0,0
CAMPINAS	< 2	2 – 4	0,0
TOM JOBIM-RJ	1	1 – 3	0,0
GUARULHOS	1	2 – 6	0,0
MANAUS	< 2	2 – 4	3,0
RECIFE	< 1	NÃO DISPONÍVEL	0,0
SALVADOR	< 1	2 – 3	0,0
BELÉM	< 1	3 – 6	0,0
CONFINS-BH	< 1	2 – 4	0,0
CURITIBA	< 1	2 – 3	0,0
TERESINA	< 2	NÃO DISPONÍVEL	0,0
SÃO LUÍS	< 1	NÃO DISPONÍVEL	0,0
FORTALEZA	< 2	1 – 3	0,0
PORTO ALEGRE	< 1	2 – 3	0,0
PORTO VELHO	< 1	2 – 4	2,0

* Estabilidade térmica assegurada até 260 °C.

** Ideal de acordo com as especificações da ANP.

Nota: Todos os dados foram colhidos e analisados pela Petrobras Aviação e pelo CENPES, em 1999.

Fonte: Petrobras, 2000.

É importante ressaltar que mesmo o QAV importado que compõem cerca de 15% do mercado nacional, ou seja, um volume da ordem de 0,7 milhões de m³ anuais (ano base: 2001) (ANP, 2002) também se submete ao programa da Petrobras. Afinal, o QAV importado, necessariamente, precisa ser estocado⁹⁸ em tanques de armazenagem dos aeroportos brasileiros. Esses tanques, no contexto do programa em questão, vêm sendo rigorosamente examinados no intuito de se reduzir a contaminação por metais que causam problemas de estabilidade térmica para o QAV.

⁹⁸ O tempo de estocagem do QAV depende do nível de atividade do aeroporto. Em geral, esse tempo é de uma a três semanas (no máximo) nos principais aeroportos brasileiros (PETROBRAS, 2000).

5.2.2 – O atendimento a demanda por QAV sob a ótica de flexibilização do mercado de petróleo brasileiro

O comércio de querosene de aviação, atividade extremamente rentável em muitos países, ainda não demonstrou no Brasil todo o seu potencial. Somente três companhias atuam nesse tipo de negócio no País – a BR Distribuidora, a Shell e a Esso – enquanto nos demais ramos de venda de combustíveis derivados do petróleo, prosperam dezenas de empresas (SOARES, 2002).

As companhias citadas atuam sem grande concorrência entre si e com fatias de mercado bastante conhecidas e delimitadas. A BR Distribuidora é a companhia que possui a maior fatia de mercado, com cerca de 70%, seguida pela Shell com participação de 18% e pela Esso que responde por cerca de 12% do mercado nacional de QAV (2001) (ANP, 2002). Em 1999, a BR registrou faturamento de R\$ 1,2 bilhão com a comercialização de QAV (ANP, 2001), expressando o significativo porte do setor, a despeito do restrito número de companhias atuantes.

Todo o atual contexto de estagnação e equilíbrio do mercado de QAV, no Brasil, está em processo de certa transformação com o avanço da desregulamentação do mercado de derivados. Tal desregulamentação está inserida no contexto da flexibilização do mercado petrolífero brasileiro e, assim, circunscrita ao processo de globalização ou abertura mundial de mercados.

No intuito de ilustrar o quão acelerado está o processo de desregulamentação do mercado petrolífero brasileiro em comparação aos demais países da América Latina apresenta-se a Tabela 5.4, a seguir. Nessa tabela comparativa observa-se que o Brasil é um dos países da América Latina onde a desregulamentação se encontra em nível mais avançado. Conforme se observa pela referida tabela, Brasil, Bolívia e Peru tendem a se aproximar mais rapidamente da atual situação do mercado petrolífero argentino (plena atuação de companhias privadas) do que todos os demais países listados. Afinal, as etapas “E” (Monopólio estatal) e “A” (Estado majoritário e companhias privadas atuando minoritariamente) já foram superadas. Cabe ressaltar que o país mais “neoliberalizado” ou “desregulamentado” da América Latina, a Argentina, é o que enfrenta, desde meados de 2001, a mais severa crise econômica e social.

Tabela 5.4: Estágio dos processos de desregulamentação do setor petrolífero nos países da América Latina, 2000

País	Exploração e Produção	Transporte	Refino	Comercialização	Importação e Exportação
ARGENTINA	P	P	P	P	P
BRASIL	E / P	E / P	E / P	E / P	E / P
MÉXICO	E	E	E	E	E
VENEZUELA	E	E / P	E	E	E
BOLÍVIA	E / P	E / P	E / P	E / P	E / P
COLOMBIA	E	E / P	E / P	E / P	E / P
EQUADOR	E	A	A	E / P	E / P
PERU	E / P	E / P	E / P	E / P	E / P
TRINIDADE E TOBAGO	E / P	E / P	A	E / P	E / P
CHILE	E	E / P	A	E / P	E / P
COSTA RICA	E / P	E / P	E	E	E
JAMAICA	E / P	E / P	A	E / P	E / P
PARAGUAI	E / P	E / P	A	E / P	E / P
URUGUAI	E	E / P	E	E	E

Observações:

P = Companhias Privadas atuando exclusivamente;

E / P = atividades desenvolvidas pelo Estado e por companhias privadas;

A = atividades desenvolvidas pelo Estado com participação minoritária de companhias privadas;

E = monopólio estatal.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ARPEL, 2001.

O querosene de aviação foi um dos primeiros derivados de petróleo a ter a importação liberada e regulamentada pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), mediante a Portaria nº 204, de 29 de dezembro de 1998. A despeito disso, as importações continuam a ser realizadas somente pela Petrobras. Um das razões para isto é que o transporte do produto⁹⁹ (até os aeroportos) é feito por dutos de propriedade da Petrobras. O fato de tais dutos serem de propriedade da Petrobras garante a essa empresa uma certa reserva de mercado mesmo no contexto do processo de desregulamentação do setor de derivados de petróleo no Brasil. O avanço deste processo, entretanto, tende a gerar o compartilhamento na utilização desses dutos e a efetiva competição gerada, muito provavelmente, irá aquecer o mercado brasileiro de QAV, especialmente no caso das importações do produto.

Até 1996, o preço do QAV era tabelado e o seu fornecimento, controlado. Foi quando o governo brasileiro retirou o subsídio ao produto, antecipando uma abertura gradual de mercado.

⁹⁹ O transporte do QAV por dutos necessita de uma camada de diesel para fazer a interface com outros produtos que também são transportados desta forma (tal como os óleos combustíveis, por exemplo).

A desregulamentação total do mercado de QAV no Brasil é ansiosamente aguardada pelos agentes privados, ávidos por potenciais lucros advindos desse atraente setor do mercado de derivados de petróleo. Por já atuarem na venda e distribuição do QAV produzido pelas refinarias brasileiras aos aeroportos e companhias aéreas, a Shell e a Esso já iniciam o processo de flexibilização de mercado com grande vantagem competitiva em relação a potenciais competidores estrangeiros e nacionais. Obviamente que a atual líder desse mercado, a Petrobras, mesmo em cenário de forte abertura de mercado e competição, tende a ser a empresa majoritária no mercado.

A abertura total deverá alterar profundamente o perfil de comercialização do QAV. Em um mercado aberto, uma distribuidora não vai poder operar com prejuízos numa área e compensá-los com os lucros de outra. Assim, cada derivado terá de dar lucro por si só. Inserido nesse contexto, o mercado de QAV tende a levar alguma vantagem devido a crescente expansão na demanda brasileira e mundial por transporte aéreo. Assim, estima-se que a expansão na demanda por aviação gere aumento na demanda por QAV.

O consumo brasileiro de QAV é equivalente ao consumo verificado em toda a América Latina (menos Brasil). E, conforme citado anteriormente, a produção nacional atende a cerca de 85% do consumo brasileiro. Já as importações do produto atingem um volume anual da ordem de 0,7 milhões de m³ (percentual e valores relativos ao ano de 2001) (ANP, 2002). De acordo com dados da ANP a comercialização da produção nacional rendeu para a Petrobras, em 1999, cerca de US\$ 750 milhões (ANP, 2001). No mesmo ano as importações exigiram dos cofres públicos pouco mais de US\$ 200 milhões (ANP, 2001). Para chegar ao referido valor, a ANP tomou como referência preços do Golfo do México, de US\$ 204 por m³ de QAV (2001) (PETROBRAS, 2002).

Para suprir a provável expansão na demanda por QAV no Brasil, fruto do crescimento na utilização por transporte aéreo, há uma clara tendência: modernização e/ou expansão do atual parque de refino da Petrobras. Assim, estima-se que as sete refinarias que atualmente produzem o QAV, aumentem suas produções através do reaparelhamento (ou modernização) das unidades de refino desse derivado. Além disso, nesse contexto, não estaria descartada a hipótese de as refinarias LUBNOR (no Ceará), REMAN (no Amazonas), RECAP (em São Paulo) e RPBC (em São Paulo) passarem, em cerca de 10 ou 15 anos, a produzir o derivado após modificações estruturais em seus parques de refino.

A indicação de modernização (e, eventualmente, expansão) do parque de refino baseia-se na hipótese de que o caminho ideal para a Petrobras enfrentar a concorrência, em mercado aberto, seja investir para modernizar e ampliar a produção de suas refinarias. Nesse sentido, a Petrobras já vem direcionando esforços, tais como a instalação de unidades HDT nas refinarias visando ampliar e melhor qualificar a produção do QAV.

Sob a ótica de um previsto contexto de reaquecimento do mercado de QAV no Brasil, estima-se que para o pleno atendimento da crescente demanda nacional por esse derivado não seja totalmente improvável que as duas refinarias privadas instaladas no Brasil – Manguinhos (no Rio de Janeiro) e Ipiranga (no Rio Grande do Sul) – passem a investir para produzir o QAV disputando assim, fatias desse mercado potencialmente muito lucrativo.

Estima-se, por fim, que a despeito da provável modernização e/ou ampliação no parque de refino ou mesmo da instalação de novas unidades refinadoras, exista uma tendência para aumento das importações brasileiras por QAV. O contexto de crescente expansão na demanda por serviços aéreos no Brasil propicia tal análise, especialmente para os próximos 10 anos. Afinal, a ampla modernização de uma refinaria consome, geralmente, cerca de uma década (FALCÃO, 2000).

5.3 – Evolução do Consumo de Energia pela Aviação no Brasil

O Brasil segue a tendência mundial de consumo de energia pela aviação observada nas Figuras 5.3 e 5.4, ou seja, o setor de transportes e o modal aéreo se destacam em termos de consumo de derivados de petróleo. No país, cerca de 47,6% do consumo de derivados de petróleo é devido ao setor de transportes (2000) (ANP, 2001). Tal percentual atinge o patamar de 55,9% (2000), em se tratando de consumo mundial (IEA, 2001).

No caso modal aéreo e para o ano de 2000, dados da Petrobras indicam que o consumo de derivados alcança o percentual de 6,2% em comparação aos demais modais de transporte (Petrobras, 2001). Tal percentual é de cerca de 24,6% em termos de consumo mundial de derivados de petróleo por modais de transporte, conforme se observa pela Figura 5.3.

O valor de 6,2%, baixo quando comparado a 24,6%, reflete a distribuição não-equitativa da matriz de transportes no Brasil, muito centrada no modal rodoviário, que responde por cerca de 90,1% (ano base: 2000) em termos de consumo de derivados de petróleo pelo setor de transportes (PETROBRAS, 2001). Entretanto, assim como no mundo, no Brasil, o modal aéreo é o segundo maior consumidor de derivados de petróleo sob o contexto da matriz de transportes. Em terceiro lugar posiciona-se o modal hidroviário com 2,2% (ano base: 2000) e, em quarto lugar, o modal ferroviário com cerca de 1,4% (ano base: 2000) de participação percentual no consumo de derivados (PETROBRAS, 2001).

O mesmo posicionamento detectado para o caso brasileiro – em 1º: modal rodoviário; em 2º: modal aéreo; em 3º: modal hidroviário; em 4º: modal ferroviário – é observado para o consumo mundial de derivados de petróleo pelos modais usuais de transporte, conforme se observa pelos dados da Figura 5.3.

A tabela, a seguir, apresenta a participação percentual de cada fonte para fornecimento de energia ao setor de transportes no Brasil.

Tabela 5.5: Fontes de energia utilizadas pelo setor de transportes no Brasil, 2000

FONTE DE ENERGIA	%
GASOLINA DE AVIAÇÃO	0,1
GÁS NATURAL	0,3
ELETRICIDADE	0,7
ÓLEO COMBUSTÍVEL	1,6
QUEROSENE DE AVIAÇÃO	6,1
ÁLCOOL ETÍLICO	13,9
GASOLINA AUTOMOTIVA	29,3
ÓLEO DIESEL	48

Fonte: MME, 2001.

Conforme se observa pela tabela anterior, os combustíveis fósseis são os mais importantes com relação ao consumo de energia pelo setor de transportes no Brasil, representando cerca de 85,4% (óleo diesel + gasolina automotiva + querosene de aviação + óleo combustível + gás natural + gasolina de aviação) da energia total consumida no ano de 2000. A supremacia do modal rodoviário fica clara e evidente pelo alto consumo de óleo diesel no país em decorrência da ampla utilização de caminhões no transporte de carga.

Em vista das dimensões continentais do Brasil e da cada vez mais necessária, filosofia de racionalização na utilização dos recursos energéticos, intui-se que a opção mais

adequada ao país seria que os modais ferroviário e hidroviário tivessem uma maior participação na matriz de transportes brasileira.

No caso do modal aéreo, o consumo de energia confunde-se com consumo de derivados de petróleo, afinal, os derivados, especificamente, o querosene e a gasolina de aviação, são as únicas fontes de energia utilizadas. No Brasil, o querosene de aviação, empregado nos motores com reações a jato e turbo hélice, é consumido por quase toda a frota aérea circulante no País. Este combustível participa com cerca de 96,3% (ano base: 2000) do consumo de energia do subsetor e a gasolina de aviação, empregada nos motores a pistão, responde por apenas 3,7% (ano base: 2000) do total consumido pelo setor aéreo brasileiro (MME, 2001).

Cabe ressaltar que da atual frota brasileira de cerca de 11.000 aeronaves (em 2000) (GEIPOT, 2001) apenas 2.515, ou seja, cerca de 22,9%, utilizam o querosene de aviação como combustível (GEIPOT, 2001). Essas 2.515 aeronaves correspondem à soma dos 427 aviões cujos motores operam com reações a jato; mais 1.271 aviões equipados com motores tipo turbo-hélice e 817 helicópteros, cuja frota está em processo de forte expansão desde 1990 (DAC, 2001). O restante, cerca de 8.485 aeronaves, corresponde à frota de aviões equipados com motores a pistão (GEIPOT, 2001).

A figura apresentada, a seguir, ressalta a distribuição percentual do consumo de energia pelo modal aéreo por fontes energéticas e por tipo de motor. Observa-se que o consumo de querosene de aviação no Brasil é muito superior ao de gasolina de aviação. De fato, as aeronaves equipadas com motores com reação a jato e/ou turbo hélice são muito mais energo-intensivas do que as aeronaves equipadas com motores a pistão (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998).

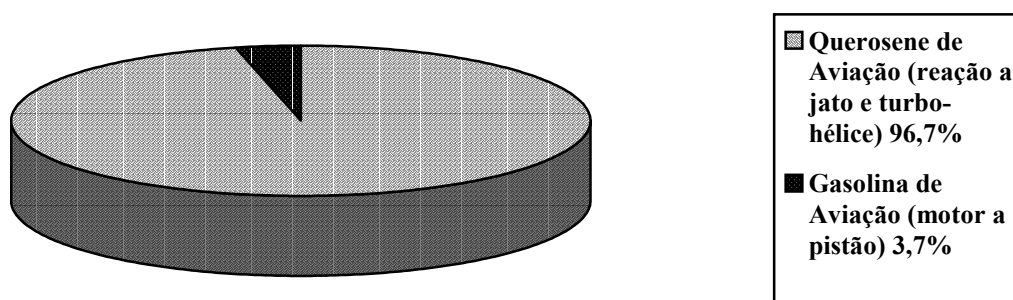


Figura 5.8: Distribuição percentual do consumo de energia por fontes energéticas e por tipo de motor pelo transporte aéreo no Brasil, 2001

Fonte: PETROBRAS, 2002.

As equações simplificadas 5.1 e 5.2 ilustram esquematicamente as fórmulas empregadas para o cálculo do consumo de QAV (Equação 5.1) e do volume comercializado desse derivado no Brasil (Equação 5.2).

$$\text{CONSUMO DE QAV (unidade usual } \approx 10^3\text{m}^3 \text{ ou tEP)} = \text{PRODUÇÃO} + \text{IMPORTAÇÕES} - \text{VOLUME EMBARCADO NOS BUNKERS INTERNACIONAIS}$$

(Equação 5.1)

$$\text{VOLUME COMERCIALIZADO (unidade usual } \approx 10^3\text{m}^3) = \text{PRODUÇÃO} + \text{IMPORTAÇÕES}$$

(Equação 5.2)

A evolução do consumo de energia por fontes do modal aéreo – gasolina e querosene de aviação – e do consumo energético total por este setor da economia nacional, no período de 1984 a 2002, são apresentados, respectivamente, pela tabela e pela figura ilustradas, a seguir.

Tabela 5.6: Consumo de energia (em 10³ tEP) pelo modal aéreo no Brasil, por fontes, de 1984 a 2002

	Gasolina de Aviação	Querosene de Aviação
1984	59	1653
1985	56	1754
1986	67	1894
1987	63	1969
1988	62	1905
1989	63	2015
1990	49	1918
1991	45	2014
1992	39	1897
1993	43	2001
1994	52	2046
1995	49	2387
1996	52	2549
1997	59	2869
1998	62	3145
1999	58	2932
2000	58	3124
2001	57	3215
2002	42	3134

Fonte: MME, 2003.

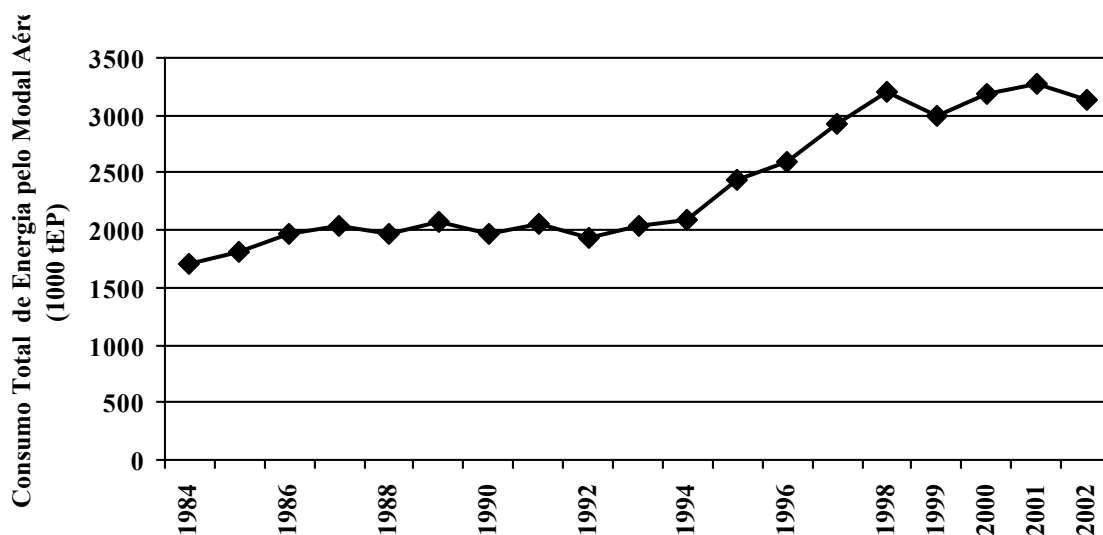


Figura 5.9: Evolução do consumo de energia total pelo modal aéreo (10³ tEP), 1984-2002

Fontes: PETROBRAS, 2003 e MME, 2003.

Cabe ressaltar que os dados da tabela e da figura anteriores já incluem o consumo de querosene e de gasolina de aviação devido à aviação militar no Brasil. Este setor da

aviação nacional respondeu, em 2002, por 2,3% de toda a demanda por energia requerida pelo transporte aéreo brasileiro, conforme mencionado no Capítulo I deste Trabalho.

Como pode ser constatada pela figura anterior, a partir de 1994, a aviação brasileira, expressa em termos de consumo de energia, vem crescendo sob taxas expressivas, comparáveis às maiores do mundo (PETROBRAS, 2002), conforme se observa pela figura apresentada, a seguir.

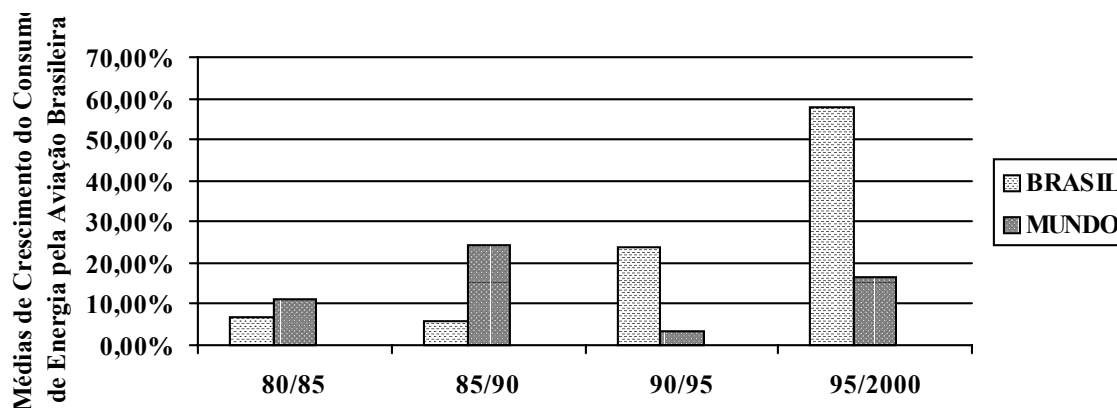


Figura 5.10: Médias de crescimento (em percentual) do consumo energético total pelo setor aéreo no Brasil e no mundo. Períodos: 1980/1985, 1985/1990, 1990/1995 e 1995/2000

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela PETROBRAS, 2001.

Pela figura anterior, observa-se que, a partir de 1990, o consumo de energia pela aviação no Brasil vem crescendo a taxas muito superiores às registradas para o crescimento deste modal no mundo. Especialmente após 1995, observa-se a notável expansão desse consumo. Estima-se que a estabilidade econômica gerada pelo Plano Real, a despeito de não solucionar importantes carências brasileiras (como uma melhor distribuição de renda), trouxe uma certa sensação de segurança aos planejamentos econômicos das famílias brasileiras, impulsionando assim, o turismo aéreo nacional (em seus diversos segmentos) e, conseqüentemente, a demanda por aviação.

O contexto de forte expansão do transporte aéreo no Brasil encerra uma evidente necessidade da implementação de políticas voltadas à minimização de inevitáveis (e crescentes) impactos ambientais. Assim, os planejadores deste segmento da economia nacional devem estar atentos para a elaboração de estratégias que visem minimizar os inevitáveis impactos ambientais decorrentes dessa forte expansão. Nesse sentido, conhecer

os níveis atuais de emissões de CO₂ pelo setor aéreo e prospectar sobre a evolução futura dessas emissões, torna-se fundamental.

O setor de transporte aéreo no Brasil pode se expandir sob a ótica do desenvolvimento sustentável, aliando as questões econômicas, ambientais e sociais e, também, observando e corrigindo os inúmeros “erros ambientais” cometidos ao longo da evolução do segmento de aviação nos países desenvolvidos ou industrializados. O caminho que tais países já percorreram em termos de estruturação e expansão do setor aéreo pode servir como parâmetro para que o segmento de aviação no Brasil evolua da forma menos ambientalmente degradante possível.

5.4 – Projeção Referencial para a Evolução do Consumo Energético Associado ao Transporte Aéreo Brasileiro

De acordo com informações obtidas junto a Gerência da PETROBRAS AVIAÇÃO (2003) – área de negócios da empresa responsável, dentre outras competências, pelo fornecimento de querosene e gasolina de aviação aos principais aeroportos brasileiros – o consumo de energia associado à atividade aérea no Brasil, ao longo da década de noventa, se expandiu em torno de um ponto percentual a menos do que a demanda por transporte aéreo no país¹⁰⁰. Tal observação baseou-se em dados fornecidos à Petrobras Aviação pelas oito refinarias produtoras de QAV ou gasolina de aviação (conforme mencionado no item 5.2, as refinarias RLAM, REDUC, REGAP, REVAP, REPLAN, REPAR e REFAP produzem o QAV, enquanto que a Refinaria RPBC produz a gasolina de aviação) em território nacional e em dados obtidos junto ao Anuário Estatístico do DAC (DAC, 2002).

Cabe mencionar, nesse contexto, que alguns trabalhos realizados por pesquisadores estrangeiros, tais como os desenvolvidos por LEE e colaboradores (LEE, LUKACHKO, WAITZ, 2001), FALK (1999) e SCHÄFER (1992) corroboram para a correlação detectada pela Petrobras. Tais estudos indicam, por análise de séries históricas, que uma aproximação razoável para se estimar o consumo de energia associada à aviação é que o mesmo se

¹⁰⁰ Analisando dados do GEIPOT (2001) referentes ao consumo de QAV pelo setor de aviação no Brasil, durante a década de 90, e dados do DAC referentes à evolução do parâmetro pax-km, durante o mesmo período (DAC, 2002), foi possível observar, em cálculo aproximado, a mesma correlação detectada pela Petrobras Aviação. Observou-se, portanto, que nos anos noventa, a demanda energética gerada pela atividade aérea no Brasil se expandiu em torno de um ponto percentual a menos que a demanda por aviação no país.

expande em torno de um ponto percentual a menos do que a demanda por transporte aéreo. Tais trabalhos fundamentam-se, basicamente, em análises de séries históricas a partir do confronto de dados advindos do setor petrolífero (em especial, o setor de derivados empregados como combustível para o transporte aéreo) e do setor de aviação, e na hipótese de haver melhorias na eficiência energética do transporte aéreo. Neste trabalho, na construção da Projeção Referencial para avaliar o comportamento futuro do consumo de energia pelo setor de aviação no Brasil, adotar-se-á a mesma correlação citada como premissa básica.

Torna-se pertinente mencionar que a opção pela construção de uma projeção de cunho “referencial” relaciona-se a intenção de se trabalhar com valores médios, que não fossem, me princípio, elaborados com base em expectativas otimistas ou pessimistas para a evolução da demanda por aviação no Brasil ou mesmo para a evolução da atividade econômica no país (que, dependendo da metodologia empregada, pode ser utilizada como indutora da demanda por aviação). Além disso, foi possível ter acesso a dados estratégicos referentes a uma previsão da Petrobras para a evolução da demanda por energia pela aviação no Brasil até 2023. Tais dados, acessados a partir da Revisão do Plano Estratégico (2001) e de informações obtidas junto à Gerência da Petrobras Aviação (2003), indicam que a demanda energética por este setor da economia nacional crescerá à taxa média de 5,4% ao ano, entre 2002 e 2011, e à taxa média de 6,4% ao ano, entre 2012 e 2023.

Objetivando estabelecer uma conexão entre a projeção aqui desenvolvida (para a evolução do consumo de energia pelo transporte aéreo brasileiro) com as projeções apresentadas e/ou desenvolvidas no Capítulo IV deste Trabalho relativas à evolução da demanda por aviação no Brasil, verificou-se que a projeção que melhor se adequava aos requisitos ou critérios adotados para a Projeção Referencial/Energia seria a Projeção Referencial/Aviação para o parâmetro pax-km (ver Figura 4.7). De fato, esta última, trata-se de uma projeção elaborada com base em expectativas médias, ou seja, nem pessimistas e nem otimistas. Além disso, “retirando-se” um ponto percentual da taxa média de crescimento ao ano da Projeção Referencial/Aviação (pax-km) obtém-se taxas próximas às obtidas junto à Petrobras Aviação e ao Estudo Revisão do Plano Estratégico (2001) para a evolução do consumo de energia pela atividade aérea no Brasil. Afinal, a Projeção

Referencial/Aviação (pax-km) baseia-se numa taxa de crescimento médio anual da ordem de 6,7%, entre 2002 e 2011, e da ordem de 7,6%, entre 2012 e 2023.

Nesse contexto, utilizar-se-á na construção da Projeção Referencial para a evolução, até 2023, da demanda por energia devido ao transporte aéreo brasileiro, as seguintes taxas médias de crescimento ao ano:

- Entre 2003 e 2012 = 5,7%;
- Entre 2013 e 2023 = 6,6%.

Desta forma, a Projeção Referencial/Energia remete-se a Projeção Referencial/Energia com a ressalva de um ponto percentual a menos nas taxas médias de crescimento empregadas para os períodos de 2003 a 2012 e de 2013 a 2023. O “ponto de partida” para a construção da Projeção Referencial é o consumo de energia pelo setor de aviação no Brasil registrado pelo Ministério de Minas e Energia em 2002, ou seja, 3.176×10^3 tEP (que corresponde ao consumo de 42×10^3 tEP de gasolina de aviação e mais 3.134×10^3 tEP de QAV).

Como a Projeção Referencial/Aviação, de certa forma, correlaciona-se com a Projeção Referencial/Energia admite-se aqui as mesmas premissas, hipóteses e considerações adotadas na contextualização da Projeção Referencial/Aviação são, também, válidas para a Projeção Referencial/Energia. Assim, baseando-se na Revisão do Plano Estratégico da Petrobras 2001-2010 (PETROBRAS, 2001a), a Projeção/Energia encerra os seguintes aspectos estruturais e/ou conjunturais: crescimento econômico; avanço do processo de desregulamentação do setor aéreo (com conseqüente redução no preço das passagens aéreas); e falta de política públicas, com a iniciativa privada, cada vez mais, executando planos de grande porte para o desenvolvimento deste setor.

A tabela apresentada, a seguir, explicita os parâmetros adotados na elaboração da Projeção Referencial/Energia.

Tabela 5.7: Parâmetros adotados na elaboração das Projeções Referencial/Energia, Baixa/Energia e Alta/Energia – consumo energético pela aviação no Brasil, 2002 a 2023

	PERÍODO 2002 - 2011			PERÍODO 2012 - 2023		
	Taxa de Crescimento do PIB (% ao ano)	Taxa média de crescimento, pax-km (% ao ano)	Taxa de Crescimento do Consumo Energético (% ao ano)	Taxa de Crescimento do PIB (% ao ano)	Taxa média de crescimento, pax-km (% ao ano)	Taxa de Crescimento do Consumo Energético (% ao ano)
Projeção Referencial/Energia	4,2	6,7%	5,7%	5	7,6%	6,6%

5.4.1 – Apresentação da Projeção Referencial/Energia

A figura apresentada, a seguir, ilustra a Projeção Referencial/Energia elaborada para avaliar o comportamento futuro do consumo energético pelo setor aéreo no Brasil, de 2002 a 2023.

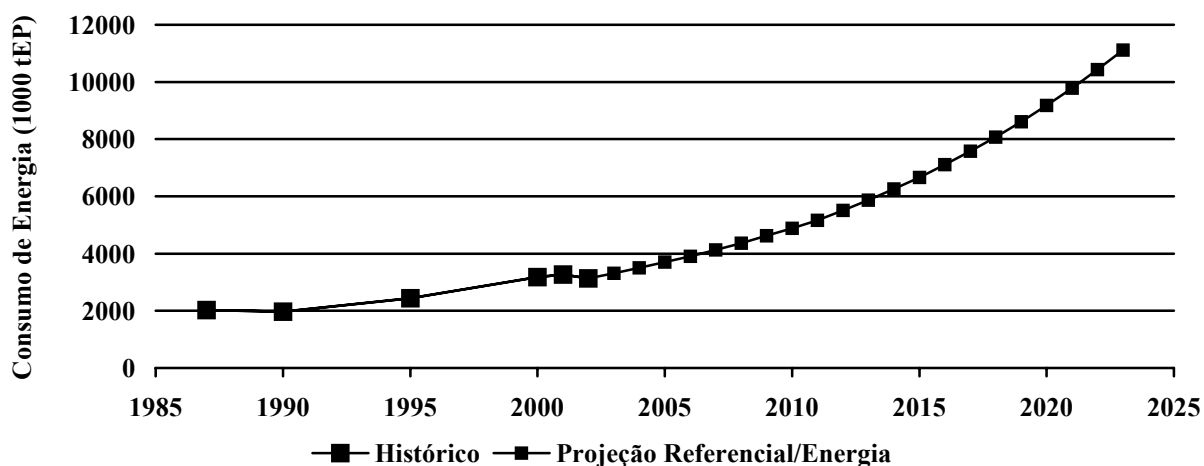


Figura 5.11: Projeções para a evolução do consumo energético associado ao transporte aéreo brasileiro – Projeções: Baixa/Energia, Referencial/Energia e Alta/Energia, 2002 a 2023 (10³ tEP)

Os dados da figura anterior indicam que a Projeção Referencial traduz um aumento no consumo de energia pelo setor de aviação no Brasil da ordem de 336% (em termos de crescimento acumulado), quando se comparam os anos de 2002 e 2023.

Considerando os dados referentes às Projeções Referencial/Energia, estima-se que todos os “atores” envolvidos na questão do atendimento à demanda nacional por energia para o setor aéreo, quais sejam, a Petrobras, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), as companhias petrolíferas de capital estrangeiro, as refinarias privadas e o próprio Governo, devam, efetivamente, levar em consideração na elaboração de seus planejamentos estratégicos um provável contexto de forte expansão no consumo energético pela aviação brasileira.

Considerando um período de cerca de 20 anos e a hipótese de que a Projeção Referencial/Energia - mantendo-se os atuais níveis evolutivos para a demanda por aviação e energia associada no Brasil – efetivamente venha a ocorrer, estima-se a necessidade de a Petrobras realizar uma ampla modernização do parque de refino brasileiro, com vistas a se atingir expressivo aumento na produção de combustíveis para aviação, em especial o QAV. Em um período inferior a dez anos, recomenda-se o replanejamento das importações brasileiras de QAV.

5.5 – Inventário para as Emissões de CO₂ Devido ao Transporte Aéreo no Brasil

O transporte é o principal agente de consumo de combustíveis de origem fóssil e cuja queima gera o CO₂, um importante Gás de Efeito Estufa (SCHÄFER, 1992). E, dentre os modais usuais de transporte, o modal aéreo é aquele que, desde meados dos anos noventa, vem apresentando as maiores taxas de crescimento para as emissões de CO₂ (SH&E, 1997; NASA, 1998), conforme citado na introdução deste Trabalho.

Há, efetivamente, uma relação de causa e efeito entre o setor aéreo e o fenômeno do incremento do Efeito Estufa e do conseqüente aquecimento da superfície terrestre (IPCC, 1999). Sob esse contexto, torna-se fundamental conhecer o inventário das emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo.

Focar o Brasil sob a ótica, aqui proposta, torna ainda mais relevante a confecção de um inventário para as emissões de CO₂ devido à aviação, tendo em vista a notória carência de estudos nesse sentido no país.

Conforme mencionado anteriormente (no Capítulo IV), a própria Comunicação Nacional, não apresenta as emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo brasileiro. Desde

1998, o Brasil, através do Ministério da Ciência e Tecnologia, envia ao IPCC sua Comunicação Nacional sem explicitar o setor de aviação.

5.5.1 – Metodologias aplicáveis ao cálculo do inventário

A combustão dos derivados de petróleo – gasolina e querosene de aviação – necessária a energização dos motores aeronáuticos gera, inevitavelmente, gases poluentes que são lançados imediatamente à atmosfera (em geral, em altitudes elevadas, acima de 10Km, conforme mencionado no capítulo II deste Trabalho). A geração de poluentes gasosos pelas aeronaves guarda relação direta com o fenômeno do aquecimento global (IPCC, 1999).

Conforme mencionado no Capítulo I deste trabalho, dentre os gases emitidos pela aviação, o CO₂, é o principal Gás de Efeito Estufa (IPCC, 1999). Sua importância no aumento antropogênico desse fenômeno é tanta que existem duas metodologias especialmente desenvolvida pelo IPCC, que permitem o cálculo das emissões deste gás. São as metodologias *bottom-up* e *top-down* (IPCC, 1994; IPCC, 1996).

O emprego da metodologia *bottom-up* (IPCC, 1994) possibilita a quantificação e identificação dos Gases de Efeito Estufa de forma desagregada. Nesse método, são desenvolvidos fatores de emissão específicos para fontes móveis e fontes fixas. Tais fatores são aplicados à fórmulas simples para o cálculo das emissões devido a determinado setor energético. Para o setor de transportes a equação apresentada a seguir exprime o modelamento para o referido cálculo.

$$\mathbf{Emissões}_Y = \mathbf{FE}_{Yabc} \mathbf{X} \mathbf{Atividade}_{abc}$$

(Equação 5.3)

No qual,

Emissões_Y = emissões de um gás x (CO₂, CO, NO_x, CH₄, etc);

FE = fator de emissão do gás;

Atividade = distância percorrida ou energia consumida por uma determinada atividade de uma fonte móvel.

a = tipo de combustível (querosene de aviação, gás natural, gasolina, etc);

b = tipo de veículo (avião, automóvel, moto, etc);

c = práticas de controle de emissão.

Aparentemente a aplicação da metodologia *bottom-up*, pela simples observação da Equação 5.3, parece trivial. Entretanto, o cálculo do fator de emissão (FE) é extremamente complexo, pois se baseia em informações amostrais e conhecimentos de engenharia sobre as diferentes tecnologias. Além disso, esses fatores variam muito de acordo com o país e com a tecnologia do processo em análise. As particularidades industriais, econômicas e mesmo sócio-culturais do país devem ser consideradas no cálculo do fator de emissão associado ao consumo de energia devido à determinada fonte móvel ou fixa. Em geral, os fatores de emissão variam muito de um país para outro. Assim, não seria adequado adotar para o Brasil os fatores de emissão europeus ou norte-americanos, por exemplo.

Pela maior confiabilidade de dados e menor complexidade para o levantamento destes, a metodologia *top-down* acabou por difundir-se mais do que a *bottom-up*.

Para emprego da metodologia *top-down* do IPCC, é necessário realizar-se a seguinte seqüência de passos (IPCC, 1994):

1) Cálculo do Consumo Aparente dos Combustíveis e Conversão para uma Unidade Comum de Energia:

O Consumo Aparente (CA) representa a quantidade de combustível disponível no país, e é calculado da seguinte forma:

$$CA = \alpha + \beta - \chi - \delta - E$$

(Equação 5.4)

Na qual,

α = Produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original;

β = Importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;

χ = Exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;

δ = Energia anualmente embarcada nos bunkers internacionais, medida em unidade original;

E = Variação anual dos estoques de energia, medida em unidade original.

Como cada combustível possui um conteúdo de carbono diferente, deve-se realizar a conversão do Consumo Aparente (CA) de cada combustível, medido na sua unidade original para uma unidade comum de energia. Para tanto, deve-se multiplicar o valor obtido para o CA pelo fator de conversão em toneladas equivalentes de petróleo por unidade de combustível (tEP/unidade). Feito isto, transforma-se a quantidade de energia em tEP para o Tera-Joule¹⁰¹. Os fatores de conversão para o caso do Brasil podem ser obtidos do Balanço Energético Nacional (MME, 2001), sendo o valor médio do tEP brasileiro aquele utilizado pela Comunicação Nacional em 1999, ou seja, 1 tEP brasileiro = 10.800 Mcal¹⁰² = 45217,4 MJ¹⁰³ (MCT, 2001).

A equação, a seguir, explicita o procedimento descrito.

$$CC = CA \times F_{\text{Conv.}} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{\text{Correção}}$$

(Equação 5.5)

Onde,

CC = Consumo de Energia (TJ);

CA = Consumo Aparente do Combustível em unidades físicas, tais como, m³, litros, toneladas, etc.

OBS: 1tEP brasileiro = 42,2 x 10⁻³ TJ;

$F_{\text{Conv.}}$ = Fator de Conversão (tEP/Unidade Física) da Unidade Física para tEP médio (em PCS). O ANEXO B deste Trabalho lista os fatores de conversão para tEP Médio (em PCS);

$F_{\text{Correção}}$ = Fator de Correção (adimensional) de Poder Calorífico Superior (PCS) para Poder Calorífico Inferior (PCI). Os fatores de correção para transformar o PCS em PCI, usados pela Comunicação Nacional, são 0,90 para os combustíveis gasosos e 0,95 para os

¹⁰¹ TJ (Tera-Joule) = 10¹² J.

¹⁰² Mcal = 10⁶ Cal.

¹⁰³ MJ = 10⁶ J.

combustíveis sólidos e líquidos. Utiliza-se PCI ao invés de PCS, para considerar a energia efetivamente aproveitável do combustível, de acordo com o IPCC (MCT, 2001).

2) Transformação do Consumo Aparente de Cada Combustível em Conteúdo de Carbono, Mediante a sua Multiplicação pelo Fator de Emissão de Carbono do Combustível:

A equação, a seguir, explicita tal etapa.

$$QC = CC \times F_{\text{emissão}} \times 10^{-3}$$

(Equação 5.6)

No qual,

QC = Quantidade de carbono em GgC. De acordo com as unidades adotadas pelo IPCC, os resultados dos cálculos das emissões serão expressões em Gg (Gigagramas), ou seja, bilhões de gramas, equivalentes a mil t (milhares de toneladas). Daí utiliza-se a unidade Gg (na determinação do parâmetro QC) (MCT, 2001);

CC = Consumo de Energia (TJ);

F_{emissão} = Fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os fatores de emissão de carbono fornecidos pelo IPCC são listados no ANEXO C deste Trabalho;

10⁻³ = Utilizado para transformar toneladas de carbono (tC) em gigagramas de carbono (GgC), que é a unidade recomendada pelo IPCC.

3) Determinação da Fração de Carbono Estocado ou Fixado:

O aporte de combustível a um país não se destina exclusivamente ao setor energético. Parte dele é utilizado como matéria-prima na produção de produtos não-energéticos, tais como, o asfalto e os plásticos. Nesses produtos, o carbono torna-se “fixado” ou “estocado”, segundo a denominação adotada pelo IPCC. Deve-se subtrair a fração de carbono estocado do consumo aparente para o cálculo efetivo do consumo energético.

Para calcular o conteúdo estocado, é necessário determinar as quantidades de combustíveis destinadas ao setor não energético e as frações destas quantidades que se mantém fixada aos bens produzidos. A equação ilustra o referido cálculo.

$$\text{QCF} = \text{QC} \times \text{FCF}_{ix}$$

(Equação 5.7)

Onde,

QCF = Quantidade de Carbono Fixado em GgC;

QC = Quantidade de Carbono no Combustível em GgC;

FCF_{ix} = Fração de Carbono Fixado (adimensional). Os valores para FCF_{ix} encontram-se apresentados no ANEXO D deste trabalho.

Para as biomassas sólidas e líquidas renováveis, essa fração de carbono estocado é de 100%, pois todo carbono emitido na queima do combustível é seqüestrado na renovação da biomassa.

4) Determinação das Emissões Líquidas de Carbono:

O balanço de massa entre o conteúdo de carbono no combustível menos a quantidade de carbono estocado representa as emissões líquidas de carbono, cujo cálculo é expresso a seguir pela equação.

$$\text{ELC} = \text{QC} - \text{QCF}$$

(Equação 5.8)

Na qual,

ELC = Emissões Líquidas de Carbono em GgC;

QC = Quantidade de Carbono no Combustível em GgC;

QCF = Quantidade de Carbono Fixado em GgC.

5) Correção dos Valores para Considerar a Combustão Incompleta:

Nem toda a emissão líquida de carbono (ELC) será oxidada, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono, que se incorpora às cinzas ou a outros subprodutos. Esse fato é levado em conta na metodologia *top-down* do IPCC, multiplicando-se o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidado na combustão. A equação, a seguir, explicita esse cálculo.

$$\text{ERC} = \text{ELC} \times \text{FCO}$$

(Equação 5.9)

Onde,

ERC = Emissões Reais de Carbono em GgC;

ELC = Emissões Líquidas de Carbono em GgC;

FCO = Fração de Carbono Oxidada (adimensional). Os valores para as frações de carbono oxidadas encontram-se no ANEXO E deste Trabalho.

6) Determinação das Emissões Reais de CO₂:

A conversão para emissões de CO₂ em termos da quantidade de carbono liberada na queima de combustível é facilmente obtida, multiplicando-se as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do carbono, isto é 44/12.

Assim, a partir das emissões reais de carbono (ERC) pode-se calcular as emissões reais de CO₂ (ERCO₂) devidas ao uso de energia, considerando-se seu conteúdo de carbono: em 44t de CO₂ há 12t de carbono, ou seja, 1tCO₂ = 0,2727 tC. A equação explicita o procedimento descrito.

$$\text{ERCO}_2 = \text{ERC} \times (44/12)$$

(Equação 5.10)

Onde,

ERCO₂ = Emissões Reais de CO₂ em GgCO₂;

ERC = Emissões Reais de Carbono em GgC.

Observação: 1GgCO₂ = (44/12) GgC.

5.5.2 – O inventário atual

Utilizando-se os dados da Tabela 5.6 (referente ao consumo de energia pelo transporte aéreo brasileiro) e aplicando-se a metodologia *top-down* do IPCC (IPCC, 1994; MCT, 2000a), elaborou-se o inventário atual para as emissões de CO₂ pela aviação no Brasil.

A tabela apresentada, a seguir, ilustra a evolução das emissões de CO₂ pelas duas fontes energéticas – gasolina e querosene de aviação – empregadas pela aviação nacional.

Tabela 5.8: Evolução das emissões de CO₂ pelas fontes energéticas empregadas no transporte aéreo brasileiro, 1984-2002

	Gg DE CO ₂ Emitido Gasolina de Aviação	Gg DE CO ₂ Emitido Querosene de Aviação
1984	174	5024
1985	165	5331
1986	197	5757
1987	191	5978
1988	188	5784
1989	191	6118
1990	149	5823
1991	137	6115
1992	118	5759
1993	131	6075
1994	158	6212
1995	149	7247
1996	158	7739
1997	179	8710
1998	188	9548
1999	176	8902
2000	176	9484
2001	173	9761
2002	128	9387

A figura apresentada, a seguir, ilustra a evolução das emissões totais de CO₂ pelo transporte aéreo no Brasil. Observa-se que, a partir de 1994, houve um aumento no nível das emissões em taxas muito superiores a de anos anteriores.

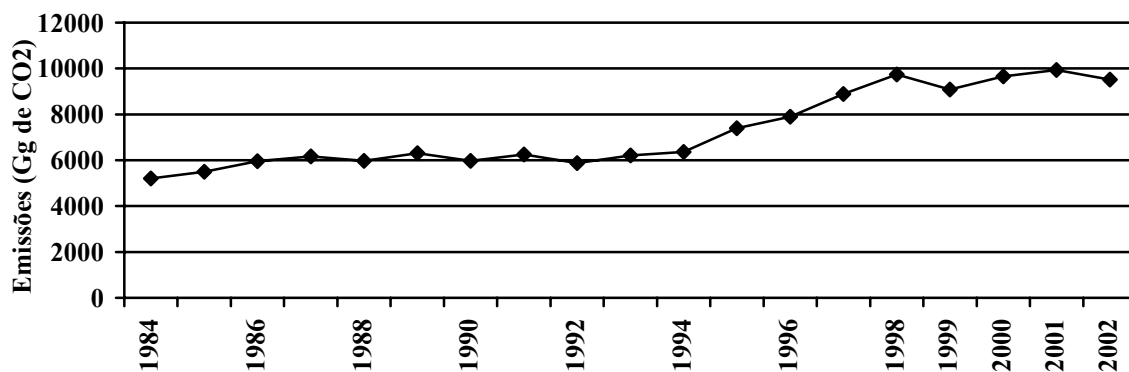


Figura 5.12: Evolução das emissões totais de CO₂ pelo transporte aéreo no Brasil

5.6 – Evolução das Emissões de CO₂ em Projeção Referencial

A Projeção Referencial para a evolução das emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro agrega todas as macro-premissas, hipótese e considerações adotadas na elaboração dos cenários Referencial/Aviação (apresentado no Capítulo IV deste Trabalho) e Referencial/Energia (apresentado no item 5.4 do presente capítulo). Em especial, cabe ressaltar que se adotou as mesmas taxas médias anuais de crescimento para os períodos 2002-2011 e 2012-2023, ou seja, 5,7% e 6,6%, respectivamente..

Basicamente, na construção da Projeção Referencial/Emissões aplicou-se a metodologia *top-down* aos dados referentes à Projeção Referencial/Energia.

Como “ponto de partida” para a construção da Projeção Referencial/Emissões utilizou-se a emissão de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro calculada para o ano de 2002, ou seja, 9.515 Gg¹⁰⁴ de CO₂ (ver Figura 5.12). A figura, a seguir, apresenta o resultado da Projeção Referencial/Emissões.

¹⁰⁴ A unidade Gg (gigagramas) é amplamente utilizada no Relatório Especial do IPCC sobre Aviação e Meio Ambiente Atmosférico (IPCC, 1999) quando se apresentam valores para emissões de CO₂. Assim, levando em consideração a suma importância deste estudo do IPCC, se adotou no presente trabalho a unidade Gg para as emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil.

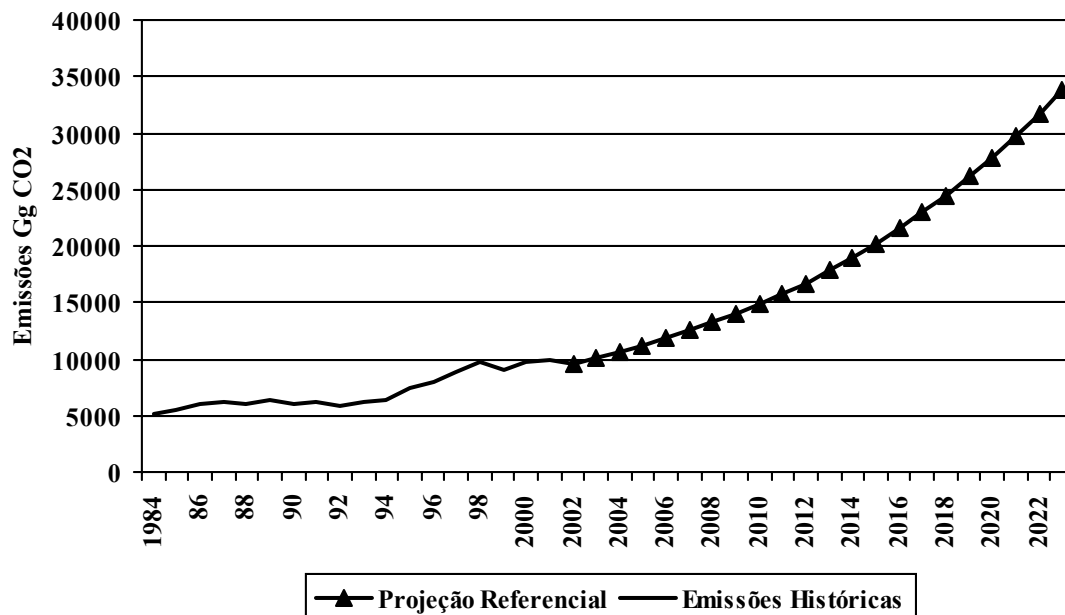


Figura 5.13: Projeção Referencial para a evolução das emissões de Gg de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil, 2002-2023

Considerações Finais sobre o Capítulo V

Os dados apresentados na Figura 5.9 indicam que o consumo de energia pelo transporte aéreo brasileiro vem se expandindo desde o início dos anos noventa (especialmente, a partir da segunda metade da referida década). Tal contexto fornece indícios de que este consumo irá se expandir para os próximos anos. Acompanhando esta expansão, inevitavelmente, estarão as emissões de CO₂ por este setor da economia nacional.

O Relatório Especial do IPCC para aviação (IPCC, 1999) aponta para uma provável forte expansão da atividade aérea em países em desenvolvimento e de base industrializada, como o Brasil. Nesse contexto, a “aparência exponencial” das curvas referentes às projeções Referencial/Energia (Figura 5.11) e, principalmente, Referencial/Emissões (Figura 5.13) se coadunam a essa expectativa do IPCC. No caso da Projeção Referencial/Energia, o consumo energético, em um período de 20 anos (até 2023) tornar-se-á cerca de 3,4 vezes superior ao atual. A Projeção Referencial/Emissões mantém equivalente proporção.

Este provável quadro futuro, inevitavelmente, embute forte pressão sobre a matriz energética brasileira e sobre o meio ambiente atmosférico. As projeções desenvolvidas neste trabalho podem, de certa forma, servir de sinal de alerta. De fato, as emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil podem, em cerca de duas décadas, atingir patamares muito expressivos. Nesse contexto, é importante ressaltar que a opção pela construção de projeções referenciais - Referencial/Energia e Referencial/Emissões construídos com base na Projeção Referencial/Aviação (pax-km), apresentada no Capítulo IV (deste trabalho)- não significa que projeções do tipo “Alta/Emissões” (elaborada hipoteticamente com base na Projeção Alta/Aviação, apresentada no Capítulo IV deste trabalho) ou “Superior/Emissões” (elaborada hipoteticamente com base na Projeção Superior/Aviação do DAC/IAC) não possam vir a se traduzir em realidade no futuro. Assim, um nível de emissões de CO₂ ainda superior ao estimado para o ano de 2023, ou seja, 33.737 Gg CO₂ (ver Figura 5.13), não seria totalmente improvável de confirmar-se. Sob tais circunstâncias, a elaboração e introdução, desde já, de alternativas de mitigação para tais emissões mostram-se claramente oportunas. É esse o contexto que delinea a estrutura e o desenvolvimento do próximo capítulo deste Trabalho.

CAPÍTULO VI – ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO PARA AS EMISSÕES DE CO₂ GERADAS PELO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL

Objetivando gerar diretrizes que agreguem sustentabilidade ao transporte aéreo brasileiro, examinam-se algumas possíveis alternativas de mitigação para as emissões de CO₂ por este setor da economia do País. Estima-se que as alternativas aqui propostas possam se adequar ao setor aéreo de diversos outros países em desenvolvimento, levando-se em conta, obviamente, as particularidades sócio-econômicas e culturais de cada nação.

6.1 – Amplo Emprego de Materiais de Baixa Densidade na Construção de Aeronaves

6.1.1 – Evolução dos materiais empregados na indústria aeronáutica

Materiais sempre desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento de projetos relacionados à construção de uma aeronave. Antes da Primeira Guerra Mundial, a estrutura do avião era constituída basicamente por madeira e tecido. Entretanto, quando a guerra acabou, a escassez de madeira tornou-se tão forte que forçou a troca para metais em algumas aplicações.

O primeiro de todos aviões fabricados com ligas metálicas leves foi o alemão Dornier RS1, um hidroavião de três motores, produzido em 1914. Nesta época, os metais começaram a ser promovidos como materiais estruturais para aviões. Um dos principais projetistas da época, o alemão Hugo Junkers, lançou a idéia de que um metal teria propriedades mais consistentes e previsíveis, não era afetado pelo ambiente e conseqüentemente se comportaria bem melhor do que madeira e tecido. Os conceitos revolucionários de Junkers foram refinados por outro projetista alemão, Adolf Rohrbach, que em 1919 projetou e construiu asas revestidas e ligadas por mastros e, portanto, iniciou o moderno projeto de construção do avião. A partir da década de 1930, os seus projetos tornaram-se o padrão na construção de aviões (QUIST e WINGET, 1994).

Madeira e tecido persistiram, entretanto, até a década de 1930 e 1940. Para se ter uma idéia, até 1945, 17% de toda a força aérea do Reino Unido ainda era de madeira

(MONDEY, 1973). Por outro lado, devido a certas características básicas destes materiais como anisotropia, absorção de umidade, instabilidade dimensional e vulnerabilidade, o domínio de metais, principalmente de ligas de alumínio, então se estabeleceu na construção dos aviões.

Atualmente, os materiais que constituem a estrutura de um avião são basicamente os seguintes:

- Ligas de alumínio, para asas e a fuselagem;
- Aços especiais, para o trem de pouso;
- Ligas de titânio, para regiões de alta temperatura;
- Materiais conjugados¹⁰⁵, para superfícies de controle.

A figura apresentada, a seguir, ilustra uma porcentagem usual de utilização destes materiais em um moderno avião de transporte civil. Já a Figura 6.2 mostra a distribuição em peso destes materiais nas partes da estrutura e a forma de produtos empregados.

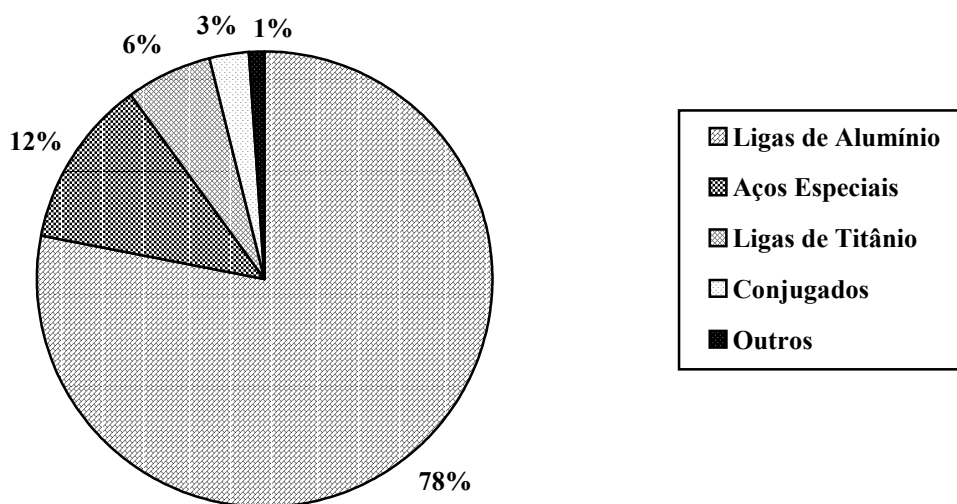


Figura 6.1: Utilização de materiais estruturais em um avião

Fonte: GODEFROID, 1993.

¹⁰⁵ Os materiais conjugados são também conhecidos como materiais compostos. Tratando-se de aplicações aeronáuticas, o composto grafite-epóxi está entre os mais empregados atualmente (conforme mencionado no item 5.1 desta tese). Tais materiais podem ser confeccionados a partir de matrizes orgânicas, metálicas ou cerâmicas (SÁ, 1989).

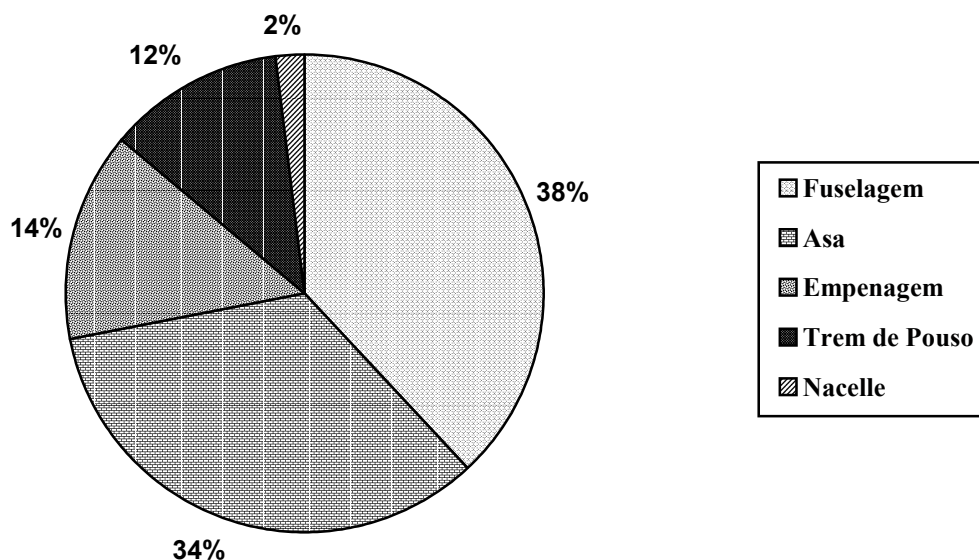


Figura 6.2: Distribuição em peso nas partes da estrutura de uma moderna aeronave

Fonte: GODEFROID, 1993.

O alumínio e suas ligas sempre foram considerados materiais aeronáuticos por excelência. Sua baixa densidade, aliada à boa resistência à propagação de trincas respondem, satisfatoriamente, às solicitações mecânicas reais “enfrentadas” pelas aeronaves quando em voo. Assim, a utilização do alumínio e suas ligas na construção aeronáutica foi crescendo, cada vez mais, até a década de 1970, quando se registraram índices da ordem de 80% em peso de ligas de alumínio na constituição da estrutura de um avião. Nem mesmo o advento do titânio e suas ligas conseguiu diminuir esta posição privilegiada do alumínio, pois na verdade, o titânio¹⁰⁶ veio substituir componentes de aço, principalmente, em estruturas sujeitas a temperaturas elevadas (GODEFROID, 1993). A figura, a seguir, esquematiza a utilização das ligas de alumínio em componentes de uma aeronave.

¹⁰⁶ Há de se ressaltar, porém, que atualmente o titânio e suas ligas têm encontrado crescentes nichos de inserção/aplicação na indústria aeronáutica, além de sua tradicional utilização em estruturas sujeitas a temperaturas elevadas (ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, 2003). Nesse contexto, poder-se-ia citar, por exemplo, o emprego do titânio em determinadas longarinas (estruturas típicas da fuselagem) de reforço do Boeing 777 (CASTELO CHAVES, 2003).

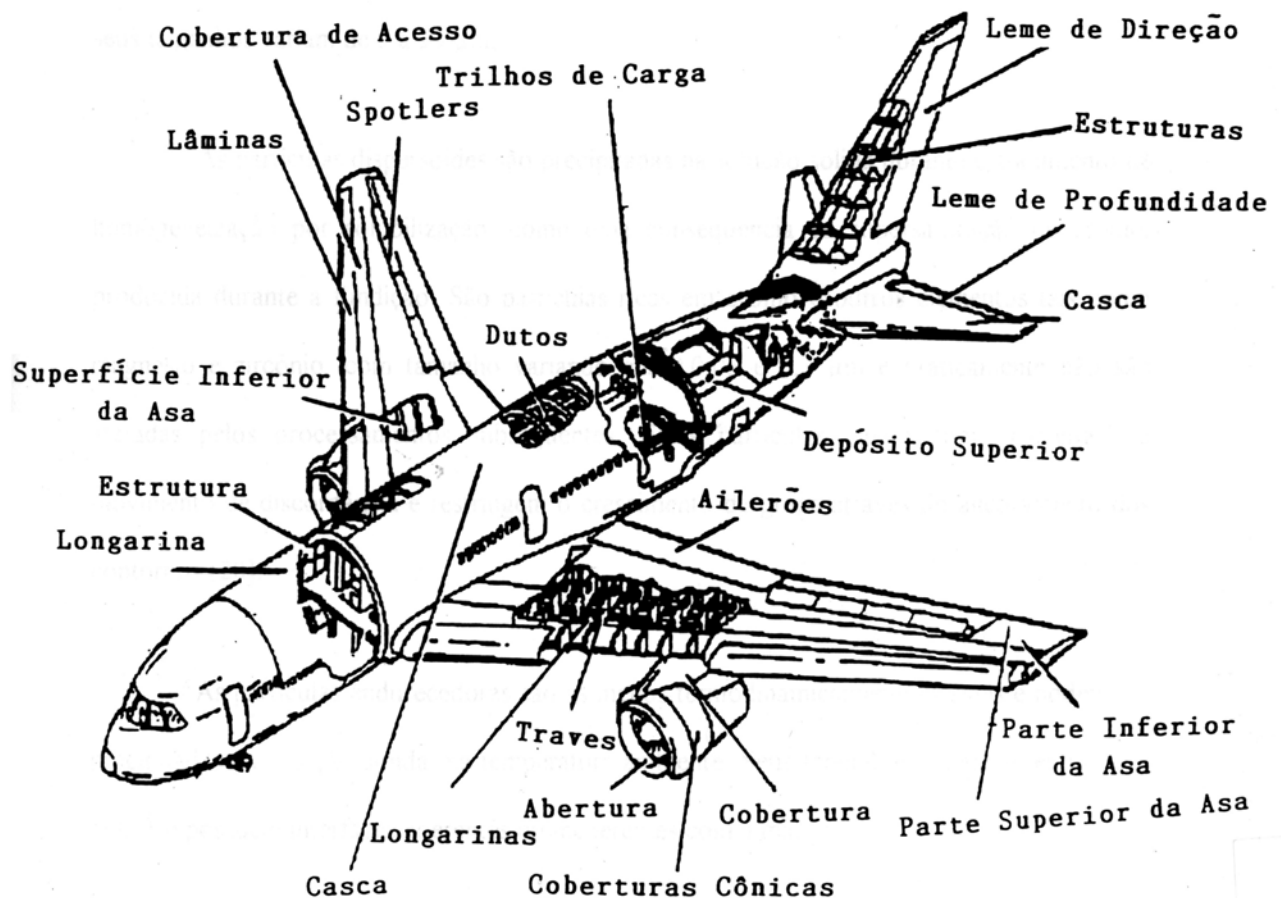


Figura 6.3: Esquemática da aplicabilidade das ligas de alumínio em componentes de uma aeronave

Fonte: MARTINS, 1996.

6.1.2 – Aspectos tecnológicos associados à utilização de ligas do sistema alumínio-lítio na construção de aeronaves

A indústria aeronáutica tem como objetivo promover meios de transporte de passageiros e/ou de carga, de tal maneira a se ter uma relação elevada entre o carregamento e o custo. Este objetivo é o mesmo para qualquer outro meio de transporte, mas no caso específico de aviões os problemas relacionados com a seleção de materiais são intensificados. Levantar um carregamento contra a gravidade e transportá-lo pelo ar consiste num processo bastante complexo e também de custo elevado, de tal forma que os projetos devem ser eficientes e conduzir a uma estrutura leve. Além disto, qualquer falha

em vôo, muito provavelmente, envolverá perdas catastróficas, incluindo a perda de vidas humanas. Desta forma, tem sido grande o esforço por parte da indústria aeronáutica no sentido de desenvolver novos materiais que propiciem redução no peso da aeronave e de boas propriedades de resistência mecânica¹⁰⁷, resistência à corrosão e boa soldabilidade (GODEFROID, 1993). Nesse contexto, cabe mencionar que ligas do sistema alumínio-lítio¹⁰⁸ têm sido alvo de diversas pesquisas. O grande interesse neste material reside na oferta de uma considerável redução no peso total da aeronave aliada a uma excelente resistência estrutural.

Atualmente, diversos componentes aeronáuticos já são confeccionados com tais ligas. As empresas que mais se destacam mundialmente na produção destas ligas de alumínio à base de lítio são (em ordem decrescente): Pechiney/Howmet, Norsk Hydre, Du Pont, Sumimoto Metals, Nippon Steel e Kobe Steel. Cabe ressaltar que as empresas japonesas citadas foram as pioneiras na pesquisa e desenvolvimento de ligas do sistema alumínio-lítio.

Basicamente, são em número de 3 as vantagens tecnológicas advindas do emprego de ligas do sistema alumínio-lítio em uma aeronave: elevada resistência à propagação de trinca¹⁰⁹; rigidez maior¹¹⁰ e densidade reduzida¹¹¹.

¹⁰⁷ Por resistência mecânica, entenda-se resistência ao processo de fadiga metálica. Tal processo ocorre devido à indução de repetidos e variados ciclos de tensões a uma determinada trinca microscópica pré-existente na estrutura de um avião.

¹⁰⁸ As ligas do sistema alumínio-lítio caracterizam-se, em termos de percentagem em peso, da seguinte forma: Alumínio 97-98% e Lítio 2-2,8% (METALURGIA, 1997). Há ainda pequenas adições (ao todo 0,2% em peso) de Cobre, Silício, Ferro, Manganês, Cromo, Zinco, Magnésio e Titânio (METALURGIA, 1997).

¹⁰⁹ A boa resistência à propagação de trincas por fadiga é um importante diferencial das ligas do sistema Al-Li já que processo de fadiga foi responsável por cerca de 2.000 acidentes aeronáuticos nos últimos 50 anos (CTA, 2002). Portanto, o maior emprego de ligas do sistema Al-Li, tende a gerar “economia de vidas”.

¹¹⁰ A rigidez da liga aumenta com a introdução do lítio, pois esse elemento proporciona aumento considerável no módulo de elasticidade.

¹¹¹ De acordo com estudo conduzido por GODEFROID (1993), a densidade do alumínio é reduzida em cerca de 3% para cada porcentagem em peso de adição de lítio. Esta variação pode ser visualizada pela figura, a seguir. Para se ter uma idéia da potencialidade deste sistema, sua utilização em uma aeronave modelo Brasília poderia trazer as seguintes diminuições em peso, por partes: asa-13%, fuselagem-11%, empenagem-13%, o que acarreta uma economia em peso de 12%, ou seja, da ordem de 500 Kg para este modelo (EMBRAER, 2002). Considerando que cada quilo economizado em peso acarreta uma economia de US\$ 2.000/ano (IPCC, 1999), com a diminuição em peso de 500 Kg em um avião ter-se-ia uma economia de US\$ 1.000.000/ano na operação deste avião (EMBRAER, 2002).

Há de se considerar, entretanto, que não há somente aspectos positivos associados ao emprego de ligas do sistema alumínio-lítio na construção de aeronaves. Nesse contexto, as seguintes “desvantagens” devem ser citadas:

- O lítio não ocorre livre na natureza, e, mesmo combinado, está longe de ser abundante. Na crosta terrestre encontra-se bastante distribuído, sendo-lhe atribuída uma percentagem da ordem de 0,004% (em peso) (LAVERNA e GRANT, 1987). A extração de uma tonelada de Lítio envolve a remoção de cerca de 1.200 toneladas de rocha (PAGE e CREASY, 1975). Trata-se, portanto, de um processo extremamente impactante, considerando a perspectiva ambiental;
- A extração e a produção do lítio requerem elevados consumos energéticos. Essa energia supera a necessária para a extração do ferro, do alumínio e mesmo do titânio (que, também, é um metal bastante raro). Em cenário de expansão na produção de ligas de alumínio-lítio, há certa tendência para ocorrência de pressão, não-desprezível, sobre o setor de geração elétrica no Brasil;
- É elevado o custo de fabricação de ligas de alumínio-lítio, ao menos, com a tecnologia atual. Pode haver reflexos desse elevado custo no próprio custo da passagem aérea;
- A produção de ligas do sistema Al-Li gera danosos resíduos ao meio ambiente. Os aditivos químicos e os lubrificantes utilizados são compostos químicos pouco solúveis e extremamente tóxicos, pois contêm excessiva quantidade de metais pesados. Mesmo empresas com domínio da tecnologia produtiva, como a Sumimoto Metals ou a Kobe Steel (ambas indústrias japonesas), ainda não resolveram satisfatoriamente o problema da geração de resíduos.

Neste trabalho, contudo, com base no atual porte do mercado internacional de materiais aeronáuticos de baixa densidade¹¹², adotou-se a premissa de que as vantagens em relação ao amplo emprego de ligas do sistema alumínio-lítio pela indústria aeronáutica superariam as desvantagens correlatas. Ou seja, os agentes atuantes no setor aéreo brasileiro considerariam em cenário de 10 a 20 anos, que a provável redução do consumo energético e

¹¹² De acordo com o CETEM (2003), o mercado mundial de materiais compósitos (apenas os de matriz orgânica) para aplicação aeronáutica movimentou, em 2000, cerca de US\$ 3,5 bilhões.

das emissões de CO₂ pela atividade aérea no Brasil devido ao emprego de tais ligas¹¹³, seriam mais relevantes do que os aspectos negativos mencionados.

6.1.3 – Redução do consumo energético e das emissões de CO₂ devido ao emprego de materiais de baixa densidade na construção de aeronaves

Além das ligas metálicas do sistema alumínio-lítio, urge mencionar, no contexto de redução de densidade (e conseqüente diminuição no peso total da aeronave¹¹⁴), a crescente utilização de materiais conjugados - também chamados de materiais compósitos ou compostos, onde o carbono é constituinte fundamental - na confecção de determinadas estruturas das modernas aeronaves (tais como divisórias de carga, interiores, carenagem de união entre asa e fuselagem, painéis de controle e flaps de direção, confeccionados a partir do composto epóxi-grafite, por exemplo) (GODEFROID, 1993; QUIST, NARAYANAN e WINGERT, 1994; CARVALHO, 2003).

Com uma boa resposta ao binômio resistência-leveza os plásticos reforçados (tais como os do sistema epóxi, a fibra de vidro e a aramida [Kevlar]), de fato, têm encontrado crescente inserção na indústria aeronáutica mundial¹¹⁵ (CARVALHO, 2003). Além destes materiais, urge mencionar, nesse contexto, as colméias (*honeycombs*) e espumas estruturais, que também tem propiciado elevada resistência mecânica e baixa densidade às novas aeronaves (CARVALHO, 2003).

Devido à diminuição no peso, conforme mencionado, uma aeronave pode, com o mesmo consumo de combustíveis cumprir trajetos mais longos. Com isto, melhora-se o rendimento da aeronave e aumenta-se, assim, a eficiência energética do modal.

Fato é que, cada vez mais, a indústria aeronáutica mundial tem priorizado a construção de aeronaves que operem gastando o mínimo possível de combustível (a partir do emprego de estruturas mais leves) (JOHNSON, HENSHAW e McINNES, 1992; SHÄFER e VICTOR, 1998; IPCC, 1999). Ou seja, a redução no Peso Livre¹¹⁶ da aeronave

¹¹³ Além da mencionada questão do aumento na segurança operacional dos vôos.

¹¹⁴ Estabelecendo, assim, maiores autonomias de vôo.

¹¹⁵ Os plásticos reforçados têm sido freqüentemente utilizados na construção de helicópteros, em especial, peças denominadas *starflex*, que ligam as pás ao eixo da turbina (CARVALHO, 2003).

¹¹⁶ O peso livre da aeronave, também chamado de peso operacional vazio, corresponde ao peso da aeronave (em toneladas) não abastecida de combustível e sem ocupantes (tripulação e/ou passageiros) (COSTA, 2003).

(sem perda de resistência mecânica ou redução na integridade estrutural) tende a ser o principal desafio dessa indústria nas próximas décadas.

Mesmo quando a aeronave se acha em operação normal, seu peso continua merecendo atenção em cada voo. Nos voos de longo alcance realizados diariamente por uma companhia aérea, cada quilo de peso desnecessário pode equivaler a um consumo de até 200 litros de querosene de aviação (QAV) ao fim de um ano de operação. No mesmo período, um minúsculo sachê de açúcar exigiria cerca de 15 litros e um simples par de óculos esquecidos a bordo, outros 50 litros (BOEING, 2003; KLOTZEL, 2003). Tanta sensibilidade denota a importância da redução no peso das aeronaves para a própria sobrevivência econômica das companhias aéreas. Afinal, conforme analisado no item 5.2 do presente Estudo, o (elevado) custo relativo ao abastecimento das aeronaves (com gasolina ou QAV) tem se constituído em um dos principais ingredientes para o estabelecimento de crises financeiras nas grandes companhias de aviação do Brasil e do mundo.

Estendendo-se a “filosofia” de busca pela redução no peso da aeronave para o transporte aéreo como um todo, brasileiro e mundial, ter-se-ia, pelo amplo emprego de ligas metálicas de baixa densidade (em especial, as do sistema alumínio-lítio) e materiais compósitos (tais como o epóxi-grafite) um menor consumo de QAV e, conseqüentemente, menores níveis de emissão de CO₂.

Neste contexto, e considerando-se a vital importância do custo do QAV para as companhias aéreas brasileiras, estima-se que venha a ocorrer (em nível nacional e mundial) uma ampliação da utilização de materiais leves (tais como ligas metálicas à base de alumínio-lítio e compostos de epóxi-grafite) pela indústria aeronáutica brasileira (Embraer, Helibrás e Neiva).

Em vista da típica interconectividade do setor mundial de aviação e o fato de que a grande maioria das aeronaves operantes no transporte aéreo brasileiro (cerca de 95%) é de origem estrangeira (GEIPOT, 2001), torna-se importante ressaltar que a estratégia aqui proposta só terá viabilidade caso a indústria aeronáutica mundial, estimulada pela vantagem

da redução no peso total da aeronave¹¹⁷ adote, cada vez mais, materiais de baixa densidade na construção de aeronaves.

A dependência do consumo de combustível por uma aeronave de passageiros pode ser expressa, de acordo com estudo realizado por GREENE (1995), através da seguinte equação:

$$\frac{\{[\text{combustível consumido/assentos}] \times [\text{Km}]\}}{\{[\text{consumo específico da aeronave (Kg consumido por hora)}] \times [\text{peso livre total da aeronave (Kg)}]\}} / \{[\text{assentos}] \times [\text{velocidade média do v\~{o} (Km/hora)}] \times [\text{fator de carga}]\}$$

(Equação 6.1)

Nota: Equação 6.1 foi modelada para combustível fóssil (QAV ou gasolina de aviação).

De acordo com a equação anterior, uma redução no peso livre da aeronave induz a uma diminuição diretamente proporcional no consumo de combustível. O peso livre de uma aeronave operante no transporte aéreo brasileiro é de cerca de 70 toneladas (DAC, 2003). E, considerando-se análise do IPCC que aponta que a redução no peso livre de uma aeronave pode chegar a 2.000 Kg devido ao amplo emprego de materiais de baixa densidade (IPCC, 1999), observa-se que, em termos percentuais, essa redução no peso livre (de uma aeronave operante no Brasil) é da ordem de 2,86%. Estima-se que essa redução no peso livre de uma aeronave seja, direta e exatamente proporcional, à diminuição conseqüente no consumo de combustível, ou seja, da ordem de 2,86% ao ano. Nesse contexto, a redução nas emissões de CO₂, pelo amplo emprego de materiais de baixa densidade (tais como ligas metálicas leves especiais e materiais compósitos) por parte da indústria aeronáutica brasileira e mundial, seria proporcional e associada à diminuição do consumo de combustível (ou seja, 2,8% ao ano em relação à Projeção Referencial/Emissões). Tal redução, considerando o relativamente amadurecido estágio

¹¹⁷ E pelas vantagens adicionais ou conseqüentes, tais como aumento de eficiência energética, redução do custo operacional, aumento da segurança operacional (ligas aeronáuticas leves possuem, em geral, melhor resistência à propagação de trincas iniciadoras do processo de fadiga), redução no consumo de combustível e redução das emissões de CO₂.

atual de desenvolvimento de ligas leves para aviação, ocorreria, por premissa, a partir de 2015¹¹⁸.

Cabe ressaltar que materiais de baixa densidade já vêm sendo amplamente utilizados pela indústria aeronáutica. A estratégia aqui em foco, no entanto, fundamenta-se no entendimento de que há ainda um vasto potencial para o emprego desses materiais na construção de aeronaves. De acordo com a EMBRAER (2003), na construção de um moderno Boeing 777 emprega-se cerca de 12% em peso de materiais de baixa densidade (ligas leves de alumínio e materiais compostos, fundamentalmente). Estima-se que este percentual, com a evolução da tecnologia dos novos materiais, possa, por exemplo, atingir o patamar de 15-20%. Esta redução percentual traduzir-se-ia, inevitavelmente, em relevante economia de combustível e conseqüentemente, de recursos.

Portanto, o que se propõe neste trabalho é a expansão da (já ampla) utilização de materiais leves pela indústria aeronáutica brasileira e mundial. Cabe mencionar, também, que o foco em ligas do sistema alumínio-lítio se deu, tão somente, como estudo de caso. De fato, há de considerar que existem (em pesquisa, desenvolvimento ou mesmo aplicação) diversas outras ligas metálicas leves capazes de proporcionar redução no peso de uma aeronave. Nesse contexto, cabe citar a liga 2024 do sistema alumínio-cobre-manganês¹¹⁹ e as ligas do sistema alumínio-lítio-cobre-manganês –zircônio.

6.2 – Introdução de Combustíveis Alternativos

Os acelerados e incontidos aumentos dos preços do petróleo, iniciados em 1973, geraram uma nova consciência mundial a respeito da produção e consumo de energia, especialmente quando originária de fontes não renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis. O ano de 1973 representou um verdadeiro marco na história energética do Planeta, pois o homem passou a valorizar as energias, posicionando-as em destaque com relação aos

¹¹⁸ De acordo com SÁ (1989), será a partir da segunda década do século XXI que o mercado de novos materiais (onde se incluem os modernos materiais de baixa densidade) para a indústria aeronáutica ultrapassará o mercado relativo aos materiais tradicionais empregados por este segmento da indústria mundial.

¹¹⁹ No sistema de classificação proposto pela *American Aluminium Association*, o primeiro dígito indica o principal elemento constituinte (no caso da liga 2024, o “2” representa o alumínio). Modificações da liga original e limites de impurezas são indicados através do segundo dígito. Os dois últimos dígitos indicam a porcentagem mínima de alumínio

bens de sua convivência. No mundo todo, muitos esforços foram dedicados à superação da crise, os quais incidiram, basicamente, em dois grupos de ações: (a) Conservação de energia; (b) Usos de fontes alternativas de energia. No contexto desta nova ordem econômica mundial emergem as primeiras pesquisas voltadas a combustíveis alternativos ao QAV e à gasolina de aviação (tal como o hidrogênio líquido).

O Brasil, na qualidade de “paraíso da biomassa”, implementou o Programa Nacional do Alcool (PNA) para abastecer extensivamente com o etanol veículos movidos à gasolina. A motivação original do direcionamento do álcool para fins carburantes no Brasil foi a crise do mercado internacional do açúcar, que coincidentemente aconteceu quando o cenário era de escassez de petróleo e já se sabia de experiências antigas da qualidade do etanol como combustível de motores de ignição. Entre alguns acertos no meio de vários erros, o PNA apresentou um saldo positivo, pois as metas, apesar de muito ambiciosas, foram atingidas, demonstrando, sobretudo, o valor das potencialidades da biomassa no Brasil. Lamentavelmente, o álcool é um combustível de utilização restrita, pois se destina a veículos leves e de passeio, e ademais, houve uma exagerada invasão da fronteira agrícola alimentar pelos superextensivos canaviais. Nesse contexto, iniciam-se, no Brasil, pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de combustíveis alternativos ao QAV e à gasolina de aviação.

6.2.1 – Querosene vegetal

6.2.1.1 – Primórdios do projeto do querosene vegetal no Brasil

No intuito de estudar, pesquisar e desenvolver novos processos, com base na biomassa, foi criado, em 1977, na Universidade Federal do Ceará, o Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia, congregando o interesse de vários pesquisadores vocacionados para biotecnologia, disponíveis na instituição. Este movimento, além de oportuno, foi por demais importante, pois gerou e fez gerar uma moderna e sólida consciência no meio acadêmico local e nacional, sobre o uso da biomassa para fins energéticos e alimentar.

O avanço das atividades e pesquisas do Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia, da Universidade Federal do Ceará (UFCE), acabou por revelar uma importante

descoberta: Um novo combustível de óleos vegetais e com propriedades semelhantes ao óleo diesel mineral. Assim como no caso do álcool carburante, o Brasil assume o pioneirismo na pesquisa e desenvolvimento inicial do “Diesel Vegetal”, ou como foi cunhado à época, Prodiesel, um sucedâneo vegetal para o óleo diesel do petróleo. O “pai” da descoberta é o emérito professor Expedito José de Sá Parente, da UFCE.

Quimicamente, o Prodiesel é constituído por uma mistura de ésteres lineares, obtidos a partir de óleos vegetais, através de uma reação denominada de transesterificação, onde o metanol (ou etanol) é o coadjunto do processo.

O lançamento do Prodiesel, no dia 30 de outubro de 1980, ocorreu somente após terem sido feitos exaustivos testes de aplicabilidade realizados ao longo dos anos de 1979 e 1980. Participaram dos ensaios, de forma isolada e independente, as seguintes instituições: NUTEC – Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Departamento de Transporte da COELCE – Companhia de Eletricidade do Ceará e CTA – Centro Técnico Aeroespacial do Ministério da Aeronáutica.

Ao longo do segundo semestre de 1981 e durante quase todo o ano de 1982 foram remetidos para os fabricantes de motores diesel cerca de 300 mil litros de PRODIESEL, em cotas, destinadas a todos os fabricantes nacionais de motores e veículos do ciclo diesel.

Para agilizar as fabricações sistemáticas do novo combustível, foi criada uma empresa que se estabeleceu em Fortaleza, cuja razão social era PROERG – Produtora de Sistemas Energéticos Ltda., que implantou uma unidade piloto industrial com a capacidade produtiva de 200 litros por hora de diesel vegetal. A referida planta piloto foi financiada pela FINEP – Financiadora Nacional de Estudos e Projetos e recebeu apoio do Ministério da Aeronáutica.

Diversificadas matérias primas foram empregadas na produção do diesel vegetal, onde se incluem os óleos de soja, de babaçu, de amendoim, de algodão, de colza, de girassol, de dendê, entre vários outros.

Um fato curioso e pitoresco que merece destaque foi a produção de diesel vegetal a partir de óleo de semente de maracujá, por encomenda da AGROLUSA – Agroindustrial Luiz Guimarães S.A., que produzia grandes quantidades de suco de maracujá. Foi estabelecido um programa de produção de 1.000 litros por semana durante 6 meses. O Prodiesel de maracujá movimentou a frota daquela empresa durante todo um semestre.

Com o fim das experiências, foi sugerido redirecionar o óleo de maracujá para a indústria de cosméticos, cujos preços eram mais compensadores (FACHETTI et al., 2000).

Uma outra experiência interessante se deveu ao processamento de uma partida de 200 litros de óleo de peixe proveniente da Bélgica, matéria prima enviada pela DeSmet, provavelmente na época, a maior e mais famosa empresa especializada no fornecimento de equipamentos para extração de óleos vegetais. Como a matéria prima era originária de peixes, foi produzido assim, de forma inédita, óleo diesel animal, o qual fez funcionar muito bem um motor diesel (NETO, 1999).

Nesse contexto, de um acordo realizado entre o Professor Expedito José de Sá (inventor do óleo diesel vegetal) e o Tenente Brigadeiro Délio Jardim de Matos (em nome do Ministério da Aeronáutica), foi desenvolvido na PROERG, o Querosene Vegetal de Aviação, um sucedâneo vegetal do QAV derivado do petróleo (origem mineral). Esse acordo acabou por tornar-se o principal projeto de pesquisas da PROERG e, sustentáculo financeiro para o desenvolvimento do Prodiesel, dentre outros projetos de pesquisa na área de combustíveis vegetais. O QAV vegetal recebeu à época (1982) a designação de Prosene.

No projeto do Prosene, técnicos da PROERG e do CTA – Centro Tecnológico Aeroespacial, trabalharam conjuntamente na construção de uma usina piloto cuja capacidade era de 1.000 litros/dia de PROSENE.

No final de 1982, o querosene vegetal para aviões a jato estava pronto. Após exaustivos testes em turbinas em bancada, o combustível foi aprovado e homologado pelo CTA – Centro Técnico Aeroespacial, e, no dia 23 de outubro de 1983, Dia do Aviador, uma aeronave nacional, turbo-hélice, de marca “Bandeirante”, abastecida com o Prosene¹²⁰, decolou de São José dos Campos para sobrevoar Brasília. A patente homologada do novo combustível foi doada para o Ministério da Aeronáutica, valendo para o autor (Professor Expedito José de Sá), por Portaria Ministerial e Decreto Presidencial, uma honrosa comenda, a Medalha do Mérito Aeronáutico.

¹²⁰ O inédito vôo da aeronave Bandeirante abastecida com o Prosene ocorreu sob circunstância de grande evento científico, político e econômico. Diversas personalidades estiveram presentes: o Sr. Aureliano Chaves (Presidente da República em exercício e Presidente da Comissão Nacional de Energia), o Sr. Cesar Cals de Oliveira (Ministro das Minas e Energia), o Sr. Délio Jardim de Matos (Ministro da Aeronáutica), Senador Alberto Tavares Silva, Diretores de empresas fabricantes de motores diesel e de montadoras de veículos (Mercedes Benz, Saab-Scania, MWM, Volkswagen, Ford, General Motors, etc.), além de várias outras figuras destacadas no mundo político, econômico e financeiro do Brasil.

Os dados analíticos gerados a partir do citado Experimento da aeronave “Bandeirante”, em 1983, comprovaram que o Prosene possuía viscosidade, vapor de pressão e valor calórico muito semelhante QAV mineral (CTA, 2002).

Comparando o Prosene com o querosene de aviação, os técnicos do CTA observaram à época, ligeira perda de potência da aeronave quando do emprego do combustível vegetal (da ordem de 10%, e devido ao fato de o Prosene ser um combustível de menor conteúdo energético que o QAV). Um outro problema tecnológico observado foi quanto à manutenção da estabilidade térmica do Prosene¹²¹ (CTA, 2002). Este problema, porém, segundo técnicos do CTA, já havia sido superado antes da paralisação do projeto (CTA, 2002).

Findo o compromisso com o Ministério da Aeronáutica, com a missão cumprida com sucesso a propósito do desenvolvimento do Prosene, todo o acervo de equipamentos da PROERG foi transferido para a sede do CTA em São José dos Campos, São Paulo.

Devido basicamente à estabilização dos preços do petróleo, as atividades de produção experimental do Prosene encerraram-se em meados de 1984. Atualmente, em vista da crescente preocupação por parte da comunidade científica mundial com relação à intensificação antropogênica do Efeito Estufa, o Brasil ressentiu-se pela não continuidade do Projeto Prosene. Afinal, a redução nas emissões de poluentes pelo uso deste combustível alternativo face ao QAV é relevante, conforme é discutido no subitem a seguir.

6.2.1.2 - Aspectos tecnológicos, energéticos, ambientais, econômicos e sociais associados à retomada do projeto

Aspectos Tecnológicos

Um dos pontos básicos a que deve atender um combustível para turbina (mineral ou vegetal), relaciona-se ao fato de que ele deve atender a certos requisitos que garantam que ele se mantenha como um líquido homogêneo nos tanques do avião e no sistema de combustível. Para isso, deve apresentar baixa pressão de vapor, mínima tendência à

¹²¹ Cabe ressaltar que um dos principais requisitos tecnológicos de um combustível aeronáutico é a manutenção de sua estabilidade térmica. As próprias condições operacionais de uma aeronave em voo induzem a um amplo gradiente térmico e, por razões de segurança, a temperatura do combustível aeronáutico não pode (considerando o setor de aviação civil), ultrapassar o valor limite de 260°C (PETROBRAS, 2003).

formação de depósitos, baixo ponto de congelamento e ser isento de água. Devido à larga faixa de pressões e temperatura a que está sujeito, é indispensável evitar a formação de depósitos sólidos de gelo ou parafina a baixas temperaturas, bem como garantir que não haja produção de gases devido aos efeitos combinados de temperatura elevada e baixa pressão.

Um dos principais requisitos que deve satisfazer um combustível para turbina é não possuir tendência a desprender gás ou vapor no sistema de combustível. A não ser que seja evitado por controles adequados, o desprendimento de gás poderá causar tamponamento por vapor e perdas por evaporação. De um modo geral, um combustível aeronáutico deve possuir ainda as seguintes características (PETROBRAS, 2003):

- Máxima eficiência de combustão;
- Alto poder calorífico;
- Mínima tendência à formação de depósitos;
- Ausência de corrosividade;
- Características de combustão adequadas;
- Baixo ponto de congelamento;
- Baixa pressão de vapor;
- Máxima estabilidade térmica.

A despeito de muito incipientes, os dados gerados a partir do experimento do Prosene no avião “Bandeirante”, em 1983, forneceram indícios de que o querosene vegetal de aviação atendia às seguintes características requeridas por combustíveis aeronáuticos: ausência de corrosividade, mínima tendência à formação de depósitos, baixa pressão de vapor, características adequadas para combustão e alto poder calorífico (comparável ao QAV mineral). Já as características de máxima eficiência de combustão e ponto de congelamento (considerado baixo) não foram satisfatoriamente atendidas. Estima-se que a proposta de retomada do projeto do QAV Vegetal (ou Prosene) implique na superação dessas barreiras tecnológicas.

Aspectos Energéticos

De acordo com pesquisadores do CTA, os valores para conteúdo energético (MJ/Kg) e densidade energética (10^3MJ/m^3) do Prosene são cerca de 10-15% inferiores ao do QAV Mineral (CTA, 2002). De posse dessa informação, elaborou-se a tabela apresentada, a seguir. Nesse contexto, urge mencionar que de acordo com IPCC (1999), menores valores para energia específica e densidade energética, relacionados a combustíveis aeronáuticos alternativos implicam, necessariamente, em *designs* de novas aeronaves com maiores tanques de combustível (para compensar a perda de rendimento energético do querosene vegetal em relação ao mineral).

Tabela 6.1: Comparação entre os requisitos energéticos do QAV mineral e do Prosene

	Conteúdo Energético (MJ/Kg)	Densidade Energética (10^3MJ/m^3)
QAV mineral (Típico)	43,2	33,8
Prosene	36,7 – 38,8	28,7 – 30,4

Fonte: Elaboração própria a partir de CTA, 2002.

Atualmente, os países que utilizam o Biodiesel como combustível carburante adotam, em geral, as seguintes proporções: 90% (Diesel) – 10% (Biodiesel) ou 80% (Diesel) – 20% (Biodiesel) (FACHETTI et al., 2000). Para o caso do emprego do Prosene em turbinas de avião, sugere-se a possibilidade da adoção de proporções idênticas às do Biodiesel (em relação ao Diesel). Assim, no caso de novas aeronaves equipadas com tanques de combustíveis de tamanho “pouco aumentado”, o ideal seria a proporção 90% QAV – 10% Prosene. Já no caso de nova aeronave equipada com tanque de combustível de tamanho “muito aumentado”, o ideal seria a proporção 80% QAV – 20% Prosene.

Aspectos Ambientais

As duas próximas tabelas ilustram os aspectos ambientais observados quando do experimento do avião “Bandeirante” com o combustível Prosene em 1983. Cabe mencionar que os dados apresentados nas duas tabelas, a seguir, foram extraídos do citado vôo com o

avião Bandeirante e com base na hipótese de semelhança com o caso da substituição parcial do diesel pelo Biodiesel (para veículos automotivos).

Tabela 6.2: Emissões do Prosene face ao QAV

Poluente	Aumento / Redução	Percentual (%)
CO ₂	Redução	78
CO	Redução	46
Material Particulado	Redução	68
Enxofre	Redução	100%
NO _x	Aumento	13

Fonte: Elaboração própria a partir de CTA, 2002.

Tabela 6.3: Emissões de poluentes das misturas

Poluente	Aumento / Redução	90% QAV – 10% Prosene	80% QAV – 20% Prosene
CO ₂	Redução	7,8	15,6
CO	Redução	4,6	9,2
Material Particulado	Redução	6,8	13,6
Enxofre	Redução	10,0	20,0
NO _x	Redução	1,3	2,6

Fonte: Elaboração própria a partir de CTA, 2002.

Aspectos Econômicos

A evolução dos preços internacionais de diversos óleos vegetais (entre 1985 e 2000) é apresentada pela figura, a seguir. A título de comparação, o preço do QAV também é plotado na referida figura. Observa-se que o preço dos óleos vegetais é, historicamente, consideravelmente superior ao preço do QAV. Claro está que a produção de PROSENE seria, desta forma, inviável economicamente. No entanto, existe um crédito de co-produto, a glicerina. Sem dúvida, a venda de glicerina é importante para viabilizar (na perspectiva econômica) o PROSENE. Neste contexto, cabe mencionar que o mercado brasileiro por glicerina gira em torno de 20.000 toneladas (2002) e que uma expansão na oferta, em princípio, não seria necessária (NETO, 1999). Afinal, a demanda por glicerina no Brasil, atualmente, é plenamente suprida pela oferta (NETO, 1999).

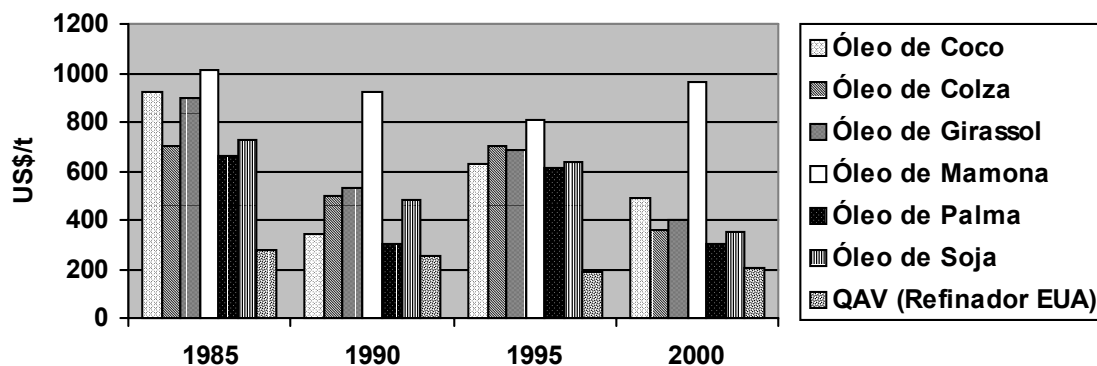


Figura 6.4: Preço médio das exportações mundiais de óleos vegetais x preço médio internacional do QAV (em US\$/tonelada)

Fonte: FACHETTI et al., 2000.

Aspectos Sociais

De acordo com o CTA, os agronegócios dos óleos vegetais à base de coco, colza, girassol, mamona, palma e soja são fortes indutores da geração de postos de trabalho no campo (CTA, 2002). Assim, a pesquisa, o desenvolvimento e, principalmente, a produção do Prosene, tende a mitigar (mesmo que minimamente) um dos grandes “gargalos” para o equitativo desenvolvimento econômico e social do Brasil: o desemprego.

Cabe ressaltar, também, que a agricultura das espécies vegetais citadas pode ser realizada através da utilização de terras de baixo valor econômico. Afinal, tais vegetais são muito resistentes ao calor e a baixa quantidade de água. Dessa forma, o extrativismo das espécies vegetais necessárias à produção de óleos vegetais é acessível para agricultores de baixa renda.

6.2.1.3 – O emprego do querosene vegetal de aviação (Prosene) como estratégia de mitigação de emissões de CO₂

Assumindo a hipótese de superação de entraves tecnológicos (tais como, a perda de potência das aeronaves, uma eventual dificuldade na manutenção da estabilidade térmica ou os preços, historicamente, elevados dos óleos vegetais), propõe-se, neste trabalho, que o Brasil retome, o quanto antes, o projeto do Prosene. Afinal, além da vantagem ambiental

citada, há, também, vantagens econômicas (tais como a possibilidade de o Brasil exportar QAV) e sociais (tais como o aumento da oferta de empregos no campo devido aos agronegócios de óleos vegetais) associadas ao emprego do querosene vegetal de aviação. A retomada deste projeto pode ser acelerada pela atuação conjunta das iniciativas governamental e privada.

Considerando-se, por hipótese, que o Prosene já estivesse plenamente disponível no mercado e sendo adotado por todas as aeronaves com reação à jato operantes no Brasil, em 2001, a “economia” de QAV seria da ordem de $2885,33 \times 10^3 \text{m}^3$ no caso de toda a frota aérea utilizar a proporção 80% QAV/20% Prosene. Também, por hipótese, se esses 20% de QAV “economizados” representassem, exatamente, o volume das importações desse derivado¹²², a economia anual de divisas, para o Brasil, seria da ordem de US\$ 588 milhões, adotando-se como referência preços do Golfo do México, de US\$ 204/m³ de QAV (PETROBRAS, 2002). Observa-se, portanto, a grande potencialidade de economia de energia fóssil e de divisas, pelo emprego do Prosene, no transporte aéreo brasileiro.

Estima-se, baseando-se em entrevistas realizadas junto ao Centro Técnico Aeroespacial (CTA, 2002), que o Prosene possa estar plenamente desenvolvido em 2013 (para utilização em grandes jatos comerciais), e que em 2015 toda a frota aérea brasileira já estaria adotando o referido combustível vegetal. Estima-se que até 2015 tenha sido eliminado um dos principais obstáculos para o avanço da utilização de combustíveis vegetais aeronáuticos, qual seja o elevado custo de obtenção/produção dos óleos vegetais (matérias-primas para a elaboração do Prosene). Este obstáculo pode ser superado através, por exemplo, de subsídios governamentais ou linhas de financiamento internacionais voltadas a programas direcionados a mitigação da emissão de gases de Efeito Estufa. Nesse contexto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo poderia auxiliar na viabilização econômica do emprego de combustíveis vegetais no transporte aéreo brasileiro.

Baseando-se nos percentuais de 7,8% e 15,6% (apresentados na Tabela 6.3) e adotando-os como premissa, estima-se que a estratégia em análise possa induzir a uma redução nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro da ordem de 7,8% ao ano (em

¹²² O QAV precisa ser importado, já que não há a produção nacional suficiente para satisfazer a demanda. A diferença entre a demanda e a oferta saltou de 500 mil m³, em 1995, para 1,2 milhão de m³ em 2002. Em 1999 foram consumidos 4,7 milhões de m³ de QAV, enquanto a produção atingiu 3,7 milhões de m³. O consumo brasileiro equivale a pouco mais da metade do verificado na América Latina (GAZETA MERCANTIL, 2002).

relação à Projeção Referencial/Emissões, e no caso de a mistura empregada ser 90% QAV e 10% Prosene) a 15,6% ano (em relação à Projeção Referencial/Emissões e no caso de a mistura empregada ser 80% QAV e 20% Prosene).

Entretanto, intui-se que a mistura 80% QAV - 20% Prosene encontre muitas dificuldades para efetiva inserção no mercado de combustíveis aeronáuticos. Afinal, há de se considerar toda uma possível resistência à entrada do Prosene neste mercado gerada pelo setor petrolífero. Atualmente, esse é o tipo de resistência que vem enfrentando o Biodiesel. A despeito de a mistura 90% Diesel - 10% Biodiesel já estar encontrando boa aceitação no mercado europeu, no Brasil uma proposta (do meio acadêmico) de mistura 98% - 2% Biodiesel tem encontrado, no cenário atual, resistência por parte dos agentes atuantes no mercado do óleo diesel (RIBEIRO, 2003).

Nesse contexto, estima-se que apenas a mistura 90% QAV - 10% Prosene irá encontrar real inserção no mercado de combustíveis para aviação. Mesmo assim, tal inserção só iria vigorar a partir de 2018, segundo previsão do CTA (2002). Nesse contexto, a redução nas emissões de CO₂ (devido à atividade aérea no Brasil) gerada pela introdução da estratégia em questão, seria de 7,8% ao ano (a partir de 2018 e em relação à Projeção Referencial).

No contexto da estratégia para mitigação de emissões de CO₂ em questão, admite-se a necessidade de estudos complementares para fins de uma maior plausibilidade a respeito do emprego do Prosene como combustível aeronáutico. Seria pertinente, por exemplo, avaliar a economicidade dos óleos vegetais (em especial, a questão da área necessária ao plantio das espécies vegetais geradoras desses óleos e os custos associados a tal empreitada) e toda a logística (de distribuição, em especial) necessária à introdução do Prosene na aviação nacional.

6.2.2 – Álcool hidratado

O projeto de um avião a álcool no Brasil nasceu em meados dos anos 80 nas dependências do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), em São José dos Campos (SP), no auge do programa do álcool para automóveis. Com o desaquecimento deste programa, o projeto foi abandonado. Agora, entretanto, com a crescente preocupação mundial em

relação a minimizar os impactos decorrentes da mudança do clima, e com as constantes flutuações do preço internacional da gasolina de aviação, a retomada deste projeto mostra-se oportuna sob o prisma ambiental e econômico.

Nesse contexto, cabe mencionar que a indústria aeronáutica Neiva, sediada em Botucatu (SP), testou com sucesso, em 10 de outubro de 2002, o primeiro avião movido a álcool hidratado no mundo¹²³, o EMB 202 Ipanema (indicado para o lançamento de fertilizantes e defensivos agrícolas), que deve ser homologado e liberado no transcorrer de 2004 (EMBRAER, 2003). Tal projeto já consumiu cerca de US\$ 300 mil em investimentos desde o início de 2002. O teste foi considerado de grande sucesso por técnicos da Embraer e do CTA.

A aeronave EMB 202 Ipanema é equipada com um motor Lycoming, de 300 hp, importado dos EUA. Em Botucatu, na sede da Neiva, com apoio de técnicos da empresa americana Lycoming, o motor sofre pequenas alterações no sistema injetor e é transformado para receber álcool combustível, ou seja, etanol a 96% (EMBRAER, 2003).

Em dezembro de 2003, todo o processo de homologação feito pelo CTA deverá estar concluído. Testes de bancada estão sendo executados e o motor deverá completar 150 horas de voo (EMBRAER, 2003).

O preço final do EMB-202 com motor a álcool ainda não está definido. Porém, a Neiva prevê que o valor de mercado do EMB-202 não atinja US\$ 20 mil (NEIVA, 2003). O motor deve equipar também aviões de testes militares, modelo T-25.

Entre as vantagens do motor a álcool estão o barateamento do custo operacional do avião e os menores índices de poluição ambiental. Apesar de gastar mais combustível que os aviões a gasolina, o menor custo do álcool acaba por compensar essa diferença. As desvantagens¹²⁴ estão relacionadas ao fato de o álcool possuir, em média, cerca de metade ou dois terços da densidade energética do QAV (por unidade de volume). Com isto, há certa necessidade de um maior aporte energético nos processos de decolagem ou

¹²³ Os EUA utilizam com sucesso, desde os anos 80, o álcool anidro como combustível de aviação (RIBEIRO, 2003).

¹²⁴ Neste trabalho, porém, adotou-se a premissa de que, as vantagens decorrentes do emprego do álcool como combustível aeronáutico, encerram aspectos mais relevantes do que as desvantagens. Tal premissa encerra embute um cenário de crescente restrição à emissão de poluentes atmosféricos (em especial, gases de Efeito Estufa). Sob tal circunstância, a redução da poluição lançada à atmosfera, devido ao emprego do álcool como combustível para aviação no Brasil, seria fator decisivo para a viabilização deste energético para este fim específico.

aterrissagem (com isto, a aeronave necessita possuir maiores tanques de acondicionamento de combustível). Este “consumo energético extra”, no entanto, não geraria uma maior emissão de CO₂.

Na perspectiva ambiental, o uso do álcool como combustível traz um fundamental benefício: sua queima não contribui para o aumento do efeito estufa, pois a quantidade de carbono emitida para a atmosfera corresponde à fixada no crescimento da cana-de-açúcar. Assim, admitindo-se que o CO₂ emitido pelo uso do álcool combustível seja contrabalançado pelo processo de fixação do CO₂ necessário para o desenvolvimento da cana-de-açúcar (o que resulta na retirada desse gás da atmosfera), pode-se supor que dentro da parcela devido ao aquecimento direto (uso do álcool enquanto propelente aeronáutico) o CO₂ não seja computado (MACEDO, 1992). Nesse contexto, a substituição da gasolina de aviação pelo álcool hidratado resultaria, em uma primeira análise¹²⁵, em redução de 100% nas emissões de CO₂.

Um típico avião agrícola brasileiro, empregado para lançar fertilizantes e defensivos agrícolas, é equipado com motor aeronáutico a gasolina (com potência da ordem de 300 hp), cujo consumo, em média, situa-se em torno de 70 litros/hora e a versão a álcool, 83 litros/hora (COMCIÊNCIA, 2002). Considerando que, no Brasil, um avião agrícola voa em média 400 horas por safra (ou por ano) (COMCIÊNCIA, 2002), o diferencial, ou seja, a compensação, fica por conta do preço do combustível. Enquanto que a gasolina de aviação custa cerca de US\$ 1,00 o litro, o álcool combustível custa US\$ 0,26 o litro (valores referentes a março de 2002) (COMCIÊNCIA, 2002). Nesse contexto, o custo do abastecimento, por safra, de um avião à gasolina fica em US\$ 28.000 (vinte e oito mil dólares), e o custo, por safra, de um a álcool, US\$ 8.570. Desta forma, por esta estratégia de substituição de fontes energéticas, obtém-se uma economia da ordem de US\$ 19.430 por aeronave agrícola ao ano. Como no Brasil há cerca de 420 aeronaves atuantes nesse setor (dado relativo a 2001) (DAC, 2002), a economia poderia atingir US\$ 8.160.600 ao ano (no

¹²⁵ Não é improvável que a inserção do álcool como combustível aeronáutico se faça em certa proporção de mistura com a gasolina de aviação (por exemplo: 25% gasolina /75% álcool) no intuito de evitar certa perda de potência das aeronaves. Este trabalho, porém, considera a plena substituição por 2 motivos: possibilidade de investigar o máximo potencial de redução nas emissões de CO₂; e considerou-se que a potência das aeronaves à gasolina não é um fator relevante ao ponto de restringir o emprego do álcool como propelente aeronáutico (as vantagens superariam as desvantagens).

caso hipotético de plena substituição da atual frota de aeronaves agrícolas à gasolina de aviação por modelos a álcool hidratado).

Baseando-se em dados do Departamento de Aviação Civil, estima-se que o consumo total de gasolina de aviação, pelo setor agrícola no Brasil, em 2001, tenha sido da ordem de 11.760.000 litros, ou cerca de 8.925,8 tEP (DAC, 2002). Aplicando-se, de forma direta, a metodologia *top down* a estes valores, obtém-se o valor de 26,22 Gg de CO₂ emitidos, o que corresponde à cerca de 0,3% das emissões totais de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil, em 2001.

Admitindo-se, por hipótese, a substituição da gasolina de aviação por álcool hidratado em todas as aeronaves agrícolas atuantes no Brasil e que o percentual de 100% (de redução nas emissões de CO₂) pudesse ser aplicável a toda essa frota, ter-se-ia, portanto, que o abatimento nas emissões de CO₂ devido a tal substituição poderia atingir o porte de 26,22 Gg CO₂, ou seja, 0,3% das emissões totais de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil, em 2001. Isto, é claro, na hipótese “utópica” (em termos energéticos) de que, “de uma hora para outra”, todas as 420 aeronaves atuantes no setor agrícola brasileiro passassem a utilizar, unicamente, o álcool como combustível aeronáutico.

Entretanto, a inserção do álcool hidratado como combustível aeronáutico, de acordo com especialistas da EMBRAER (2003), deve ocorrer de forma relativamente lenta e gradual. Nesse contexto, estima-se que apenas, em 2011¹²⁶, a totalidade da frota nacional de aeronaves agrícolas estaria utilizando o álcool como fonte energética. No referido ano, devido à introdução dessa estratégia de mitigação de emissões de CO₂, será possível detectar, por paralelismo com a hipótese descrita para o ano de 2001, um abatimento da ordem de 0,3% nas emissões totais de CO₂ pela atividade aérea no Brasil. O sucesso da inserção do álcool como combustível de aeronaves agrícolas seria tanto que nos anos seguintes, por hipótese, o álcool hidratado passaria gradualmente a substituir a gasolina de aviação que é empregada em toda a frota brasileira de aeronaves equipadas com motores a pistão¹²⁷ – essa frota, em 2002, respondeu por 3,7% do consumo total de energia pelo setor

¹²⁶ A substituição energética “gasolina x álcool” no setor de aviação agrícola deve ocorrer em período equivalente ao das necessárias adaptações tecnológicas das aeronaves agrícolas atuais. A Embraer estima que este prazo varie entre 8 e 10 anos (EMBRAER, 2003).

¹²⁷ Devido a interconectividade do sistema aéreo global é de se supor que ocorram problemas (de ordem tecnológica e mercadológica) decorrentes do emprego do álcool com combustível para aviação, no Brasil. Tais problemas poderiam ser, notadamente, minimizados pelo direcionamento desta estratégia ao setor de

aéreo brasileiro. Estima-se que a evolução da inserção do álcool no setor aéreo nacional após o ano de 2011 seja responsável pelas seguintes reduções¹²⁸ nas emissões de CO₂ (em relação ao Cenário Referencial): 0,3% em 2011; 0,6% em 2012; 0,9% em 2013; 1,2% em 2014; 1,5% em 2015; 1,8% em 2016; 2,1% em 2017; 2,4% em 2018; 2,7% em 2019; 3% em 2020; 3,3% em 2021; 3,6% em 2022; e 3,7% em 2023.

Além das vantagens econômicas e ambientais citadas, cabe ressaltar que a introdução do álcool hidratado como combustível alternativo à gasolina de aviação no Brasil pode agregar um outro importante benefício à sociedade: a geração de empregos no setor agrícola para o plantio, colheita e manipulação da cana-de-açúcar (matéria-prima para a produção do álcool). E, como se sabe, o acentuado nível de desemprego é uma das questões sociais mais relevantes no Brasil (e em muitos outros países em desenvolvimento). Desta forma, a estratégia aqui sugerida pode auxiliar, mesmo que minimamente, no sentido de que o desenvolvimento econômico brasileiro torne-se mais equitativo e sustentável.

6.2.3 - Hidrogênio líquido

Durante os anos 70, a comunidade científica internacional especulou muito a respeito da utilização do hidrogênio líquido (LH₂) como combustível alternativo ao QAV (HADALLER e MOMENTHY, 1990; KLUG, BAKAN e GAYNOR, 1996; T&E, 1994). A principal força-motriz para tal especulação foi a Primeira Crise do Petróleo em 1973, quando se tornou evidente para o mundo (em especial, para os Estados Unidos) um contexto de crescente dependência da produção de petróleo a partir dos países integrantes da OPEP. Atualmente, previsões do IPCC estimam que apenas entre 2020 e 2050 esse combustível estará disponível no mercado (IPCC, 1999).

A utilização do hidrogênio como combustível aeronáutico implica em algumas vantagens. Porém, há também aspectos negativos. A combustão do hidrogênio líquido

aviação regional do país, onde as aeronaves operantes são, em geral, produzidas no próprio Brasil (pela Embraer).

¹²⁸ As reduções percentuais nas emissões de CO₂ após o ano de 2011, foram estimadas baseando-se no conceito de substituição lenta e gradual da gasolina de aviação pelo álcool hidratado. O percentual máximo de redução dessas emissões, ou seja, 3,7% no ano de 2023, refere-se à hipótese de que o consumo energético das aeronaves equipadas com motores a pistão em 2023 seria o mesmo que o registrado em 2002, ou seja, 3,7% do consumo total de energia pelo setor aéreo brasileiro.

renovável¹²⁹ não gera qualquer emissão de CO₂, o que é, sem dúvida, um aspecto extremamente positivo, sob a ótica de mitigação do Efeito Estufa. Afinal, o dióxido de carbono, pelo porte das emissões, é o principal gás no sentido de agravar o referido fenômeno. Entretanto, essa mesma combustão gera cerca de 2,5 vezes mais vapor d'água (que, assim como o CO₂, é um gás de Efeito Estufa) do que a combustão típica do QAV (IPCC, 1999). Além disso, o aporte de energia primária necessária para a produção (via liquefação das moléculas de H₂) do hidrogênio líquido renovável é considerável e de porte superior ao de combustíveis tradicionais como o QAV (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998).

Um outro aspecto negativo seria o fato de que, considerando o atual nível de evolução tecnológica, há alto risco para ocorrência de explosões no caso de uma aeronave abastecida com LH₂ sofrer um acidente. Mesmo em pequenas proporções, um acidente pode comprometer a segurança do acondicionamento do LH₂ no tanque de combustível.

Estudos comprovam que o LH₂ líquido, em comparação ao QAV, possui conteúdo energético por unidade de massa mais que duas vezes superior (IPCC, 1999) - o que é uma grande vantagem para efeito de propulsão. A tabela, a seguir, compara em termos de parâmetros energéticos, o LH₂ e o QAV.

Tabela 6.4: Características do QAV e do LH₂ líquido

	Densidade (Kg/m ³)	Conteúdo Energético (MJ/Kg)	Densidade Energética (10 ³ MJ/m ³)	Intensidade Energética no Uso Final (MJ/Passageiro-Km)
QAV (Típico)	783	43,2	33,8	0,762
Hidrogênio Líquido	70	119,7	8,4	0,637

Fonte: IPCC, 1999.

Pela tabela anterior, observa-se que a densidade energética do LH₂ líquido é cerca de 25% da densidade energética do QAV. Em princípio, pode-se dizer que isto representa uma desvantagem, afinal, há, neste contexto, uma certa necessidade pela construção de aeronaves com *designs* que contemplem com tanques de combustível muito maiores (em

¹²⁹ Há, basicamente, duas formas de se produzir o hidrogênio líquido: a partir da eletrólise da água (H₂ renovável) e a partir do metano (H₂/CH₄). No contexto deste Trabalho, cabe ressaltar que o H₂/CH₄ não resolve o problema da emissão de dióxido de carbono para o meio ambiente atmosférico. Afinal, o processo de produção e liquefação do H₂/CH₄ é caracterizado por elevados níveis de emissões de carbono (VEDANTHAN e OPPENHEIMER, 1998).

relação a uma aeronave propelida a QAV). Assim, há certa tendência para o aumento no peso total de aeronave e, com isto, perda de eficiência energética. Por outro lado, essa desvantagem pode ser compensada pelo fato de o LH_2 líquido possuir uma densidade (Kg/m^3) 90% inferior a de um QAV típico (conforme sugerem os dados da tabela anterior).

Ainda de acordo com dados da tabela anterior, observa-se que o LH_2 líquido, em comparação ao QAV, apresenta menor intensidade energética no uso final. Esse aspecto traduz-se em conservação de energia. Entretanto, há de se considerar que a energia primária requerida para produzir o LH_2 líquido é superior à relativa ao QAV, conforme é explicitado pela figura, a seguir.

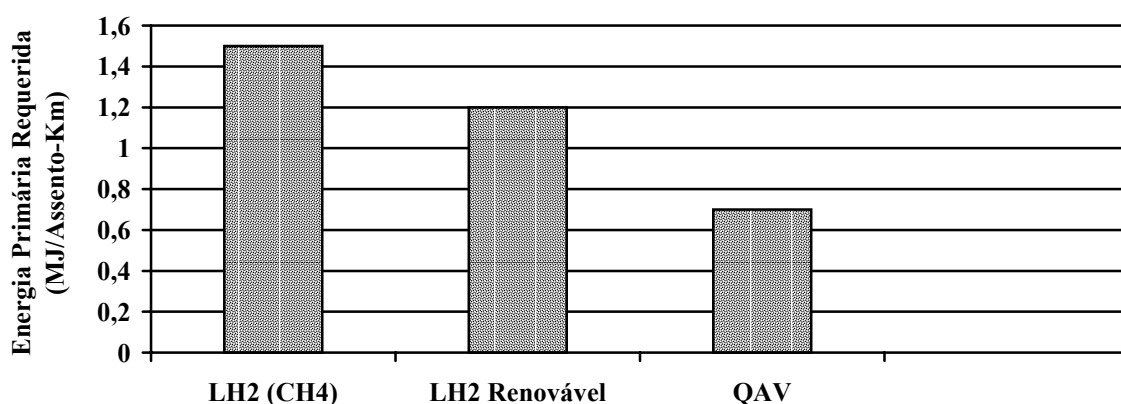


Figura 6.5: Energia primária requerida: LH_2 (produzido a partir do CH_4), LH_2 renovável e QAV (em MJ/Assento-Km)

Fonte: SCHÄFER, 1992.

Pela figura anterior, observa-se que o LH_2 líquido produzido a partir da eletrólise da água (LH_2 renovável) é mais “energicamente eficiente” (em termos de MJ requerido por assento-quilômetro) do que o LH_2 líquido produzido a partir do metano (CH_4). Além disso, o LH_2 gerado a partir do CH_4 não resolve o problema da emissão de carbono para o meio ambiente atmosférico (SCHÄFER, 1992).

Comparando-se o combustível hidrogênio líquido produzido à partir da eletrólise da água (LH_2 renovável) com o QAV típico, há estudos que atestam a grande vantagem em termos da redução de emissões de carbono (IPCC, 1999). Há de se ressaltar, porém, o aspecto negativo de o LH_2 (renovável) requerer grande quantidade de energia em seu processo de liquefação (SCHÄFER, 1992).

Por se tratar de uma interessante estratégia para a redução das emissões de CO₂, sugere-se a aplicação futura do hidrogênio líquido renovável como propelente de aeronaves operantes no transporte aéreo brasileiro. Nesse contexto, ressalta-se que há, no Brasil, campo futuro para o desenvolvimento do hidrogênio líquido. Afinal, o processo de produção desse combustível alternativo pode basear-se na eletrólise da água, e a energia para tal processo poderia, idealmente, provir de usinas hidrelétricas. E, como se sabe, o Brasil é um dos poucos países do mundo onde a geração de energia elétrica é, caracteristicamente, baseada em fonte hídrica¹³⁰ e com bom potencial para expansão. Além de fornecer energia para o processo de eletrólise da água, as usinas hidrelétricas podem, também, gerar energia para a liquefação do hidrogênio líquido. Nesse contexto, não se deve desconsiderar as emissões de gases de Efeito Estufa derivados de reservatórios hidrelétricos (ROSA et al., 2002).

Devido aos atuais entraves tecnológicos inibidores do emprego do hidrogênio líquido como propelente aeronáutico (tais como o alto risco para ocorrência de explosões no caso de uma aeronave abastecida com hidrogênio líquido sofrer acidente), estima-se que a substituição energética “QAV/gasolina de aviação X hidrogênio líquido” irá ocorrer apenas em 2020 e sob a modesta taxa de 2% ao ano (percentual que seria mantido no mínimo até 2023, por hipótese). Nesse contexto, a redução nas emissões de CO₂ devido à estratégia de mitigação em análise seria da ordem de 1% ao ano em relação à Projeção Referencial/Emissões, no período de 2020 a 2023.

Tal estimativa é baseada na premissa de que será no setor de aviação regional que ocorrerá, inicialmente, a substituição do querosene de aviação pelo LH₂. Afinal, desta forma (na aviação regional e não na nacional ou internacional) seriam minimizados possíveis entraves tecnológicos e comerciais relacionados à entrada do LH₂, decorrentes da interconectividade do sistema aéreo global. A premissa em foco fundamenta-se, também, na hipótese de que a Embraer por volta de 2010, passaria a ter interesse, sob a ótica de mercado, na construção de aeronaves com *designs* adequados ao emprego do LH₂ como combustível aeronáutico. Por hipótese, tais aeronaves seriam destinadas ao setor regional e

¹³⁰ Há de se considerar que desde o início do processo reestruturação e desregulamentação do setor elétrico brasileiro, em meados dos anos 90, a geração via fontes térmicas vem se expandindo também (nesse contexto, a expansão do aporte de gás natural tem sido fundamental). Entretanto, em cenário de 20 anos (e bem mais que isso) o Brasil tende a continuar sendo um país cuja geração de energia elétrica se fundamenta em fontes hídricas (SCHAEFFER e SZKLO, 2001).

adquiridas por segmentos de elevado poder aquisitivo e interessados no marketing ambiental e tecnológico associado à utilização de uma aeronave propelida à LH₂.

6.3 – Introdução de Sistema Amplo e Integrado de Controle de Tráfego Aéreo

O Brasil, baseado no sucesso do sistema americano ATFM (*Air Traffic Flow Management*), vêm desenvolvendo, desde 1996, o sistema de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo, o GFTA, que através do emprego de métodos computacionais avançados de tratamento de informações orienta com grande precisão todas as operações aeronáuticas realizadas no Brasil, induzindo assim a uma otimização do uso do QAV e da gasolina de aviação. Nesse sentido, um aspecto importante do GFTA é a geração de dados relativos à altitude ideal de vôo (sob o prisma da otimização do consumo de combustível).

Fundamentalmente, a iniciativa de desenvolver o GFTA se justifica pela redução dos tempos de percurso e permanência das aeronaves em terra e pela economia de combustível que, até 2008, de acordo com o Ministério da Aeronáutica, será da ordem de 10% ao ano, ou cerca de 3,0 milhões de litros de QAV (aproximadamente 24.000 viagens Rio de Janeiro – Paris) (FILHO, JÚDICE e QUINTAS, 1996). Tal estimativa baseou-se na experiência dos EUA (com o ATFM) e de alguns países da Europa na implementação de sistemas amplos e integrados de controle de tráfego aéreo e nas frequências e distâncias voadas no Brasil. Além da economia de combustível, e da conseqüente redução nas emissões de CO₂, o GFTA possui outros objetivos, tais como a minimização de atrasos, a redução do tempo de espera e o aumento da segurança dos vôos.

No Brasil, o “laboratório” para implementação futura do GFTA foi a janela de operação *slot* – para o controle de uma aeronave, tanto no espaço aéreo como no aeroporto, no qual os horários de decolagem são pré-definidos e os vôos têm de se encaixar nos mesmos. Caso ocorra atraso na partida, de acordo com a janela de operação *slot*, o vôo perde a vez e será colocado no final da fila. Desta maneira, consegue-se uma otimização na utilização do aeroporto e redução de permanência de aeronaves com motores ligados, em espera. Basicamente, a janela de operação *slot* visa restringir o número de operações por hora, condicionando-as à obtenção prévia de um horário.

Desde 1998, as operações dos aeroportos Santos Dumont (Rio de Janeiro) e Congonhas (São Paulo) são controladas por janelas de operação *slots*. Desde então e associada à implementação das janelas *slot*, a VASP e a VARIG relataram considerável economia de combustíveis nas operações envolvendo os aeroportos citados. Além disso, tais empresas detectaram que as janelas *slot* minimizaram o inconveniente dos atrasos nos vôos e as longas e esperas conseqüentes.

Entretanto, o DAC e as grandes companhias aéreas observaram na prática que o controle de tráfego aéreo nos aeroportos sujeitos a controle por *slot*, embora otimize os movimentos nesses aeroportos origina, em contrapartida, atrasos nos vôos de efeito cumulativo, de caráter exponencial no caso de vôos de conexão. E, pelas previsões de acentuada expansão do tráfego aéreo no Brasil (FILHO, RAMOS, CARVALHO et al., 1998), a tendência é de agravamento no problema dos atrasos.

No Brasil, a questão dos atrasos nos vôos é evidente. Alguns dos principais aeroportos brasileiros (tais como Pampulha, Santos Dumont e Recife) possuem pequenas áreas para a circulação e permanência de passageiros (relativamente à movimentação aeroportuária). Nesse contexto, a conseqüência visível de atrasos nas operações é o exagerado acúmulo de pessoas nas áreas de embarque. Para as companhias aéreas as conseqüências são, também, muito indesejáveis (quais sejam, consumo extra de combustível, indenizações de refeições e hospedagens, ações de perdas e danos, etc.).

Pela constatação de que os *slots* são insuficientes para “fazer frente” aos problemas gerados pela crescente demanda por aviação, o DAC decidiu pela implementação de medidas mais amplas e análogas ao sistema americano ATFM. Sob esse contexto e com o apoio do Ministério da Aeronáutica, surgiu o Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo, o GFTA. A filosofia do GFTA é de que o fluxo aéreo será dinamizado, com a devida consideração a fenômenos meteorológicos (auxílio de satélites e *work-stations* computacionais), operacionalidade de auxílios à navegação e condições específicas de cada aeroporto. O sistema, de acordo com o Instituto de Proteção ao Vôo (IPV) da Aeronáutica (2002), vai aumentar a segurança, reduzir o desperdício de combustível, minimizar transtornos aos passageiros (redução dos tempos de espera ao ideal) e às companhias aéreas (redução de gastos extras).

O amplo emprego do GFTA permitirá a condução de vôos em regimes otimizados, prevenindo assim o desperdício de tempo e combustível, através da inovação nos métodos e procedimentos de navegação aérea. Para tanto, no desenvolvimento do GFTA, o Ministério da Aeronáutica vem utilizando as mais modernas técnicas de automação.

6.3.1 – Otimização do consumo de QAV e redução nas emissões de CO₂ pela implementação do sistema GFTA

De acordo com dados do DAC, apenas cerca de 54% das operações aéreas comerciais realizadas no Brasil realizam-se “no horário” (sem atraso), considerando que atrasos inferiores há 15 minutos são considerados como “no horário” (DAC, 2000). Ainda de acordo com o DAC, parte do tempo gasto com atrasos se dá no solo, com motores ligados e aguardando a “vez” para a decolagem (DAC, 2000). Entretanto, a maior parte do tempo relativo aos atrasos das operações aéreas se dá em vôo devido a manobras extras¹³¹ que os pilotos necessitam realizar no aguardo de pista livre para pouso. Tais manobras extras são extremamente comuns no transporte aéreo brasileiro acarretando, inevitavelmente, desperdício de combustível aeronáutico. E, dependendo do modelo da aeronave (equipada com determinado motor aeronáutico) esse desperdício pode aumentar muito, especialmente, no caso dos modelos Boeing 747-300, MD-11 e DC-10/30, conforme ilustra a tabela, a seguir.

Tabela 6.5: Consumo médio de QAV pelas aeronaves mais utilizadas no Brasil

AERONAVES	CONSUMO (LITROS/MINUTO)
Boeing 727-100	80
Boeing 737-200	50
Boeing 737-300	48
Boeing 747-300	233
Boeing 767-200	94
Boeing 767-200	99
MD-11	161
DC-10/30	176

Fonte: VARIG, 2002.

¹³¹ Em 1998, um comandante de Boeing 737 da VARIG, relatou que se viu forçado a executar uma pequena manobra extra no procedimento de chegada em Londrina (Paraná), acarretando 7 minutos a mais de vôo, ou seja, cerca de 380 litros de QAV, queimados desnecessariamente (IAC, 2001).

Através do emprego de métodos computacionais avançados de tratamento de informações, o GFTA orientará com elevada precisão todas as operações aeronáuticas realizadas no Brasil, induzindo assim a uma otimização do uso do QAV. Nesse sentido, um aspecto importante do GFTA é a geração de dados relativos a altitude ideal do voo em vista da redução do consumo de combustível.

Levantamentos estatísticos realizados em 1998, relativos aos voos internacionais que partem do Brasil para a Europa, apontaram que 14% não ocorrem sob condições de altitude ideal¹³² (para efeito de conservação de energia) (DOGANIS, 1996).

Nesse contexto, o GFTA irá melhorar a eficiência dos voos determinando o momento ideal para o acionamento dos motores (tendo em vista a hora possível de decolagem) e indicando o nível de voo operacionalmente apropriado para cada aeronave em operação no espaço aéreo brasileiro.

Estudo realizado por Filho e colaboradores, em 1996, indica que, ao final da implementação completa do sistema GFTA, a redução no consumo anual de QAV pelo transporte aéreo brasileiro será da ordem de 12% (FILHO, JÚDICE e QUINTAS, 1996). Tal estudo baseou-se na experiência dos EUA (ATFM) e países da Europa na implementação de sistemas amplos e integrados de controle de tráfego aéreo e nas frequências e distâncias voadas no Brasil.

A redução de 12% no consumo de QAV pela ampla introdução do GFTA foi reexaminada por técnicos da Aeronáutica e, atualmente (2003), o potencial de redução desse consumo é avaliado como sendo de 10% (COMAER, 2003).

Baseando-se no percentual de 10% estimado pelo Ministério da Aeronáutica como sendo a economia de combustível ao ano devido à introdução do GFTA no transporte aéreo brasileiro, estima-se que a partir de 2005 e até 2023, a redução nas emissões de CO₂ pela introdução de um sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo (análogo ao GFTA ou o próprio) seja da ordem de 10% ao ano em relação à Projeção Referencial/Emissões.

¹³² Um voo na rota Rio de Janeiro – Paris, em aeronave MD-11 realizado apenas a 1.500 metros abaixo do ideal, resulta em aumento de consumo da ordem de 6.300 litros de QAV (IAC, 2001).

6.4 – Taxação ao Consumo de Querosene de Aviação no Brasil

Conforme exposto no Capítulo III do presente Estudo, taxas, encargos adicionais e tributações especiais são medidas que vêm sendo impostas, pelos governos nacionais, em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, para imprimir ao setor aéreo um relacionamento menos degradante para com o meio ambiente. Tais instrumentos econômicos visam internalizar para o setor aéreo as externalidades ambientais associadas (HUGHES, 1994; MICHAELIS, BLEVISS, ORFEIUL et al., 1996).

Diferentemente de alternativas de mitigação de emissões de CO₂ pela aviação baseadas em tecnologias ou técnicas para efficientização energética do modal aéreo (tais como: o amplo emprego de materiais de baixa densidade na construção de aeronaves e a introdução do Prosene como combustível alternativo ao QAV), os instrumentos econômicos (impostos extras, encargos adicionais e tributações especiais), se baseiam na filosofia de redução da própria demanda por aviação. Esses dois macro conjuntos de alternativas de mitigação de emissões de CO₂ pelo transporte aéreo têm, em comum, o objetivo de aproximar, ao mais possível, o setor aéreo do conceito de sustentabilidade.

A tabela apresentada, a seguir, elaborada com base nos dados e análises do Capítulo III deste Trabalho, resume as características básicas de exemplos internacionais de introdução no setor aéreo de instrumentos econômicos preservacionistas.

Tabela 6.6: Características básicas de exemplos internacionais de introdução no setor aéreo de instrumentos econômicos voltados à preservação ambiental

País	Instrumento Econômico Aplicado	Período de Aplicação	Características Básicas	Comentários (sob a ótica de preservação ambiental)
Reino Unido	<i>APD-Air Passanger Duty</i> <u>Filosofia:</u> embutir as externalidades ambientais no custo da passagem.	1994 -	Imposto embutido no custo da passagem aérea. Valor do imposto cobrado de acordo com a distância percorrida (> distância → > imposto).	Eficiência média.
Noruega	"Imposto Verde" <u>Filosofia:</u> coibir o uso desnecessário do transporte aéreo.	1995 –1997	Imposto embutido no custo da passagem aérea.	Eficiência média.
		1998	Imposto cobrado junto às empresas aéreas → sofreu forte “lobby”.	Eficiência alta e mais coerente que nos períodos 1995 – 1997 e 1999 - (juízo de valor).
		1999 -	Imposto embutido no custo da passagem aérea.	Eficiência média.
Noruega	Taxa de CO ₂ <u>Filosofia:</u> combate ao incremento antropogênico do Efeito Estufa.	1995 - 1999	Taxação relativa a geração de CO ₂ emitido em vôos domésticos e, em 1999, também considerou-se vôos internacionais. Imposto embutido no preço da passagem aérea. Por “lobby” das grandes empresas aéreas a “Taxa do CO ₂ ” foi abolida em 1999. <u>Alegação:</u> queda na demanda e possíveis imprecisões no cálculo da quantidade de CO ₂ emitida.	Muito eficiente. “Ataca” o cerne da questão ambiental global.
Suécia	Imposto às Emissões de NO _x <u>Filosofia:</u> incentivar que as empresas aéreas aliadas à indústria promovessem redução da emissão dos motores aeronáuticos.	1990 -	Taxação imposta às empresas aéreas (vôos domésticos e aeronaves registradas na Suécia). Inicialmente foi severamente criticado pela União Européia. Hoje é visto como “bom exemplo”.	Muito eficiente.

	Imposto relativo às emissões de CO ₂ e NO _x durante a aterrissagem. <u>Filosofia:</u> reduzir os pousos em solo sueco	1998 -	Imposto aplicado junto às companhias aéreas. No cálculo do volume das emissões, utilizam-se resultados de testes, em terra, com motores aeronáuticos e informações do banco de dados da ICAO.	Muito eficiente. 37% de redução no número de pousos em solo sueco.
Estados Unidos	Imposto sobre o consumo de QAV.	1997 -	Imposto cobrado junto às empresas aéreas (vãos domésticos). Valor = US\$ 0,044/galão de QAV ∴ 1 galão = 3,79 litros. Estimativa para valor arrecadado anualmente ≈ US\$ 290 milhões. O dinheiro arrecadado é investido na promoção de melhorias na infraestrutura dos aeroportos americanos.	Pouco eficiente com relação a conter o consumo de QAV. <u>Motivo:</u> imposto de valor baixo. A própria pujança da economia norte-americana, tornou de fácil assimilação o imposto ao QAV.

Procurando adaptar para o caso do transporte aéreo brasileiro os exemplos internacionais descritos na tabela anterior, estima-se que a crise das grandes empresas aéreas nacionais (ver item 1.3.4 deste Trabalho) tornaria impeditiva uma taxaço de filosofia preservacionista aplicada, exclusivamente, às grandes empresas aéreas. Nesse contexto, estima-se que seja coerente (e passível de se tornar uma realidade) que tal imposto fosse embutido no custo da passagem aérea. Há, por outro lado, dois aspectos negativos: certa contenção na expansão da demanda por serviços aéreos e uma maior inacessibilidade de potenciais passageiros pertencentes às classes menos favorecidas da população ao transporte aéreo.

Desta forma, baseando-se nos exemplos internacionais analisados, e levando-se em consideração o contexto de crise das principais empresas aéreas brasileiras e as características do setor aéreo nacional, sugere-se a adoção no Brasil de um imposto semelhante ao imposto britânico APD, ou seja, um imposto embutido no custo da passagem aérea, cujo valor relacionar-se-ia com a distância percorrida da seguinte forma: quanto maior a distância percorrida, maior o valor do imposto¹³³. O imposto proposto que,

¹³³ A opção escolhida poderia ser “menor distância = maior taxa” (como na Suécia, por exemplo), induzindo a substituição intermodal (aviões por trens ou automóveis) e reduzindo a poluição atmosférica local (devido à relevante emissão de gases poluentes durante as aterrissagens e decolagens das aeronaves). Entretanto,

hipoteticamente, poderia ser denominado IADS (Imposto Aéreo para o Desenvolvimento Sustentável), seria valorado com base no consumo de QAV relativo a cada diferente rota aérea (nacional ou internacional).

Propõe-se que seja utilizado, como base referencial para valoração do imposto IADS o valor de US\$ 0,0005¹³⁴ por litro de QAV consumido. A tabela apresentada, a seguir, ilustra propostas de valoração do imposto IADS para diferentes rotas aéreas (sempre com origem em aeroportos brasileiros).

Tabela 6.7: Valoração do imposto IADS em rotas aéreas selecionadas

Rota Aérea	Distância (Km)	Quantidade de Combustível Consumido (litros de QAV)	Valoração do Imposto IADS por passageiro (US\$ de abril de 2003)
Rio - São Paulo	373	5.600	2,8
Rio - Brasília	1.070	16.064	8,03
São Paulo - Natal	3.090	46.391	23,2
São Paulo - Paris	11.600	174.155	87,1
São Paulo - Nova Iorque	10.015	150.359	75,2
Rio - Tóquio	18.730	287.201	140,6

Baseando-se em dados do Ministério dos Transportes a respeito da quantidade de QAV consumido, em 2000, e das distâncias percorridas por aeronaves brasileiras (GEIPOT, 2001), estima-se que o potencial montante arrecadado anualmente pela cobrança do imposto IADS seja da ordem de US\$ 180 milhões anuais. Esta quantia poderia ser aplicada pelo Governo em projetos de minimização de impactos ambientais devido à atividade aérea, tais como o desenvolvimento dos combustíveis alternativos Prosene, álcool hidratado e hidrogênio líquido; a pesquisa, desenvolvimento e produção de materiais aeronáuticos de baixa densidade; ou a ampla implementação do sistema GFTA.

considerou-se que o caso “maior distância = maior taxa” seria mais adequado ao caso brasileiro pela ausência de opções competitivas para a realização de substituição intermodal para a maioria das rotas aéreas do Brasil, e pela adoção do critério “paga mais quem polui mais”.

¹³⁴ No atingimento do valor de US\$ 0,0005, utilizaram-se os seguintes dados: 5.600 litros como sendo o consumo de QAV em uma viagem Rio de Janeiro – São Paulo (GEIPOT, 2001) e o valor médio de US\$ 100,00 para a passagem aérea no referido trecho (VARIG, 2002). Baseando-se na metodologia de valoração do imposto APD (T&E, 1999), adotou-se como premissa que a base de cálculo do imposto IADS equivaleria a 3% do valor médio de uma passagem aérea no trecho Rio de Janeiro – São Paulo, ou seja, US\$ 3,00.

Com base em entrevista realizada junto a especialista da Aeronáutica (Moreira, 2003), estima-se que o primeiro ano de aplicação do IADS seja 2005. Nesse contexto, o ano de 2004 seria dedicado ao desenvolvimento aprofundado das técnicas de valoração do imposto IADS e estudos referentes a impactos gerados por tal encargo extra na demanda por aviação no Brasil.

Baseando-se nas características do setor aéreo brasileiro (GEIPOT, 2001) e em análises inclusas em estudo conduzido pela Federação Européia para Transporte e Meio Ambiente (T&E, 1999), estima-se que o imposto IADS cause uma redução na demanda por serviços aéreos no Brasil da ordem de 2,5 % entre 2005 e 2023. Estima-se, também, que tal redução percentual na demanda devido ao imposto IADS se refletirá em certa redução do consumo energético e das emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro. Cabe ressaltar que a valoração desta provável redução do consumo de energia e das emissões de CO₂ mostrou-se não ser tarefa trivial. Desta forma, neste Trabalho optou-se por não se inferir com precisão a respeito de tal redução. Mesmo assim, estima-se que a discutida redução não seja desprezível. Ou seja, uma redução no consumo energético e nas emissões de CO₂ da ordem de 1 % ao ano entre 2005 e 2023 (em relação à Projeção Referencial/Emissões) seria um valor factível, ou no mínimo dentro da margem de valores possíveis.

Caso o imposto IADS configure-se eficiente sob a ótica de preservação ambiental, e na hipótese de as principais empresas aéreas brasileiras conseguirem atingir sólida estabilização econômica, seria aconselhável e coerente que o imposto IADS passasse a ser cobrado junto às empresas aéreas. Afinal, durante um vôo, ocupado ou não, um “assento-km” emite praticamente a mesma quantidade de poluentes.

6.5 – Substituição Intermodal no Trecho Rio de Janeiro – São Paulo

A rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo está entre as cinco mais movimentadas do mundo em termos de passageiros e cargas transportados. No contexto Brasil, sob a égide dos aspectos citados, é de longe a rota mais movimentada. Mais de 2.000.000 de passageiros e 30.000 toneladas de cargas trafegam nessa rota anualmente (ano base: 2001) (DAC, 2002). Toda essa movimentação encerra um elevado consumo energético. Em 2000, cerca de 170.000.000 de litros de QAV foram consumidos no tráfego aéreo Rio de Janeiro

– São Paulo. Em termos de consumo energético (querosene de aviação) e de passageiros-quilômetros transportados, o percentual relativo da rota em questão frente ao total (no contexto Brasil) é semelhante e de valor próximo a 8%. A tabela apresentada, a seguir, ilustra as principais características da rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo.

Tabela 6.8: Principais características da rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo, 2002

Distância do percurso	373 Km
Tempo médio da viagem	40 minutos
Aeronaves atualmente empregadas	Boeing 737-300, Boeing 757-300, Fokker (F27, 50 e 100) e Air Bus 319-320
Número de vôos diários	28 em cada sentido, ou seja, 56 no total.
Horário dos vôos	De 06:30h até 22:30h
Preço da passagem aérea	Entre US\$ 30 e US\$ 100
Passageiros transportados em 2001	2.115.233
Consumo médio de QAV por viagem (por aeronave)	5.800 litros

Fonte: INFRAERO, 2002.

A tabela apresentada, a seguir, ilustra que a demanda de passageiros na Rota Rio – São Paulo é, eminentemente por viagens a negócios. Observando os dados da referida tabela, estima-se que a citada demanda seja pouco elástica em relação ao preço do bilhete aéreo. Assim, uma determinada alteração no custo da passagem aérea nessa ligação tende a influenciar muito pouco na demanda de passageiros na rota aérea em análise. Como se observa, apenas cerca de 14% dos viajantes custeia sua própria passagem aérea.

Tabela 6.9: Características da demanda de passageiros na ligação aérea Rio de Janeiro – São Paulo

Características da Demanda	Valor Médio Percentual (%)	Faixa de Variação Percentual (%)
Passageiros por Sexo		
Mulheres	26	20 – 32
Homens	74	68 - 80
Passageiros por Nível de Instrução		
Primário	1	0 – 2
Secundário	14	10 – 15
Superior	71	69 – 71
Pós-Graduação	15	15 – 19
Passageiros por Tipo de Viagem		
Negócios	92	90 – 94
Passeio	4	2 – 6
Outros	4	2 – 6
Passageiros por Pagador da Viagem		
O Próprio	14	12 – 16
Empresa Privada	76	70 – 82
Empresa Pública	10	5 – 9

Fonte: INFRAERO, 2002.

Há de se ressaltar, ainda, a acirrada competitividade entre as empresas aéreas na operação da ligação Rio de Janeiro – São Paulo, cujo maior beneficiário é o próprio usuário. Afinal, pela expectativa de aumento de diferenciação dos serviços das empresas, a tendência é de melhoria dos serviços (pontualidade, serviço de bordo, atendimento nos balcões dos aeroportos, etc.). Nesse contexto, outra grande vantagem para o consumidor é a queda no valor das tarifas.

6.5.1 - Proposta de substituição intermodal: Trens de Alta Velocidade x

Aeronaves

Por todas as características mencionadas e pela própria geografia do trecho Rio de Janeiro – São Paulo, vislumbrou-se a perspectiva de implementação da substituição intermodal “Aviões x Trens de Alta Velocidade” no trecho em estudo como forma de minimizar o consumo energético (e as emissões de gases de Efeito Estufa) pela atividade aérea no Brasil. Afinal, para uma mesma distância percorrida, um TAV¹³⁵ emite cerca de

¹³⁵ O Trem de Alta Velocidade, o TAV, emprega energia elétrica como força-motriz de movimentação e a alta velocidade é atingida através do emprego de supercondutores à base de silício nos trilhos. Para criar o campo

1/3 do que emite uma aeronave comercial (T&E, 1997). Comparações a respeito de emissão de ruído e de poluição local, também favorecem ao emprego do TAV (T&E, 1999).

Para viagens de longa distância, como as intercontinentais, as aeronaves praticamente não têm modais de transporte alternativos ou competidores. A vantagem da redução do tempo de viagem pelo uso do transporte aéreo, mostra-se extremamente atraente ao consumidor (T&E, 1997). E, quanto maior a distância, maior a referida atratividade. Entretanto, para viagens de média distância, entre 300 e 1000 Km, o uso de Trens de Alta Velocidade em substituição parcial ou total a aeronaves tem sido adotado e/ou estudado por diversos países do continente europeu (AEF, 2000).

O relatório especial do IPCC sobre aviação e meio ambiente atmosférico estima que nos últimos 10 anos houve, na Europa, uma evasão de passageiros do modal aéreo para o modal ferroviário de alta velocidade, da ordem de 10% (IPCC, 1999). Entretanto, em determinados trajetos caracteristicamente de alta competitividade entre os modais aéreo e ferroviário, como no trecho Paris – Lion (na França), a evasão de passageiros das aeronaves para o TGV (o trem de alta velocidade empregado no referido percurso), foi de cerca de 50% (T&E, 1999). Outro exemplo nesse sentido é o trecho Paris – Londres onde a operação do Eurostar, o TAV subterrâneo que atravessa o Canal da Mancha, gerou uma redução de cerca de 40%, no uso do transporte aéreo (T&E, 1999). Estudos realizados pelo Governo da Grã-Bretanha indicam que, em 2015, cerca de 12.000.000 passageiros irão preferir utilizar o Eurostar ao invés de aeronaves, como meio de transporte entre Paris e Londres (T&E, 1999). Esses mesmos estudos indicam que para distâncias inferiores a 1000 Km e superiores a 300 Km, os Trens de Alta Velocidade irão, cada vez mais, se apresentar como alternativa preferencial de meio de transporte.

Há, efetivamente, certo aumento no tempo de viagem quando se opta por um TAV ao invés de uma aeronave civil usual como, por exemplo, o Boeing 737-300. No caso do trecho Rio de Janeiro – São Paulo, um TAV em velocidade média de 160 Km/h realizaria

magnético (de repulsão entre os trilhos e os módulos de levitação, que na verdade são pastilhas supercondutoras que substituem as rodas e são compostas de ítrio, bário e cobre), que é o que faz o TAV levitar, os cientistas resfriam os supercondutores a uma temperatura negativa de 196^oC, utilizando nitrogênio líquido. Cabe mencionar que o nitrogênio é um combustível de baixo custo (cerca de R\$0,30 o litro, para valores de mercado em 2003) e não polui o meio ambiente (PLANETA COPPE, 2003).

este percurso de 400 Km em cerca de 2,5 horas¹³⁶, ou seja, uma hora e 50 minutos a mais do que uma aeronave modelo B 737-300 (FERRAZ e GUALDA, 1993). Entretanto, há de se considerar que o tempo requerido pelo *checking-in* e pelo *checking-out* pode tornar quase que equivalente o tempo total da viagem. Outra vantagem adicional seria a maior flexibilidade pelo uso do TAV, tendo em vista que oferecerem normalmente um maior número de frequências em relação ao modal aéreo. Cabe mencionar, ainda, que a velocidade média de um TAV pode atingir cerca de 270 Km/hora.

Ressalta-se, também, uma outra vantagem ao uso do TAV em substituição ao uso de uma aeronave. Trata-se da não proibição ao uso de laptops, aparelhos celulares e outros equipamentos eletrônicos pelos passageiros. No caso do Brasil e, especialmente, no caso da rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo, esta vantagem tende a não ser desprezível. Afinal, mais de 80% das viagens aéreas entre Rio e São Paulo, possuem como natureza, a modalidade “negócios” (INFRAERO, 2002).

Sob o contexto deste Trabalho, cabe mencionar aquele que talvez seja o exemplo mais contundente de decisão empresarial pela substituição do modal aéreo pelo modal ferroviário de alta velocidade. Trata-se do caso da Lufthansa, empresa aérea alemã, que anunciou que até meados de 2004, irá transferir todas as suas operações aéreas domésticas para trens de alta velocidade (de propriedade da própria Lufthansa). Para optar por esta substituição intermodal, a Lufthansa alicerçou-se no notável benefício ambiental associado – a poluição do ar local nas proximidades dos principais aeroportos alemães tende a reduzir-se em mais de 42% em termos do volume de poluentes emitidos como o CO₂ e os NO_x – e no decrescente lucro das operações aéreas domésticas (T&E, 1999).

Ressalta, também, outro benefício gerado pela substituição intermodal “trens de alta velocidade x aeronaves”. Trata-se do aumento no nível de aproveitamento das aeronaves operantes em rotas aéreas de longo curso. Estima-se que o desestímulo ao uso de aviões em viagens de média distância (entre 300 Km e 1000 Km) esteja diretamente relacionado a tornar mais atrativo o uso do transporte aéreo em viagens de longa distância, como as intercontinentais, por exemplo.

¹³⁶ Um trem convencional realiza a viagem entre Rio de Janeiro e São Paulo em cerca de 9 horas (BARBOSA, 1993).

Pelas vantagens descritas e pelas características da rota aérea Rio de Janeiro – São Paulo, sugere-se como proposta de mitigação das emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo brasileiro, a substituição intermodal “trens de alta velocidade x aeronaves” na referida rota aérea do espaço aéreo brasileiro. E, pelo fato de a referida rota aérea ser uma das mais movimentadas do mundo¹³⁷, estima-se haver potencialização das vantagens descritas.

6.5.2 – Refinamento da proposta

Baseando-se em dados, obtidos via internet (TRANSCORR, 2001; PLANETA COPPE, 2003), foi possível refinar a proposta de emprego do “Trem de Alta Velocidade” (TAV) no trecho Rio de Janeiro – São Paulo. O detalhamento da proposta é descrito, a seguir.

Características Gerais:

- Trecho concebido ⇒ Barão de Mauá (RJ) – Tietê (SP);
- Extensão total ⇒ 430 Km;
- Tempo de percurso ⇒ 2 horas e 10 minutos (incluídas as paradas intermediárias em 6 Estações);
- Velocidade máxima ⇒ 330 Km/h;
- Frequência ⇒ Trens com intervalos de 15’ durante as operações diurnas;
- Horários de partida do primeiro e último trem ⇒ 05:15h e 23:45h;
- Tempo previsto de conclusão das obras de implementação do TAV ⇒ 6 anos;
Início das operações ⇒ Meados de 2010;
- Estações ⇒ Galeão, Volta Redonda, Resende, Taubaté, São José dos Campos, Guarulhos, Tietê, Jundiaí e Campinas;

¹³⁷ A Rota Aérea Rio de Janeiro – São Paulo é a terceira mais movimentada do mundo em termos de passageiros transportados e a segunda mais movimentada do mundo em termos de operações de pouso e decolagem. Os outros dois trechos aéreos de grande movimentação aeroportuária são Nova Iorque – Washington e Tóquio – Yokohama (GARIO, 2003).

- Empreendedor \Rightarrow Empresa Multinacional, pelo provável vultuoso porte do investimento e pelo *know-how*.

Mapa do esboço do traçado do TAV:

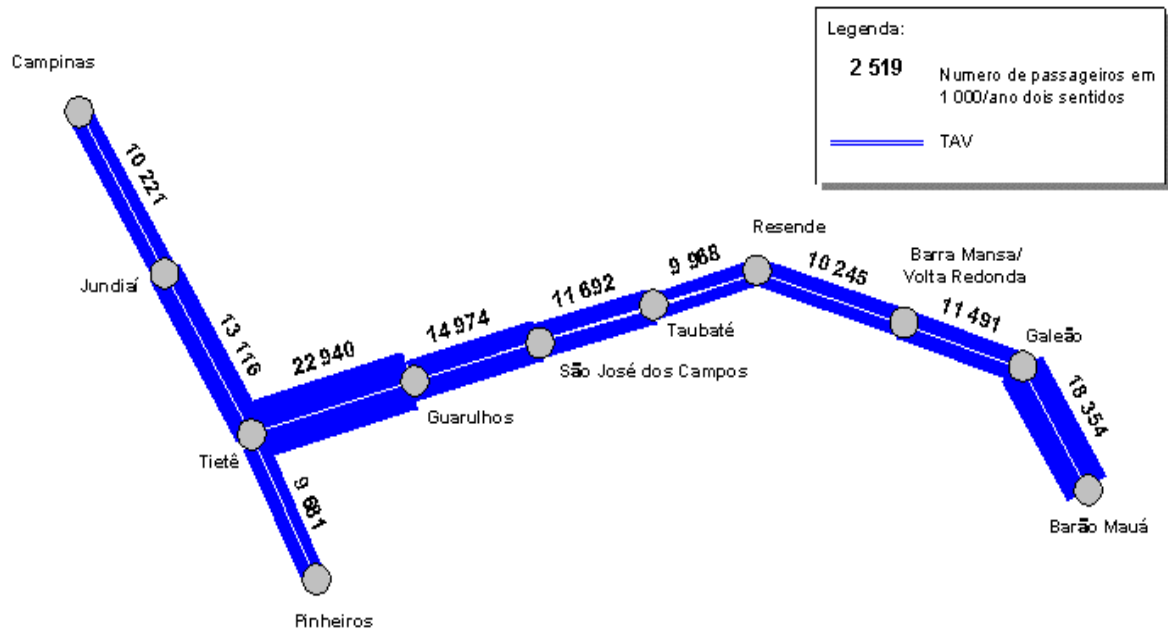


Figura 6.6: Esboço do traçado do TAV, com estimativa do volume de passageiros por trecho

Fonte: TRANSCORR, 2001.

Custo Envolvido:

Com base em dados obtidos via internet (TRANSCORR, 2001; AEF, 2000), elaborou-se uma descrição dos investimentos necessários para a introdução de um sistema de TAV no trecho Rio de Janeiro – São Paulo. A tabela, a seguir, apresenta a referida descrição.

Tabela 6.10: Previsão de custos necessários à implementação do TAV no trecho Rio de Janeiro – São Paulo

ITEM	CUSTO ASSOCIADO (US\$ 10 ⁶ Equivalentes relativos a 2001)
Infraestrutura e Sistemas:	
Aquisição de Terrenos / Indenizações	86
Plataforma	894
Pontes e Linhas Elevadas	1.424
Túneis	360
Superestrutura	434
Estações	321
Proteção contra ruídos	10
Sinalização	30
Telecomunicação	42
Subestações	85
Instalações Físicas para Manutenção	77
Equipamentos para manutenção	52
SUB-TOTAL	3.909
2 – Material Rodante:	650
INVESTIMENTO TOTAL	US\$ 4.359 x 10⁶ ≈ US\$ 4,559 bilhões a ser aplicado no período 2004-2010.

Fonte: TRANSCORR, 2001 e AEF, 2000.

Nota (1): -Início das obras: 2004 (dezembro).

- Conclusão das obras e início de operação do TAV: 2010 (dezembro).

6.5.3 – A intermodalidade “Aviões x Trens de Alta Velocidade” na perspectiva de redução nas emissões de CO₂

Baseando-se em bibliografias relevantes ao tema (FERRAZ e GUALDA, 1993; SCHÄFER, 1992; SCHÄFER e VICTOR, 1998) estima-se que a intermodalidade proposta tenha potencial para gerar reduções na demanda direta e indireta. Ou seja, não só o uso de aviação iria se reduzir no trecho Rio de Janeiro – São Paulo, mas, também, o de automóveis e ônibus.

Analisando, especificamente, alternativas que induzam a redução nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro, adotou-se, neste Trabalho, a seguinte premissa: a implementação do TAV no trecho Rio de Janeiro – São Paulo induzirá, entre 2012 (proposto como o primeiro ano de operação do TAV, em questão) e 2023, a uma redução na demanda por serviços aéreos (para o trecho em análise) da ordem de 50%¹³⁸. Tal redução implicaria numa diminuição de mesma proporção na participação do consumo energético devido às operações aéreas na rota Rio de Janeiro – São Paulo, frente ao

¹³⁸ Tal percentual foi adotado com base em resultados de estudo conduzido por FERRAZ e GUALDA (1993).

consumo energético total pelo transporte aéreo brasileiro. Sob tais considerações, tal participação passaria de 8% (percentual relativo a 2001) (GEIPOT, 2001) para 4%. Entretanto, devido às múltiplas incertezas associadas a essa estimativa, intui-se que quanto mais conservativa for a mesma¹³⁹, maior a acurácia. Assim, por premissa, essa participação atingiria 2% (ao invés de 4%). Nesse contexto, devido à adoção da substituição intermodal em foco, seria de 2% o percentual de redução nas emissões de CO₂ pela atividade aérea no Brasil (frente à Projeção Referencial para a evolução das emissões de CO₂ pelo setor aéreo no Brasil, apresentada no Capítulo V deste Trabalho), entre 2012 e 2023.

O investimento total requerido para implementação do trem rápido (ou de um sistema de trens rápidos com velocidades médias de 270 Km/hora) no trecho Rio de Janeiro – São Paulo pode chegar a US\$ 4 bilhões, conforme analisado anteriormente. Nesse contexto, o projeto dificilmente seria “levado à frente” pelo Governo Brasileiro ou mesmo pela iniciativa privada de capital nacional. Mas, pelos objetivos a serem alcançados, poderia ser viabilizado pela aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)¹⁴⁰. Para tanto, torna-se mister a condução de estudos aprofundados com foco na valoração de RCEs – Reduções Certificadas Reduzidas¹⁴¹.

¹³⁹ Nesse contexto, há de se considerar a hipótese de que introdução do TAV venha a estimular a ocorrência de mais viagens (a lazer, por exemplo) no trecho Rio de Janeiro – São Paulo (RIBEIRO, 2003). Assim, em tese, os benefícios ambientais e energéticos gerados pela supracitada substituição intermodal seriam minimizados. Portanto, a adoção de estimativas conservadoras para a redução do consumo energético decorrente da estratégia em questão é adequada e oportuna.

¹⁴⁰ O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) prevê a elaboração por países em desenvolvimento de projetos voltados à redução das emissões de gases Efeito Estufa (GEE) gerados pela queima de carvão e de derivados de petróleo. Com base nesses projetos, esses países receberiam certificados chancelados de quotas em toneladas de carbono correspondentes às reduções propostas, que poderiam ser vendidos a países com metas de redução de emissões. O objetivo é estender uma ponte, com incentivos, entre os Países Desenvolvidos (PD) e os em Desenvolvimento (PED). Assim, os PD podem contribuir financeiramente, e os PED podem se beneficiar por meio de financiamento de atividades para projetos aprovados. Os PD podem então utilizar reduções de emissões certificadas provenientes de tais projetos para contribuir com o cumprimento parcial do seu compromisso de limitação de emissões.

¹⁴¹ A RCE é um instrumento de controle de emissões de CO₂ baseado no mercado internacional e, pode ser considerado um mecanismo eficiente para a transferência de recursos (assim como tecnologia) dos países industrializados para os países em desenvolvimento. Na prática, a aplicação dos RCEs é de compreensão relativamente simples. Quantidades determinadas de certificados comercializáveis seriam criados, de acordo com um limite pré-estipulado de emissão a nível mundial, e distribuídas entre os agentes econômicos envolvidos. A comercialização dos certificados entre os participantes seria permitida. Um agente que se encontrasse em uma situação cujas emissões envolvidas fossem maiores do que as permitidas pelos seus certificados, poderia abater as suas emissões até o nível permitido pelos seus certificados, arcando com os custos envolvidos.

Nesse contexto, cabe ressaltar que com o atual valor de mercado de US\$3,5 por tonelada de carbono evitada (Bolsa de Chicago) (LA ROVERE, 2003), o MDL poderia tão somente cobrir uma pequena parte do investimento necessário à implementação do sistema de trens rápidos sugerida (o restante poderia advir do Governo e de empresas nacionais e/ou multinacionais). Afinal, para cobrir integralmente o investimento total requerido via MDL, seria necessário que a tonelada de carbono estivesse sendo comercializada na faixa de US\$ 40.00 a US\$ 45.00. Há de se considerar, porém, que o mercado de comercialização de créditos de carbono está em processo de fortalecimento/expansão. Assim, não seria improvável que, em futuro não muito distante (dez a quinze anos), valores da ordem de US\$20.00 a US\$25.00 por tonelada de carbono evitado fossem estabelecidos. Nesse contexto, o empreendimento em análise teria maiores possibilidades de viabilização.

Naturalmente, para que o MDL efetivamente pudesse vir a ser empregado para viabilizar a intermodalidade proposta seria fundamental avaliar o porte das emissões de CO₂ evitadas de forma indireta, principalmente, devido a reduções geradas pelo TAV na demanda por transporte rodoviário no trecho Rio de Janeiro – São Paulo.

No contexto da viabilidade econômica da substituição intermodal em questão, urge recomendar que o projeto do TAV para o trecho Rio de Janeiro – São Paulo contemple não somente o transporte de passageiros, mas também, o de cargas de alto valor agregado (tais como produtos da indústria de microeletrônica, por exemplo) que se constituem em cargas típicas para o transporte aéreo. Estima-se que desta forma, o mercado potencial do TAV proposto seja ampliado e diversificado. Esta recomendação, que encerra uma concorrência bilateral com o modal aéreo no trecho em questão, em tese, tornaria o TAV em discussão mais viável sob a perspectiva de mercado – até mesmo pela maior atratividade para aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento, afinal, considerando o TAV para o transporte de passageiros e de cargas (de alto valor agregado) a tendência é de um maior volume de emissões de CO₂ evitadas.

Cabe ainda, mencionar algumas vantagens adicionais à sociedade (além da questão da redução da emissão de poluentes) relacionadas a intermodalidade proposta.

O Trem de Alta Velocidade, além de ser um meio de transporte muito menos poluente do que aviões, automóveis, ônibus ou trens a diesel, possui outros importantes benefícios à sociedade. São eles:

- Menor consumo de energia;
- Elevada geração de empregos no período de obras de infra-estrutura e;
- Elevados níveis de segurança operacional.

No caso específico da introdução do TAV no trecho Rio de Janeiro – São Paulo, poder-se-ia também citar:

- Redução no volume de tráfego na excessivamente movimentada Rodovia Federal Presidente Dutra, o que, provavelmente, induziria a menores índices de acidentes.

6.6 – Exame Preliminar de Outras Alternativas

6.6.1 – Redução da velocidade média dos vôos

O atrito aerodinâmico de uma aeronave aumenta quadraticamente com a velocidade (EPA, 1997). Com isto, uma análise possível (e até óbvia) é que substanciais economias de combustível (e, conseqüentemente, redução das emissões de CO₂) podem ser obtidas através da redução da velocidade média dos vôos. A questão “chave” dessa estratégia de mitigação de emissões de CO₂ é a altitude dos vôos. O sucesso de tal estratégia condiciona-se a altitudes elevadas, acima de 10.000 metros. Abaixo deste patamar, devido a questões relacionadas a limitações técnicas¹⁴², a redução na velocidade pode implicar em aumento de consumo do combustível aeronáutico (T&E, 1999).

De acordo com engenheiros do IAC (Instituto de Aviação Civil), uma redução da ordem de 12% na velocidade média das aeronaves atuantes no Brasil (operando em cruzeiro, em altitudes acima de 11.000m) poderia induzir a uma economia de combustível da ordem de 20.000.000 de litros de QAV ao ano (cerca de 1% do consumo registrado em 2000) (IAC, 2000). No atingimento do referido valor para o volume de QAV economizado, os especialistas do IAC consideraram que os *designs* e os motores das modernas aeronaves

¹⁴² Limitações estas características das turbinas aeronáuticas usuais do tipo “turbofans”, que saem de seu “ponto ótimo” de operação em altitudes abaixo de 10.000 metros, gerando, assim, um maior consumo de combustível (COMAER, 2002).

são projetados para operarem em elevadas velocidades médias de, aproximadamente, 850 Km/h ¹⁴³(IAC, 2000).

Baseando-se nessas análises, efetuadas por engenheiros do IAC, estima-se que, a partir de 2010, pela adoção prática da estratégia de mitigação em foco, será possível registrar uma redução de cerca de 1% ao ano no consumo de QAV e nas emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil.

O período entre 2003 e 2009 seria destinado a estudos aprofundados (tecnológicos e mercadológicos) visando responder a questões fundamentais, tais como: de que forma os motores aeronáuticos responderiam à redução de 12% na velocidade média operacional?; ou haveria necessidade ou possibilidade de serem feitas modificações nos motores aeronáuticos atuais?

No contexto da proposta em análise, cabe denotar que a redução de velocidade do modal aéreo implica, necessariamente, em redução de produtividade econômica para as empresas aéreas. Afinal, vôos “mais lentos” geram menores quantidades de vôos/dia (diminui-se a economia de escala da aviação). Com isto, uma das principais razões para a atratividade exercida no ser humano pelo transporte aéreo, a economia de tempo, é diretamente afetada. Estima-se que, num contexto futuro de agravamento dos problemas ambientais gerados pela emissão de poluentes à atmosfera, os viajantes não se importarão em chegar um pouco mais tarde em seus destinos ao saberem que o tempo “extra” propiciou economia de combustível (energia) e redução de emissões, pelas aeronaves, de gases de Efeito Estufa. Logicamente que, para esse hipotético passageiro chegar a essa compreensão, haveria a necessidade de elevada consciência ambiental ou, numa hipótese mais pessimista, os problemas ambientais globais (devido, por exemplo, à emissão antropogênica de CO₂ para a atmosfera) já estariam atingindo proporções catastróficas (tal como uma elevada ocorrência de tufões, furacões, enchentes, etc.).

¹⁴³ Nesse contexto, urge mencionar que as características intrínsecas dos modernos motores aeronáuticos atuais, os chamados “turbofans” (que minimizam a emissão de ruídos e de poluentes) admitem limitada possibilidade de diminuição de velocidade média dos vôos. Esta situação configura-se, em princípio, num impedimento ao emprego da redução da velocidade média dos vôos como alternativa para a obtenção de economia de combustível (≈redução de consumo energético). Mesmo assim, estima-se haver real potencial para aplicação dessa alternativa de redução de consumo energético pela aviação nacional.

6.6.2 – Aumento da taxa de ocupação das aeronaves

De acordo com o IPCC, uma forma fundamental de mitigar o problema do incremento antropogênico do Efeito Estufa é o aumento da taxa de ocupação de todos os modais de transporte (IPCC). A filosofia é simples: quanto maior a taxa de ocupação de determinado modal, menor será a emissão de carbono por passageiro-quilômetro. Tal estratégia induz a um melhor aproveitamento do conteúdo energético do combustível utilizado pelo modal. Com isto, a eficiência energética do modal é aumentada.

Estudos indicam que, em nível mundial, uma taxa de ocupação da ordem de 80%¹⁴⁴ em 2015 aumentaria em cerca de 12% (em relação a 2001) a eficiência energética do transporte aéreo (IPCC, 1999). Atualmente no Brasil, esta taxa situa-se em torno de 54% (GEIPOT, 2001). Considerando-se a hipótese de que agindo coordenadamente as empresas aéreas e demais agentes atuantes no setor aéreo brasileiro (Governo, centros de pesquisa, etc.) consigam atingir o patamar de 80% para a taxa de ocupação do setor aéreo em 2015, estima-se que poderá haver uma redução não desprezível no consumo energético pela aviação nacional e nas emissões de CO₂ associadas. Na condução do presente trabalho, mostrou-se não ser trivial valorar, com algum nível de precisão, tais reduções. Mesmo assim, estima-se que tais reduções possam vir a ser relevantes. Assumiu-se aqui, então, de forma conservadora, uma redução da ordem de 1% ao ano a partir de 2015 nas emissões de CO₂ (em relação à Projeção Referencial/Emissões) pela adoção da estratégia de mitigação em análise.

6.6.3 – Aplicação de regulamentações específicas

Seguindo o exemplo de nações européias como Holanda, Noruega, Suécia e Reino Unido, sugere-se para o caso do transporte aéreo brasileiro a adoção de regulamentações específicas voltadas para a mitigação da emissão de poluentes pelas aeronaves.

¹⁴⁴ A taxa de ocupação do modal aéreo, em nível mundial, entre os anos de 1960 e 1980, flutuou entre 45% e 60%. Nas duas últimas décadas, situou-se entre 50% e 70%, devido à própria expansão da demanda por aviação, e devido a eficientes estratégias de marketing das empresas aéreas (IPCC, 1999).

Analisando-se as regulamentações implementadas nos países citados e as características do setor aéreo brasileiro, sugerem-se duas normas a serem impostas pelo Governo às gerências dos aeroportos de maior movimentação. São elas:

- Aeronaves com taxa de ocupação inferior a 50% não teriam permissão para decolar;
- Dependendo das condições de poluição atmosférica local, a decolagem de aeronaves de grande porte e com tecnologia ultrapassada (em relação à emissão de ruído e poluentes gasosos) estaria proibida.

A proibição para a decolagem de aeronaves “ecologicamente ultrapassadas” em condições críticas de poluição local (regulamentação imposta pelos governos da Suécia e da Noruega às gerências dos aeroportos de maior movimentação desses países) visa combater, diretamente, a emissão de poluentes gasosos, como o CO₂, e o conseqüente agravamento do Efeito Estufa. Essa regulamentação específica contra a decolagem de aeronaves excessivamente energo-intensivas, assim como as regulamentações relacionadas a induzir o aumento na taxa de ocupação das aeronaves, têm sido consideradas, pela ICAO, exemplos a serem seguidos.

Baseando-se em estudos conduzidos pela *Aviation Environment Foundation* (AEF, 2003) e nas características das operações realizadas nos principais aeroportos brasileiros (GARIO, 2002), estima-se que a implementação dessas regulamentações induza a uma redução da ordem de 2 % ao ano nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro, a partir de 2006 (adotado, por premissa, como “ano 1” para introdução de regulamentações específicas no transporte aéreo brasileiro).

6.7 – Quadro-Síntese: Redução nas Emissões de CO₂ pelas Alternativas de Mitigação Analisadas

A tabela apresentada, a seguir, resume o potencial de redução nas emissões de CO₂ por cada uma das estratégias de mitigação analisadas neste trabalho e o potencial total associado.

Tabela 6.11: Alternativas de mitigação e redução nas emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil

Alternativa	Período	% de Redução ao ano (em relação a Cenário Referencial)	Redução Acumulada nas Emissões de CO ₂ (em relação à Projeção Referencial/Emissões): Gg de CO ₂
Ampla Utilização de Materiais de Baixa Densidade	2015-2023	2,9	6.914
Introdução de Combustíveis Alternativos	2018-2023	7,8	13.538
- Querosene Vegetal			
- Álcool Hidratado	2011	0,3	7.214
	2012	0,6	
	2013	0,9	
	2014	1,2	
	2015	1,5	
	2016	1,8	
	2017	2,1	
	2018	2,4	
	2019	2,7	
	2020	3,0	
	2021	3,3	
	2022	3,6	
	2023	3,7	
- Hidrogênio Líquido	2020-2023	1,0	932
Introdução de Sistema Amplo e Integrado de Controle de Tráfego Aéreo	2005-2023	10,0	38.819
Taxação ao Consumo de Querosene de Aviação no Brasil	2005 - 2023	1,0	3.882
Substituição Intermodal no Trecho Rio-São Paulo	2013-2023	2,0	5.504
Redução da Velocidade Média dos Vãos	2010-2023	1,0	3.252
Aumento da Taxa de Ocupação das Aeronaves	2015-2023	1,0	2.383
Aplicação de Regulamentações Específicas	2006-2023	2,0	7.540
TOTAL			89.978 GgCO₂ (emissões evitadas no período de 2002 a 2023)

6.8 – Hierarquização das Alternativas de Mitigação Analisadas

Analisando uma a uma as alternativas de mitigação propostas, depreende-se que as que tendem a gerar uma redução mais significativa nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro são as seguintes: implementação de sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo (potencial de redução acumulada estimado em 38.819 GgCO₂ no período de 2002 a 2023); introdução do querosene vegetal como propelente aeronáutico (potencial de redução acumulada estimado em 13.538 GgCO₂ no período de 2002 a 2023); e introdução de regulamentações específicas (redução estimada de 7.540 GgCO₂ entre 2002 e 2023). Além destas, e considerando-se as emissões de CO₂ evitadas direta e indiretamente (ou seja, não apenas no modal aéreo) pode-se citar a substituição intermodal “aeronaves x trens rápidos” no trecho Rio de Janeiro – São Paulo (potencial de redução acumulada estimado em 5.504 GgCO₂ de forma direta no período de 2002 a 2023).

Sugerir ou recomendar a introdução de uma ou outra alternativa de mitigação baseando-se somente no potencial estimado de redução nas emissões de CO₂ seria incorrer em erro de trivialização. Afinal, há de se considerar os benefícios indiretos de cada uma das alternativas, além da própria inércia a ser vencida para viabilização da alternativa (sob o prisma financeiro, tecnológico ou político, por exemplo). Nesse sentido, cabe citar, por exemplo, a redução do custo operacional, o aumento da segurança operacional e a independência tecnológica associada à introdução de ligas aeronáuticas de baixa densidade; a expansão na geração de empregos gerada pela introdução do álcool hidratado (devido ao plantio da cana-de-açúcar) e do querosene vegetal (devido aos agronegócios dos óleos vegetais) como combustíveis aeronáuticos; a vanguarda e independência tecnológica associada à introdução do hidrogênio líquido como combustível aeronáutico; a internalização de externalidades ambientais e a possibilidade de aplicar o montante arrecadado em projetos de minimização de impactos ambientais devido à atividade aérea no Brasil, gerado pela taxaço ao uso do querosene; a melhoria das condições de poluição local (ou seja, nas proximidades dos aeroportos), gerada pela aplicação de regulamentações específicas; e a economia de combustível, a minimização de atrasos e a redução dos tempos de espera nos aeroportos, gerados pela implementação de sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo.

De fato, os montantes estimados de CO₂ abatido não podem configurar-se num parâmetro assaz importante quando se pretende recomendar uma ou outra alternativa de mitigação. Afinal, tais estimativas encerram um elevado grau de incertezas. Assim, considerando os benefícios diretos e indiretos associados a cada uma das estratégias de mitigação analisada, os investimentos necessários à aplicação das estratégias em questão, o estágio atual de desenvolvimento da tecnologia aeronáutica nacional; as perspectivas da Petrobras para o mercado brasileiro de combustíveis aeronáuticos (PETROBRAS, 2001a) e o contexto de desregulamentação do setor aéreo nacional, estima-se que as alternativas mais viáveis (para fins de implementação prática) sejam, as seguintes (em ordem decrescente):

Grupo I (estratégias que dependem de desenvolvimento tecnológico):

- 1- Introdução do álcool hidratado como propelente aeronáutico ⇒ especialmente na aviação direcionada ao setor agrícola;
- 2- Introdução do querosene vegetal de aviação (Prosene) como combustível de aviação ⇒ em perspectiva de longo prazo e considerando lenta e gradual entrada do Prosene no mercado nacional de combustíveis aeronáuticos;
- 3- Ampla utilização de materiais de baixa densidade ⇒ apesar de, em princípio, esta estratégia apresentar-se como uma perspectiva *business as usual* (manutenção das tendências atuais), estima-se haver relevante potencial no país para a ampliação do emprego de materiais de baixa densidade na construção de aeronaves (pela indústria aeronáutica nacional, em especial).

Grupo II (estratégias que dependem mais da introdução no setor aéreo nacional de novos gerenciamentos ou políticas do que de novas tecnologias):

- 1- Introdução de sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo ⇒ por já constar no planejamento das ações futuras do Comando da Aeronáutica e do próprio DAC, estima-se ser considerável a perspectiva de que esta estratégia torne-se viável até o fim da presente década;

2- Aumento da taxa de ocupação das aeronaves \Rightarrow por ser uma estratégia capaz de melhorar a “saúde financeira” das empresas aéreas nacionais, estima-se que a mesma encerre considerável viabilidade;

3- Aplicação de regulamentações específicas \Rightarrow a avaliação de considerável viabilidade desta estratégia relaciona-se a uma tendência natural do setor aéreo nacional de sucatear aeronaves com tecnologias ultrapassadas (por uma questão de mercado, ou seja, em decorrência da própria elevada competitividade do setor de aviação).

Cabe ressaltar que a segmentação das estratégias de mitigação em dois grupos distintos deveu-se à nítida heterogeneidade entre estas. Assim, considerou-se como alternativas pertencentes ao “Grupo I” (estratégias que dependem de desenvolvimento tecnológico): ampla utilização de materiais de baixa densidade; introdução de combustíveis alternativos (Prosene, álcool hidratado e hidrogênio líquido); e substituição intermodal no trecho Rio de Janeiro – São Paulo¹⁴⁵. E, como estratégias integrantes do Grupo II (estratégias que dependem mais da introdução no setor aéreo nacional de novos gerenciamentos ou políticas do que de novas tecnologias): introdução de sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo; taxaço ao consumo de querosene de aviação no Brasil; redução da velocidade média dos vôos; aumento da taxa de ocupação das aeronaves; e aplicação de regulamentações específicas.

Estima-se, de uma forma geral, que as alternativas do Grupo II sejam as mais favoráveis no sentido de superar a inércia para viabilização. Afinal, dependem, basicamente, de decisões políticas ou planejamentos gerenciais adequados (e não também de avanços tecnológicos ou de elevado aporte de recursos econômicos, tal como a substituição intermodal investigada). Tratando-se das estratégias do Grupo II, sob o prisma tecnológico e comercial, estima-se ser de alta viabilidade a introdução do álcool hidratado como combustível aeronáutico no Brasil.

¹⁴⁵ Devido ao elevado porte do investimento, a substituição intermodal, analisada no item 6.5 deste trabalho, não foi classificada como uma das alternativas mais viáveis dentre as alternativas do Grupo I.

6.9 – Emissões de CO₂ devido à Atividade Aérea no Brasil: Projeção Referencial/Emissões X Projeção “Ampla Mitigação”

Para avaliar a evolução da Projeção Referencial/Emissões (Figura 5.13) frente a uma projeção que incorporasse as 10 estratégias de mitigação analisadas, elaborou-se a Projeção “Ampla Mitigação”. Nesta projeção, os agentes atuantes no setor aéreo brasileiro passam a promover ações integradas no sentido de minimizar, o quanto possível, a degradação ambiental (em especial, aquela gerada por gases de Efeito Estufa). Nesse contexto, empresas e indústrias do setor passam a vislumbrar o marketing associado ao emprego de estratégias de mitigação de emissões de CO₂ como forma de atingir um melhor posicionamento no caracteristicamente ultracompetitivo mercado do setor aéreo.

No âmbito da implementação de estratégias de mitigação de emissões de CO₂, empresas aéreas e o Governo passam a apoiar programas de pesquisa e desenvolvimento de combustíveis aeronáuticos alternativos, tais como o Prosene, o álcool hidratado e o hidrogênio líquido, objetivando, com isto, reduzir a vulnerabilidade do setor aéreo nacional frente aos preços internacionais dos derivados de petróleo (≡ obtenção de economia de divisas), aumentar a oferta de empregos (pelo plantio da cana-de-açúcar, matéria-prima para o fabrico do álcool, por exemplo) e atingir menores níveis de emissão de poluentes.

Na Projeção “Ampla Mitigação”, a indústria aeronáutica brasileira estará amadurecida, tecnológica e economicamente a ponto de desenvolver, produzir e adotar ligas aeronáuticas e materiais compostos de baixa densidade na construção de novas aeronaves. O objetivo seria propiciar aos agentes atuantes no setor aéreo nacional vantagens competitivas, tais como: redução dos custos relacionados à manutenção das aeronaves e aumento das autonomias de vôo (reduzindo, assim, o consumo de combustível).

Além destas alternativas de mitigação, a Projeção “Ampla Mitigação” contempla a introdução de um sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo (tal como o GFTA); a redução da velocidade média dos vôos; o aumento da taxa de ocupação das aeronaves; e a aplicação de regulamentações específicas. Até mesmo uma estratégia de mitigação menos “ortodoxa” e mais onerosa como a proposta de substituição intermodal “aeronaves x trens de alta velocidade” para o trecho Rio de Janeiro – São Paulo irá se

tornar uma realidade na projeção em questão. Nesse sentido, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pode influir positivamente, auxiliando a viabilizar economicamente a intermodalidade proposta.

Cabe ressaltar que uma Projeção “Mediana Mitigação” (que contemplasse a introdução de algumas das estratégias de mitigação exploradas neste estudo), ou mesmo uma projeção do tipo “Reduzida Mitigação” (que contemplasse a introdução de apenas uma ou outra estratégia de mitigação investigada neste estudo), possivelmente se aproximaria mais do que efetivamente tornar-se-á realidade. Entretanto, a filosofia inclusa na elaboração da Projeção “Ampla Mitigação” é investigar o potencial máximo de emissões evitadas de CO₂ associadas ao transporte aéreo brasileiro. Enfim, a idéia seria algo como avaliar o quão distante estaria o setor aéreo brasileiro, em evolução baseada na manutenção das tendências atuais (Projeção Referencial/Emissões), frente aquilo que se poderia considerar como “setor aéreo sustentável” (em especial sob o prisma ambiental e, mais precisamente, sob a ótica das emissões de CO₂).

A figura apresentada, a seguir, ilustra a Projeção “Ampla Mitigação”, elaborada com base na adoção conjunta de todas as premissas e considerações inclusas na descrição de cada uma das 10 estratégias de mitigação de emissões de CO₂ analisadas, no que diz respeito à redução de emissões de CO₂, frente à Projeção Referencial/Emissões.

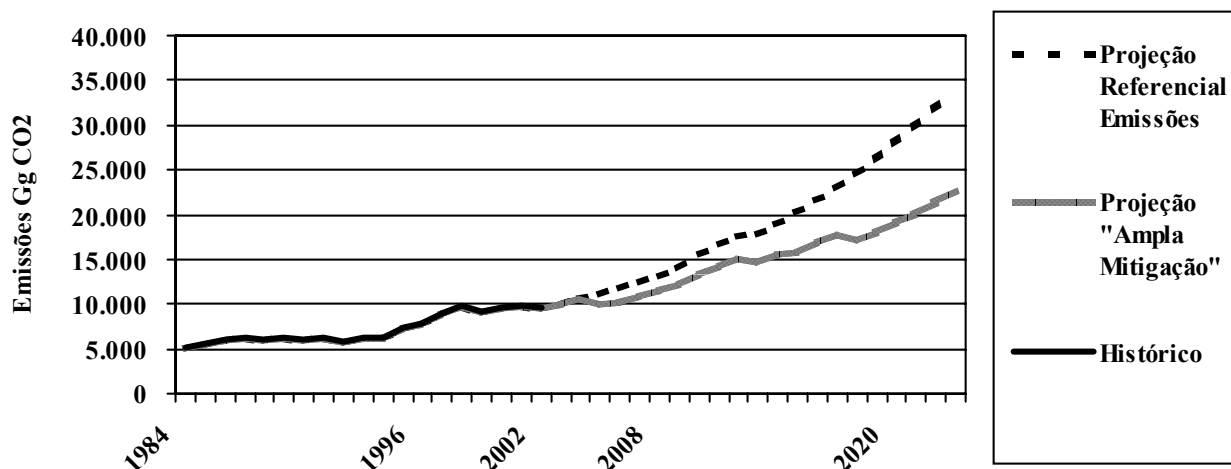


Figura 6.7: Emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro: histórico (1984-2002) e Projeção Referencial/Emissões x Projeção “Ampla Mitigação” (2003-2023) (Gg CO₂)

Considerações finais sobre o Capítulo VI

Comparando a Projeção “Ampla Mitigação” com a Projeção Referencial/Emissões, observa-se que a redução percentual nas emissões de CO₂ varia entre 11%, em 2005 (quando as estratégias de mitigação começam a “surtir efeito”) a 32,4% em 2023. Verifica-se, também, que a redução acumulada devido à adoção conjunta das 10 estratégias de mitigação analisadas no período de 2002 a 2023 chega a atingir quase 90.000 GgCO₂ – valor equivalente ao total de emissões de CO₂ pelo setor aéreo brasileiro no período 1990-2001.

Conforme analisado no item 6.8 do presente Capítulo, muito mais importante que o volume estimado de emissões evitadas de CO₂ por determinada estratégia é questão da viabilidade prática de implementação dessa estratégia. Entretanto, o percentual estimado de 32,4% fornece indícios sobre a validade de esforços iniciados desde já na direção da mínima degradação ambiental possível (e reduzida impactação à matriz energética nacional) a ser gerada pela atividade aérea no Brasil.

CAPÍTULO VII – DISCUSSÃO FINAL, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As alterações no clima da Terra podem resultar dos seguintes fatores: forçamentos naturais externos, processos internos ao sistema climático e também de alterações antropogênicas na composição da atmosfera ou no uso dos solos. A Convenção das Nações Unidas para as Alterações Climáticas define “mudança climática” como um processo gerado direta ou indiretamente pelas atividades humanas e define “variabilidade climática” como a mudança climática devido a causas naturais (GRAEDEL e CRUTZEN, 1997).

Os mais importantes forçamentos naturais externos que provocam alterações no clima, através de alterações no equilíbrio energético da atmosfera, são as variações nos parâmetros que definem a órbita da Terra¹⁴⁶ em torno do sol e as variações na luminosidade do sol.

Já a mudança climática antropogênica resulta, fundamentalmente, de alterações na composição da atmosfera, principalmente aquelas geradas pela emissão de gases de Efeito Estufa (GEE). Tais gases absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e pela baixa atmosfera. Quando aumenta a concentração destes gases, uma maior quantidade de energia é “aprisionada”, causando um aumento de temperatura na baixa troposfera. Tal fenômeno, que podemos chamar de Efeito Estufa Natural, aumenta a temperatura média da superfície terrestre em cerca de 32°C, desde -18°C até 14°C. Assim, como se vê, o Efeito Estufa é essencial para a manutenção da vida no planeta (NOBRE, 1992). O que vem preocupando a comunidade científica internacional é a intensificação antropogênica do Efeito Estufa que, de fato, pode afetar todo o equilíbrio dos sistemas biológicos terrestres.

Dentre os GEE, o CO₂ é o mais importante. O aumento da concentração deste gás desde 1750 a 2000 é responsável por cerca de 60% do forçamento radiativo que todas as emissões antropogênicas de GEE causaram durante o mesmo período¹⁴⁷. Ou seja, desde o começo da revolução Industrial, o CO₂, é a principal causa (porém não a única) do Efeito Estufa antropogênico (IPCC, 2001). As conseqüências da intensificação antropogênica do

¹⁴⁶ As variações na órbita da Terra ocorrem lentamente, ao longo de períodos de tempo que variam de 20.000 a 40.000 anos. De acordo com o IPCC, tais variações seriam responsáveis pela alternância dos períodos glaciares e interglaciares (IPCC, 2001).

¹⁴⁷ A concentração atmosférica do CO₂ aumentou 31% desde 1750 a 2000, atingindo cerca de 365 ppmv (partes por milhão em volume) (IPCC, 2001).

Efeito Estufa, conforme consensua a Comunidade Científica (IPCC, 2001) são extremamente impactantes aos seres vivos, sob diversos aspectos (conforme analisado no item 2.2 do Capítulo II do presente Estudo).

No contexto de intensificação antropogênica do Efeito Estufa, a participação do setor de transportes é relevante, contribuindo com cerca de 13% de todo o CO₂ emitido pelas diversas atividades humanas. E, conforme mencionado anteriormente (na Introdução e no Capítulo II do presente Estudo), desde o início dos anos noventa, o modal aéreo é aquele que tem apresentado as maiores taxa de crescimento para tais emissões (IPCC, 1999).

Atualmente, a aviação contribui com cerca de 3,5% da emissão antropogênica de CO₂. E, pelos diversos aspectos analisados nos Capítulos II e III deste Trabalho, conclui-se que há a necessidade da implementação de (mais) políticas balanceadas e integradas voltadas a imprimir sustentabilidade ao transporte aéreo mundial. O esforço dos principais agentes deste setor nesse sentido, aparentemente, não condiz com as expectativas da comunidade científica internacional – especialmente, com as previsões do IPCC (1999) - de acentuada expansão do volume de CO₂ a ser emitido pela aviação mundial nas próximas décadas (e mesmo com o porte atual dessas emissões).

De fato, de acordo com estudo realizado pela *Aviation Environmental Federation* (conforme visto no item 2.2.1.5 do presente Estudo), a atividade aérea, como um todo (avaliada pelos parâmetros pax-km e ton-km), crescerá cerca de 100% nos próximos 20 anos (AEF, 2001). Nesse contexto, a emissão de CO₂ terá aumentado em cerca de 80% (AEF, 2001). Há, inclusive, estimativas que prevêem um aumento da ordem de 300% para tais emissões (comparando os anos de 2001 e 2020) (T&E, 1999). Tais percentuais traduzem o quão influente na intensificação antropogênica do CO₂ pode se tornar o setor aéreo caso medidas de mitigação não sejam, desde já, estudadas e implementadas.

Os exemplos analisados no Capítulo III de políticas internacionais voltadas a minimizar os impactos ambientais decorrentes da atividade aérea são ainda incipientes, especialmente com relação a reduzir as emissões aeronáuticas de GEE. Não há, por exemplo, qualquer tipo de regulamentação voltada às emissões das aeronaves quando em voo de cruzeiro (entre 11.550 13.860 metros de altitude). Há de se ressaltar, porém, alguns “bons exemplos” no sentido de internalizar as externalidades ambientais associadas à

atividade aérea (tais como determinadas regulamentações específicas introduzidas em países escandinavos, conforme visto no item 3.2 do Capítulo III).

No caso do Brasil, tais políticas são, praticamente, inexistentes. E, cabe ressaltar que, sob a hipótese de crescimento econômico constante (e expressivo) e considerando avanços no processo de desregulamentação do setor aéreo brasileiro, há fatores particulares ao país que tendem a alavancar, sobremaneira, a demanda por aviação durante as duas próximas décadas (já em processo de expansão, conforme analisado no Capítulo IV deste Trabalho). Tais fatores incluem: crescimento econômico agregado a melhores níveis de distribuição de renda (com isto, mais pessoas terão acesso ao transporte aéreo); acentuada demanda reprimida; dimensões continentais do país; e boa infra-estrutura aeroportuária. O próprio IPCC prevê uma “explosão” na demanda por serviços aéreos em países em desenvolvimento e de base industrializada, como o Brasil, a partir de 2015 ¹⁴⁸(IPCC, 1999). Nesse contexto, é essencial planejar, desde já, alternativas que induzam a reduções nas emissões de CO₂ devido ao transporte aéreo brasileiro. Previne-se, assim, o agravamento de problemas ambientais de âmbito global.

O Capítulo I, que caracteriza de forma panorâmica o setor aéreo brasileiro traduz, de forma implícita, que este setor da economia nacional está, sob determinados aspectos (tal como o nível de segurança dos vôos ou o relevante porte da indústria aeronáutica nacional), maduro o suficiente para experimentar um provável processo de forte expansão. De fato, ao comparar-se o setor aéreo brasileiro com o de países selecionados (Figura 4.5), pode-se concluir que o crescimento deste setor da economia nacional, na última década, esteve entre os maiores do mundo.

A evolução histórica, o atual processo de desregulamentação, o desempenho recente e as características gerais do setor aéreo brasileiro fornecem indícios estruturais e/ou conjunturais de que, de uma forma geral, o transporte aéreo brasileiro está “mais para o de um país desenvolvido do que para o de um país em desenvolvimento”. Naturalmente, alguns aspectos ainda não são comparáveis, tal como o número de vôos por habitante. Afinal, o Brasil é um país onde as desigualdades sociais (geradas, principalmente, pela má distribuição de renda) são flagrantes.

¹⁴⁸ Conforme explicita a Projeção Superior da Demanda Detalhada do DAC/IAC (IAC, 2004) para o caso da evolução do parâmetro ton-km (Figura 4.11 do Capítulo IV) até 2023, mesmo um crescimento da ordem de 700% para o referido parâmetro não seria improvável.

Em relação ao inventário das emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil, conclui-se que cerca de 9.515 Gg deste GEE foram emitidas ao meio ambiente atmosférico, em 2002 (ver Tabela 5.8 e Figura 5.12). Tal volume equivale a cerca de 7% das emissões anuais brasileiras deste gás.

Os resultados das projeções desenvolvidas no Capítulo IV deste Trabalho para avaliação do comportamento futuro da demanda por aviação no Brasil (avaliada, no caso, através do parâmetro pax-km) indicam que tal demanda pode tornar-se, em 2023, de duas (Projeção Baixa/Aviação) a onze vezes (Projeção Alta/Aviação) superior à registrada em 2002. Já para as projeções correspondentes do Estudo de Demanda Detalhada do DAC/IAC (IAC, 2003a), a atividade aérea no país crescerá entre 300% (Projeção Superior) e 460% (Projeção Inferior). No caso do parâmetro ton-km, estimam-se crescimentos ainda superiores (tanto no caso das projeções Alta/Aviação e Baixa/Aviação, como no caso das projeções Superior e Inferior do DAC/IAC). Em que pese as incertezas associadas a estas projeções (especialmente no caso das projeções desenvolvidas integralmente neste Estudo), não há dúvidas quanto à real possibilidade de haver no futuro uma maior geração de impactos (ambientais e na matriz energética nacional), devido à atividade aérea no Brasil. Nesse contexto, um exercício de projeção de cenários energéticos e de emissões de CO₂ mostrou-se oportuno.

Projeções de médio e longo prazo para a evolução da demanda por energia e das emissões de CO₂ devido ao setor aéreo brasileiro encerram, em si, largas possibilidades de variação, em particular associadas às mudanças tecnológicas e aos efeitos das demais fontes energéticas. Não obstante, mesmo frente a incertezas desta ordem, e reconhecendo o caráter não renovável das reservas de petróleo, matéria-prima para a produção da gasolina de aviação e do QAV, cabe construir para o setor aéreo brasileiro uma perspectiva futura menos degradante do ponto de vista ambiental. Nesse contexto, elaborou-se a Projeção “Ampla Mitigação”, que encerra a adoção conjunta das 10 estratégias de mitigação para as emissões de CO₂ devido ao setor aéreo brasileiro investigadas neste Trabalho.

Comparando a Projeção “Ampla Mitigação” com a Projeção Referencial/Emissões (Figura 6.7), observa-se que a redução percentual nas emissões de CO₂ varia entre 11%, em 2005, a 32,4% em 2023. No contexto de provável (acentuada) expansão na demanda por aviação no Brasil e na provável perspectiva futura de intensificação antropogênica do

Efeito Estufa a redução estimada de cerca de 90.000 Gg CO₂ nas emissões de CO₂ pelo transporte aéreo brasileiro (em relação à Projeção Referencial/Emissões, no período 2002-2023) mostra-se absolutamente oportuna. Ainda mais, considerando a hipótese de que no futuro o Brasil possa ter de restringir suas emissões de CO₂, assim como os países integrantes do ANEXO I deverão fazer, assim que o Protocolo de Quito for ratificado. Cabe ressaltar que, atualmente, países como EUA e Canadá já se manifestaram (em recentes convenções internacionais sobre o clima terrestre) a favor de que os países em desenvolvimento e de base industrializada (tais como Brasil, China e Índia) também limitem suas emissões de CO₂. No caso dos EUA, esta proposta encerra óbvia incoerência na medida em que este país reluta em ratificar o referido Protocolo¹⁴⁹.

Ressalta-se que os valores numéricos resultantes das projeções desenvolvidas neste Trabalho devem ser relativizados, ou seja, por terem sido gerados a partir de premissas, hipóteses e/ou considerações, o valor numérico preciso desses valores, por coerência, não deve ser rigorosamente considerado. Entretanto, a diferença, por vezes significativa (sob a perspectiva das emissões de CO₂) entre os valores referentes às projeções Referencial/Emissões e “Ampla Mitigação” (Figura 6.7) e entre as 10 alternativas de mitigação analisadas fornece indícios importantes capazes de subsidiarem análises consistentes.

Na verdade, a questão das mudanças climáticas encerra inúmeras incertezas. Tanto as emissões futuras de GEE, com os seus efeitos sobre o sistema climático, bem como as conseqüências que daí resultam no meio ambiente e na economia estão sujeitos a incertezas.

Encontram-se incertezas nas várias fases de um processo de avaliação dos impactos das alterações climáticas e medidas de adaptação. Há incertezas nos cenários das emissões de GEE. Os cenários climáticos resultam de simulações obtidas através de modelos do sistema climático, obviamente simplificados, que não conseguem reproduzir a sua complexidade especialmente à escala regional e a escalas de menor dimensão. Há também incertezas nos cenários sócio-econômicos necessários para fazer estimativas dos impactos

¹⁴⁹ Estima-se que a relutância dos EUA e da Rússia em ratificar o Protocolo de Quioto inibe os esforços da ciência e da sociedade, de uma forma geral, em conter a intensificação antropogênica do Efeito Estufa.

futuros das alterações climáticas. Finalmente, há incertezas envolvidas na avaliação dos impactos e respectivas medidas de adaptação concebidas para reduzir os efeitos adversos.

Enfim, neste tipo de trabalho deve-se considerar que o erro é inerente à ciência de projetar, ou seja, por mais sofisticada que seja a técnica, jamais será possível obter certeza absoluta quanto ao que acontecerá no futuro. O desenvolvimento cada vez maior das técnicas estatísticas e econométricas procura apenas minimizar a ocorrência das incertezas próprias desse processo. Em função disso, as previsões, de uma forma geral, são fornecidas em faixas, propiciando uma maior flexibilidade ao planejador para lidar com as incertezas envolvidas.

A forma de discutir e apresentar estas incertezas aos decisores políticos (e à sociedade, de uma forma geral) pode influir, decisivamente, no grifo da importância de que medidas de mitigação para emissões de CO₂ (pela aviação brasileira, por exemplo) sejam implementadas.

As incertezas só não recaem sobre a certeza de que o atual modelo de desenvolvimento das modernas sociedades industrializadas não contempla devidamente a esgotabilidade dos recursos naturais.

Em relação às alternativas de mitigação analisadas neste Trabalho, conclui-se não ser correto recomendar a introdução de uma ou outra alternativa de mitigação baseando-se somente no potencial estimado de redução nas emissões de CO₂. Afinal, conforme mencionado no item 6.8 do presente estudo, há de se considerar os benefícios indiretos de cada uma das alternativas, além da própria inércia a ser vencida para viabilização da alternativa (sob o prisma financeiro, tecnológico ou político, por exemplo).

Conclui-se que as alternativas que dependam de decisões políticas ou planejamentos gerenciais adequados (e não também de avanços tecnológicos ou de elevado aporte de recursos econômicos, tal como a substituição intermodal investigada) sejam as mais favoráveis no sentido de superar a inércia para viabilização. Nesse sentido, poder-se-ia citar a introdução de um sistema amplo e integrado de tráfego aéreo; o aumento da taxa de ocupação das aeronaves e a aplicação de regulamentações específicas.

Com relação às alternativas de mitigação que dependam de desenvolvimento tecnológico, conclui-se que a introdução do álcool hidratado como combustível aeronáutico

é a alternativa mais viável (tanto sob o prisma tecnológico como sob o prisma mercadológico).

Recomenda-se que nenhuma das alternativas de mitigação analisadas seja, em princípio, descartada. Ou seja, recomenda-se um esforço conjunto por parte dos diversos agentes atuantes no setor aéreo do País (Governo, empresas aéreas, indústrias aeronáuticas, centros de pesquisa, etc.) no sentido de viabilizar todas as 10 alternativas investigadas (ou a maioria delas). Recomenda-se, porém, que esse esforço conjunto se inicie pela implementação de um sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo. Afinal, estima-se ser esta a alternativa de mitigação (dentre as 10 analisadas) que otimiza a redução nas emissões de CO₂ com a inércia a ser vencida para viabilização e com os benefícios indiretos gerados. Além disso, políticas que visam reduzir o congestionamento do tráfego aéreo podem reduzir emissões ao mesmo tempo em que melhoram a segurança. Nesse sentido, cabe ressaltar que há estudos que prevêem, para o ano de 2010, a ocorrência de 1 acidente aéreo de grandes proporções por semana, considerando a manutenção das atuais taxas médias mundiais de crescimento deste setor (IPCC, 1999).

Nesse contexto, cabe mencionar ainda que avanços nos sistemas de reservas, políticas visando o aumento da taxa de ocupação das poltronas e esforços no sentido de desencorajar os vôos simultâneos de aviões parcialmente cheios com o mesmo itinerário poderão também reduzir o congestionamento¹⁵⁰, minimizar os atrasos na aterrissagem e diminuir as emissões. Considerando a hipótese de avanço na conscientização da sociedade a respeito da importância (para as gerações atual e futura) de se conter o avanço da Mudança Climática (antropogênica), a introdução de impostos suplementares sobre os combustíveis de aviação também poderá ter um papel relevante na promoção de eficiência energética do modal aéreo brasileiro.

Uma consequência quase que natural do presente Trabalho é a recomendação de que o DAC e o IAC, em próximos estudos, passem a contemplar também¹⁵¹ a variável “emissão de CO₂” como parâmetro de avaliação do setor aéreo brasileiro. Por conta da crescente

¹⁵⁰ O congestionamento de aeroportos implica em atrasos significativos para vários destinos e contribui para um consumo de combustível aeronáutico maior que o necessário (FILHO, JÚDICE e QUINTANS, 1996).

¹⁵¹ Além de diversos outros parâmetros atualmente considerados nos estudos desenvolvidos pelo DAC e pelo IAC, tais como passageiros e cargas transportados, consumo de combustível, etapa-média, atrasos nos vôos, etc.

importância da questão da Mudança Climática, isto já vem ocorrendo em diversos outros países da Europa e nos Estados Unidos.

Em contraste a outros setores da economia mundial, o setor aéreo, historicamente, tem evoluído de forma distanciada do conceito de desenvolvimento sustentável. Nos últimos 20 ou 30 anos, muitos setores da indústria tiveram (por forças de mercado, principalmente) de se adequar a um novo contexto de crescentes restrições ambientais. O setor aéreo, no entanto, tem evoluído quase que incólume a este processo, praticamente evoluindo na direção oposta, ou seja, maximizando o crescimento, sem a devida preocupação com os impactos energéticos e ambientais associados. Espera-se que o presente Trabalho possa auxiliar (mesmo que minimamente) na reversão deste processo, ou seja, gerando contribuições para que o transporte aéreo aproxime-se mais do conceito de sustentabilidade (ou seja, considerando o equitativo desenvolvimento sócio-econômico-ambiental).

Sem dúvida, um dos grandes desafios para o setor aéreo, brasileiro e mundial, no século XXI, será compatibilizar a inevitável expansão na demanda com a minimização de poluentes atmosféricos. No caso do Brasil (e dos demais países em desenvolvimento), esse desafio torna-se ainda maior. Afinal, questões ambientais fundamentais, como a proteção da atmosfera terrestre, poderão não ser prioritárias para o Governo, tendo em vista que problemas de maior prioridade (no contexto de um país em desenvolvimento), como as necessidades básicas da maioria da população, ainda não foram satisfatoriamente atendidas merecendo, com razão, uma urgência maior de tratamento.

7.1 – Sugestões para Trabalhos Futuros

No desenvolvimento deste Estudo foi possível detectar algumas dificuldades ou lacunas, que poderiam vir a tornar-se temas de trabalhos futuros. Nesse contexto, lista-se a seguir algumas sugestões para a realização de trabalhos complementares a este.

- Reconhecendo-se a trivialidade dos modelos adotados nas projeções desenvolvidas no presente Estudo, recomenda-se o desenvolvimento de modelos mais robustos para tal finalidade que agreguem, por exemplo, uma maior quantidade de parâmetros para a

caracterização do setor aéreo brasileiro (tal como o Estudo de Demanda Detalhada do DACI/IAC);

- Recomenda-se a realização de um estudo quantitativo a respeito dos impactos ambientais de abrangência local (inclusive nas áreas dos aeroportos) causados pela aviação no Brasil;
- Recomenda-se a aplicação da metodologia *bottom-up* para o cálculo do inventário das emissões de CO₂ devido à atividade aérea no Brasil. Para, em seguida, comparar-se com os valores calculados nesta tese através da metodologia *top-down*. Estima-se que o próprio ineditismo e complexidade inerente à aplicação da *bottom-up* já agregariam relevância científica a este trabalho em proposição;
- Recomenda-se a realização de um estudo que analise a questão do atendimento futuro à demanda (crescente) por querosene de aviação no Brasil, na perspectiva de aumento da participação de óleos pesados¹⁵² na produção nacional petrolífera. A questão proposta é pertinente na medida em que os óleos pesados tendem a gerar menores frações de derivados leves e médios (como o diesel e o querosene de aviação). Assim, por exemplo, qual seria a melhor solução: complexificação do parque nacional de refino?; Aumento das importações de QAV?; Viabilização, o quanto antes, de estratégias voltadas a redução do consumo energético pela aviação no país?; Ou redução na demanda por aviação?
- Recomenda-se a realização de um estudo que avalie o porte das emissões de CO₂ evitadas indiretamente devido à implementação de um sistema de trens de alta velocidade no trecho Rio de Janeiro – São Paulo. Ou seja, a influência desta estratégia nos demais modais disponíveis no trecho em questão, sob a ótica das emissões de CO₂. Tal proposta se justifica na medida em que a viabilização desta alternativa irá depender, muito provavelmente, da aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;

¹⁵² Entre 10 e 22,3°API, segundo definição da PETROBRAS (2003).

- Recomenda-se a realização de um estudo de viabilização técnica e econômica mais aprofundado com relação às estratégias de mitigação propostas nesta Tese. Em especial, no caso da introdução do álcool hidratado como combustível aeronáutico e no caso da implementação de um sistema amplo e integrado de controle de tráfego aéreo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEF – AVIATION ENVIRONMENT FEDERATION, 1997, Flying green,
www.aef.org.uk/aefinfo/publications.htm

AEF – AVIATION ENVIRONMENT FEDERATION, 2000, From planes to trains,
www.aef.org.uk/aefinfo/publications.htm

AEF – AVIATION ENVIRONMENT FEDERATION, 2001, Flying into trouble,
www.aef.org.uk/aefinfo/publications.htm

AEF – AVIATION ENVIRONMENT FEDERATION, 2003, The hidden cost of flying,
www.aef.org.uk/aefinfo/publications.htm

AIR FRANCE, 2003, www.airfrance.com

AIRBUS INDUSTRIE, 1995, *Previsão de tráfego doméstico no Brasil*. Toulouse: Airline
Market Department – Airbus Industrie, 29p.

AIRLINES INTERNATIONAL, 1997, v. 4 (Jul/Aug).

AIRWAYS, 2001, v. 3 (May/Jun).

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS
AUTOMOTORES, 2000, www.anfavea.com.br

ANGELL, C. D., 1989, “Mobility futures: an overview”, *Transportation quarterly*, v. 43,
n. 4 (Oct), pp. 549-553, Connecticut, USA.

- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2001, Anuário estatístico, ano base 2000.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2002, Anuário estatístico, ano base 2001.
- ARPEL – REGIONAL ASSOCIATION OF OIL AND NATURAL GAS COMPANIES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN, 2001. In: *Notas da apresentação da ARPEL no International Jet Fuel Seminar*, Rio de Janeiro, April.
- ASSIS, C., 2000, *Brasil 21 – Uma nova ética para o desenvolvimento*. 2 ed. Rio de Janeiro, CREA.
- AZUAGA, D., 2000, *Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BAKAN et al., 1994, “Controil frequency over Europe from NCAA satellite images”. *Annales Geophysicae*.
- BARBOSA, J. M. H., 1983, *Um Modelo de Demanda para a Ponte Aérea Rio – São Paulo*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BARBOZA, A. C., 1996, *Análise de investimentos em refino na Petrobras em ambiente concorrencial*. Tese de M.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- BARRET, M., 1997, *Environment charges for controlling greenhouse gas emissions from civil aviation*. In: WWF, London.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 1997. *Macrocenários Econômicos*. In: BNDES.

BODMER, M., 1984, *Análise dos elementos comportamentais da demanda*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BOEING, 1997, *World air travel demand and airplane supply requirements*. In: Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, WA, USA, 51pp.

BOEING, 1998, *Current market outlook*. In: Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, WA, USA, March, 60 pp.

BOEING, 2003, www.boeing.com

BORGES, A. V. R., 1996, *Uma contribuição ao planejamento da escala de vôo de tripulantes no Brasil*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BR, 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

BRAGA, A. F., 2003, Instituto de Aviação Civil, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

BRASSEUR et al., 1996, "Atmospheric impact of NO_x emissions by sub-sonic aircraft. A three dimensional model study", *Geophysical Research*, 101, pp. 1423-1428.

BRETTAS, L., 2001, *Gestão ambiental em companhias de aviação: Estudo de caso na VARIG*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BRITISH AIRWAYS, 1996, *Aviation and the environment*. In: British Airways, London, UK.

BRITISH AIRWAYS, 1998, *Annual Environmental Report*. In: British Airways, London, UK.

BRITISH AIRWAYS, 1999, Environmental Report, London, www.british-airways.com

- BROCKHAGEN, D., 1996, *Klimaschädlichkeit des Flugverkehrs (Climate Damage Caused by Aviation)*. In: Greenpeace Germany, Hamburg.
- BTS, 1999, G-7 countries: transportation highlights. Bureau of transportation Statistics, U. S. Department of Transportation, Washington D. C.,
www.bts.gov/itt/g7highlightsnov99/g-7book.pdf
- BURMAN, P. K., 1999, *Uma análise do potencial de crescimento da carga aérea doméstica no Brasil*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CALDÉRON, J. D., 1997, “A demand model for scheduled airline services on international european routes”, *Journal of Air Transport Management*, v. 3, pp. 23-25.
- CAPROS, P., KOKKOLARIS, E., 1997, *Evaluation of EU policies and measures for Kyoto Targets*. In: NTUA/CEC, Athens/Brussels.
- CARLSSON, F., HAMMAR, H., 2002, “Incentive-based regulation of CO₂ emissions from international aviation”, *Journal of Air Transport Management*, 8:365-372.
- CARVALHO, F., 2003, www.revistadoplastico.com.br
- CASTELO CHAVES, M. A., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- CASTRO, G. C. de, 1983, *Qualidade de serviços aéreos segundo óticas dos componentes envolvidos: uma aplicação da técnica Delphi*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CASTRO, N. de, LAMY, P., 1993, *Desregulamentação do setor transporte e subsetor transporte aéreo de passageiros*. In: IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, texto para discussão, n. 319, outubro.

CBA – CÓDIGO BRASILEIRO DE AERONÁUTICA, 1986, Ministério da Aeronáutica.
Departamento de Aviação Civil, Brasil.

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2003, Comunicação pessoal,
Rio de Janeiro, RJ.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO
AMBIENTAL, 2002, www.cetesb.sp.gov.br

CHANT, C., 1975, *Aircraft: Fighters and bombers in action*, London, England, UK.,
Octopus Books Limited.

CHUVA ÁCIDA, 2001, www.cen.g12.br

COMCIÊNCIA, 2002, www.comciencia.com.br

COMAER – COMANDO MILITAR DA AERONÁUTICA, 2002, Ministério da
Aeronáutica, Comunicação Pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

COMAER – COMANDO MILITAR DA AERONÁUTICA, 2003, Ministério da
Aeronáutica, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

COMISSÃO EUROPÉIA, 1992, *The impact of transport on the environment*. In: Green
paper, COM (92) 46 final, Brussels.

COMISSÃO EUROPÉIA, 1996, *Impact of the third package of air transport liberalization*.
In: Measures, COM (96) 514 final, Brussels.

COMISSÃO EUROPÉIA, 1997, *The atmospheric effects of aircraft emissions*. In:
Assessment on behalf of the European Commission, draft, Brussels, January

COMISSÃO EUROPÉIA, 1998, *EU transport in figures – statistical pocketbook*. In: European Communities, Luxembourg.

COMISSÃO EUROPÉIA, 1999, *Air Transport and the Environment*. In: Towards Meeting the Challenges of Sustainable Development, Brussel: CEC.

COSTA, M. M., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

CTA – CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL, 2002, Comunicação Pessoal, São José dos Campos, SP.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 1997. *Anuário do Transporte Aéreo Brasileiro*. In: Ministério da Aeronáutica, v. I (1978-1996), Rio de Janeiro.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 1998. *Anuário do Transporte Aéreo*. In: Ministério da Aeronáutica, Rio de Janeiro, Brasil.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2000. Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2001, www.dac.gov.br

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2002. *Anuário Estatístico do Departamento de Aviação Civil*. In: Ano base 2001, Ministério da Aeronáutica, Rio de Janeiro.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003a, A evolução do transporte aéreo no Brasil, www.dac.gov.br

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003b, Estatísticas do Departamento de Aviação Civil, www.dac.gov.br

DAMERIS, M. et al., 1997, *Impact of aircraft NOx emission on tropospheric and stratospheric ozone*. In: Part II 3-D model results, report N°. 79, DLR Deutsche Forschungs-Anstalt für Luft und Raumfahrt (German Air and Space Research Center), Oberpfaffenhofen.

DAVIES, R. E. G., 1984, *Airlines of Latin America since 1919*. In: Smithsonian Institute Press, Washington D.C., United States of America.

DAVIS, S. C., 1999, *Transportation energy databook*. In: U. S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA.

DLR – DEUTSCHE LUFT-UND RAUMFAHRTGESELLS, 1997, *Separating traffic growth and fuel consumption*. In: BmBF press release, Chafth, Lufthansa, Bonn, 20 October.

DOGANIS, R., 1996, *Flying Off Course – The Economics of Airline*, 2 edição, New York, Routledge.

EGLI, R., 1995, “Climate effects of air traffic”, *Environmental Conservation*, v. 22 (3).

EIA – ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2000, *International energy outlook*. In: U.S. Department of Energy, Washington, D. C., www.eia.doe.gov/oiaf/ieo99/home.html

EIA – ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2001, *International energy outlook*. In: U.S. Department of Energy, Washington, D. C., www.eia.doe.gov/oiaf/ieo99/home.html

EMBRAER – EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S/A, 2002, Comunicação pessoal, São José dos Campos, SP.

EMBRAER – EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S/A, 2003,
www.embraer.com.br

EMBRAER – EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S/A, 2003a, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997, *Air and radiation*. In: 420-F-97-010, Environmental fact sheet, Washington, D. C.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999, Smog – Who does it hurt? What you need to know about ozone and your health, Washington, D. C.,
www.epa.gov.airnow/health

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000, *Acid rain program: sources*. Washington, DC., www.epa.gov/docs/acidrain/sources.html

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2001,
www.epa.gov

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002,
www.epa.gov/students/global-waming-us.htm

ESPÍRITO SANTO JUNIOR, R. A., 1996, *Estudo de Cenários Alternativos para a Aviação Comercial Brasileira: Transporte Regular de Passageiros*. Tese de M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, R. A., 2000, *Cenários futuros para o transporte aéreo internacional de passageiros no Brasil*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, R. A., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- ESTEVES, F. A., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- FAA – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1983, *Airport capacity and delay*. In: Department of Transportation – Office of Aviation Policy and Plans Statistics and Forecast Branch, Washington, D. C.
- FAA – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1997, *Aviation Forecast – Fiscal Year 1997-2008*. In: Department of Transportation – Office of Aviation Policy and Plans Statistics and Forecast Branch, Washington, D. C.
- FAA – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1999, *Aerospace Forecasts*. In: Department of Transportation – Office of Aviation Policy and Plans Statistics and Forecast Branch, Washington, D. C.
- FAA – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2002, www.faa.gov
- FACHETTI, A. M. et al., 2000, “Caracterização do biodiesel para uso automotivo”. I^o Encontro PETROBRAS de Gás Natural & Energia, Rio de Janeiro.
- FALCÃO, A. R. B., 2000, *As estatais energéticas e a economia do Estado do Rio de Janeiro na década de 90*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FALK, P., 1999, *Estimating the fuel used and NO_x produced from civil passenger aircraft*. In: Report DTI/EID3C/199803, ANCAT/EC 2.

- FERRAZ, R., GUALDA, N., 1993, “Ligação aérea Rio – São Paulo: Análise da demanda pelo método Delphi”. In: Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- FILHO ALLEMANDER, J. P., RAMOS, R. F., CARVALHO, R. B., SILVEIRA, J. A., BURMAN, P. K., 1998, *Demanda Global do Transporte Aéreo*. In: Ministério da Aeronáutica, Departamento de Aviação Civil, 1 edição.
- FILHO, R.C., JÚDICE, C.E.C., QUINTANS, L.A., 1996, “Gerenciamento do Fluxo de Tráfego Aéreo – GFTA”. In: *Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia*, v. III, pp. 988-993.
- FLEMING, K., GHOBRIAL, A., 1994, “An analysis of the determinants of regional air travel demand”, *Transportation Planning and Technology*, v.18, pp. 37-44.
- FLOWER, H.M, GREGSON, P.J., 1987, “Solid state phase transformations in aluminium alloys containing lithium”, *Mater. Sci. Technol.*, pp. 3-81.
- FORTUIN et al., 1995, “Greenhouse effects of aircraft emissions as calculated by a radiative transfer model”. In: *Annales Geophysicae 13*, pp. 413-418.
- FRANCO, F., 1976, *Previsão de tráfego aéreo através de modelos econométricos: uma aplicação ao Brasil*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FRANSEN, W. et al., 1984, *Atmospheric effects of high-flying sub-sonic air traffic on operational measures to mitigate these effects*. In: Ministry of transport, public works and water management, Directorat General of Civil Aviation, UK.
- GARDNER et al., 1996, “A global inventory of aircraft NOx emissions in impact of aircraft emissions upon the atmosphere”. *International Colloquium*, v. 1, Onera, Paris, 15-18 October.

GARIO – GERÊNCIA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO,
2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

GARIO – GERÊNCIA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO,
2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

GAZETA MERCANTIL, 2002, www.gazeta.com.br

GAZETA MERCANTIL, 2003, www.gazeta.com.br

GEIPOT – EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES,
Anuário Estatístico dos Transportes 2000. Ministério dos Transportes, Brasília,
Distrito Federal.

GEIPOT – EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES,
Anuário Estatístico dos Transportes 2001. Ministério dos Transportes, Brasília,
Distrito Federal.

GHOBRIAL, A., KANAFANI, A., 1995, “Quality-of-service model of intercity air-travel
Demand”, *Journal of Transportation Engineering*, v. 121, n. 2 (Mar/Apr).

GODEFROID, L. B., 1993, *Propagação de Trinca por Fadiga sob Carregamento com
Amplitude Constante e Variável em Ligas de Alumínio para Indústria Aeronáutica*.
Tese de M.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GRAEDEL, T. E., CRUTZEN, P. J., 1997, *Atmosphere, climate and change*. New York,
Scientific American Library.

GRAF et al., 1996, *Simulation of mean spatial dissemination of air traffic emissions in
vicinity of Munich airport*. In: A study of Bavarian Bay Forklim climate research
program, Munich.

- GREAT BRITAIN, 1986, *Transport and the environment*. In: Royal Commission on Environmental pollution.
- GREENE, D. L., 1995, "Commercial air transport energy use and emissions: is technology enough?". *Conference on lasting traffic strategies*, California, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
- GREENE, D. L., 1997, *Why CAFE worked*. In: U.S. Department of Energy, Center for Transportation Analysis, Oak Ridge, National Laboratory, Tennessee.
- GREENHOUSE, 2003, www.greenhouse.gov.au
- GROSSI, V., 1998, "Um novo tempo para a aviação comercial brasileira", *Revista Direito Espacial*, julho, pp.2-7.
- HADALLER, O. J., MOMENTHY, A. M., 1990, *Characteristics of future fuels*. In: D6-54940, Boeing Commercial Airplane Company, Seattle, WA, USA, September.
- HADLEY CENTER, 1999, www.met-office.gov.uk
- HÉMERY, D., DEBIER, J., DELÉAGE, J., 1993, *Uma história da energia*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- HOFMAN, D. J., 1992, "The effect of stratospheric water vapor on the heterogeneous reaction rate of ClONO_2 and H_2O for sulphuric acid aerosol", *Geophysical Research Letters*, v. 19, pp. 4.
- HUGHES, P., 1994, "Planning for reduced carbon dioxide emissions from transport sources". *Transportation planning systems*, v. 2, n.1, pp. 29-40.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2000, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2001, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003a. Informações sobre o Estudo de Demanda Detalhada do DAC/IAC, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

IATA – INTERNATIONAL AIRLINE TRANSPORT ASSOCIATION, 1996, *World air transportation statistics*. In: IATA, 40th, Geneva, Switzerland.

IATA – INTERNATIONAL AIRLINE TRANSPORT ASSOCIATION, 2001,
www.iata.org

IATA – INTERNATIONAL AIRLINE TRANSPORT ASSOCIATION, 2003,
www.iata.org

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1995, *Anuário Estatístico do Brasil 1994*. Rio de Janeiro, Brasil.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1997, *Anuário Estatístico do Brasil 1996*. Rio de Janeiro, Brasil.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2003,
www.ibge.gov.br

- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1992, *Outlook for air transport to the year 2001*. In: 237-AT/96, TCAO, Montreal, Canada.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1993, “International standards and recommended practices”. In: *Annex 16 to the Convention on ICAO, v. I: Aircraft Noise*, Montreal, Canada, July, 130 pp.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1993a, “Environment protection”. In: *Anex 16 to the Convention on ICAO, v. II: Aircraft Engine Emissions*, Montreal, Canada, July.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1995, *Engine emissions data bank*. In: 9646, Montreal, Canada.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1996, *Civil aviation statistics of the world*. In: 7300/7, Montreal, Canada, various years, 200 pp.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 1996a, *Council Resolution on Environmental Charges and Taxes*. In: ICAO, Montreal, Canada.
- ICAO – INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION, 2002, www.icao.org
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 1999, *World energy statistics from the IEA*, Paris, www.eia.org
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2000, *CO₂ Emissions from fuel combustion: 1971-1998-Highlights*. In: Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2001, *World Energy Outlook*, ECD/IEA, Paris, França.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2003, www.iea.org

INFRAERO, 2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

INFRAERO, 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1990, *Cambio climático: evaluación científica del IPCC*. In: Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, Instituto Nacional de Meteorología & Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1994, *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: Cambridge University Press, UK.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1995, *Summary for policymakers. Climate Change 1995 – economic and social dimensions of climate change*. In: Cambridge University Press, UK.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996, *The science of climate change*. In: Cambridge University Press, UK.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996a, *Greenhouse gas inventory reporting instructions – IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, London.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1999, *Aviation and the global atmosphere – A special report of IPCC working groups I and III*. In: Cambridge University Press, UK.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001, *Impacts, Adaptation and Vulnerability – Contribution of working group II to the third assessment report of the IPCC*. In: Cambridge University Press, Edited by Bert Metz, Ogundale Davidson, Rob Swart and Jiahua Pan, UK.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 1997, *Brasil na virada do milênio: trajetória de crescimento e desafios do desenvolvimento*. Brasília, IPEA.

IPV – INSTITUTO DE PROTEÇÃO AO VÔO, 2002, Comunicação pessoal, São José dos Campos, SP.

JOHNSON, C., HENSHAW, J., MCINNES, G., 1992, “Impact of aircraft and surface emissions of nitrogen oxides on tropospheric ozone and global warming”, *Nature*, v. 355, pp. 69-71.

JORNAL DO BRASIL, 2002, www.jbonline.terra.com.br

KAGESON, P., 1993, *Getting the prices right*. In: T&E, Stockholm.

KLM – ROYAL DUTCH AIRLINES, 2000, Environmental Report, Amsterdam, www.klm.com

KLOTZEL, E., 2003, Avião mais leve é meio caminho andado, www.icarobrasil.com.br

KLUG, H. G., BAKAN, S., GAYLOR, V., 1996, “Cryoplane - Quantitative comparison of contribution to anthropogenic greenhouse affect of liquid hydrogen aircraft versus conventional kerosene aircraft”. In: *European Geophysical Society, XXI General Assembly, The Hague, The Netherlands*, pp. 22, May.

- KNISCH, H., 1995, *Aviation and air pollutant emissions by passenger aircraft in Germany between 1980 and 2010*. In: IFEU, Heidelberg.
- LA ROVERE, E. L., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- LAVERNIA, E. J., GRANT, N.J., 1987, “Review – aluminium lithium alloy”, *J. Mater. Sci*, 22/1521.
- LEE, D. et al., 1997, *A method for making cross-comparable estimates of the benefits of decision support technologies for air traffic management*. In: Logistics Management Institute, Virginia, USA.
- LEE, J., LUKACHKO, S., WAITZ, I., SCHAFER, A., 2001, “Historical and future trends in aircraft performance, cost and emissions”. In: *Annual Reviews Energy & the Environment* 26:167-200.
- LIMA FERRAZ, R. M. O., 1993, “Ligação aérea Rio – São Paulo: Análise da demanda pelo método Delphi”. Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP.
- LOPES, S. P., 1998, *Previsão de demanda por passageiros no transporte aéreo regional*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- LOURENÇO, R. S., 1989, *Mercado de aviação regional: estruturação e previsão*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- LUCCHESI, C., 1999, “Novas aeronaves para um novo século”, *Revista Air & Sport*, n. 32, ano 6.
- MACEDO, I. C., 1992, “The sugar cane agro-industry. Its contribution to reducing CO₂ emission in Brazil”. *Biomass & Bioenergy*, 3/2:77-80.

- MARTINS, A. R., 1996, *Correlação entre a tenacidade e aspectos microestruturais e mecânicos da liga Al 7050 e uso na indústria aeronáutica*. Tese de M.Sc., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MC DONNELL DOUGLAS, 2001, www.mcdonnelldouglas.com
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1999, Relatório das emissões de carbono derivadas do sistema energético: abordagem *top-down*. Brasília, DF, www.mct.gov.br/clima/comunicold/tdown.htm
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2000, Convenção sobre a mudança do clima: o Brasil e a convenção-quadro das Nações Unidas. Brasília, DF, www.mct.gov.br/clima/default.htm
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2000a, Inventário da emissão de gases de efeito estufa: setor de transporte rodoviário veículos pesados Brasil – 1990 a 1994. Brasília, DF, www.mct.gov.br/clima/comunicold/veicpes.htm
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2001, Inventário da emissão de gases de efeito estufa: setor de transporte rodoviário veículos leves Brasil – 1990 a 1994. Brasília, DF, www.mct.gov.br/clima/comunicold/veiculos.htm
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2002, www.mct.gov.br, em maio de 2002.
- METALURGIA – ABM, 53 (1997) 102.
- MICHAELIS, L., BLEVISS, D., ORFEIUL, J. P., FISCHINGER, R., 1996, *Mitigation options in the transportation sector*. In: IPCC Climate Change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change, chapter 21, New York, USA,

Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, University Press.

MICHAELIS, L., 1997, *Policies and measures for common action*. In: Working Paper 12 of the Annex I Expert group on the UN FCCC, OECD, Paris.

MILIEUDEFENSIE, 2000, Description of the campaign, The right price for air travel, www.milieudefensie.nl/airtravel (Ong norueguesa sobre meio ambiente e aviação).

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2000, *Balanço Energético Nacional*. In: MME, ano base 1999, Brasília, DF.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2001, *Balanço Energético Nacional*. In: MME, ano base 2000, Brasília, DF.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2002, *Balanço Energético Nacional*. In: MME, ano base 2001, Brasília, DF.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2003, www.mme.gov.br

MONDEY, D., 1973, *Aircraft: An all colour story of modern flight*, London, England, UK., Octopus Books Limited.

MORTIMER, L., 1998, “Committee reaches consensus on need for action to further protect the environment”, *ICAO Journal*, v. 53 (Jul/Aug), n. 6.

NASA – NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION, 1992, *The atmospheric effects of stratospheric aircraft*. In: A first Program Report, Washington, D. C.

NASA – NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION, 1997, *Atmospheric effects of subsonic aircraft*. In: Interim assessment report of the advanced subsonic technology program, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.

NASA – NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION, 1998, *Aircraft emissions scenarios projected in year 2015 for the NASA Technology Concept Aircraft (TCA), High speed civil transport*. In: CR-1998-207635, Langley Research Center, Hampton, VA, USA.

NEIVA, 2003, www.aeroneiva.com.br

NETO, A. P. S., 1999, “Estudo da viabilidade técnico econômica da produção de biodiesel no Brasil”. In: *1º Encontro PETROBRAS de Gás Natural & Energia*, Rio de Janeiro.

NOBRE, C. A., 1992, “Alterações climáticas globais e suas implicações para o Brasil”, *Revista Brasileira de Energia*, edição especial, pp. 11-48.

O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002, www.estadao.com.br

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 1997, *Special issues in carbon/energy taxation: carbon charges on aviation fuel*. In: Amex I expert group on the United Nations Framework, Convention on Climate Change, Working paper n. 12, Paris.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 1997a, *Evaluating economic instruments for environmental policy*, Paris.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2000. *Good practice greenhouse abatement policies: energy*

supply and transport. In: The Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, Paris.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2001, www.oecd.org

ORRICO FILHO, R., 1992. Planejamento de produção da empresa. Gerenciamento de transportes coletivos: manual do empresário. Rio de Janeiro: PET/COPPE/UFRJ, pp.3-15.

PAGE, N. J., CREASY, S.C., 1975, “Ore grade, metal production and energy”, *Journal of Research U.S. Geol. Survey*. v. 3, n. 1, Jan-Feb, pp. 9-13.

PEEL, C. J., 1986. “Aluminum alloy for air-frames: limitations and developments”, *Materials Science and Technology*, v. 2, pp. 1169-1175.

PETROBRAS – PETRÓLEO DO BRASIL S. A., 2000, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

PETROBRAS – PETRÓLEO DO BRASIL S. A., 2001, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

PETROBRAS – PETRÓLEO DO BRASIL S. A., 2001a, *Revisão do Plano Estratégico Empresarial 2001-2010*. In: Relatório interno, Rio de Janeiro, RJ.

PETROBRAS – PETRÓLEO DO BRASIL S. A., 2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

PETROBRAS – PETRÓLEO DO BRASIL S. A., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

- PETROBRAS AVIAÇÃO, 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- PINTO, N., SANTOS, T. M. C., 1999, *Básico de combustíveis – querosene de aviação*. In: Relatório interno, PETROBRAS.
- PITARI, G., PALERMI, S., VISCONTI, G., 1994, “Impact on ozone of high-speed stratospheric aircraft – Effects of the emission scenario”, *Annales Geophysical*, v. 12 (Nov), n. 10-11.
- PLANETA COPPE, 2003, www.planeta.coppe.ufrj.br
- PONATER et al., 1998, *Simulating the global atmospheric response to aircraft water vapour emissions and contrails – a first approach using a GCM*. In: Institut für Physik der Atmosphäre (Institute for Atmospheric Physics), DLR Deutsche Luft- and Raumfahrtgesellschaft, Oberpfaffenhofen.
- PRATHER et al., 1992, *The atmospheric effects of stratospheric aircraft*. In: A first Program Report, NASA, Washington, D. C.
- PROGNOS, A. G., 1995, *Bedeutung und Umweltwirkungen von Schienen und Luftverkehr in Deutschland (The Significance and Environmental Impact of Rail and Traffic in Germany)*.
- QUIST, W. E, NARAYANAN, G.H., WINGERT, A. L., 1994, “Aluminium – lithium alloys for aircraft structure – an overview, aluminium-lithium alloys II”, *AIME*, Starke/Sanders (eds.), pp. 313.
- REDUC – REFINARIA DUQUE DE CAXIAS, 2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- RIBEIRO, S. K., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

RIBEIRO, S. K., COSTA, C. V., DAVID, E. G., REAL, M. V., D'AGOSTO, M. A., 2000.
Transporte e mudança climática. Rio de Janeiro, Mauad Ed.

RIBEIRO, S. K., MATTOS, L. B. R., 2002, A importância do setor de transporte rodoviário no aquecimento global. O caso da cidade do Rio de Janeiro, www.ivig.coppe.ufrj.br

RIBEIRO, S. K., REAL, M. V., D'AGOSTO, M. A., 2000, “A contribuição aeroportuária na poluição atmosférica local: o caso do aeroporto internacional do Rio de Janeiro”. In: *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Campinas.

ROSA, L. P. e colaboradores, 2002. *Emissões de gases de efeito estufa, derivados de reservatórios hidrelétricos*. In: Agência Nacional de Energia Elétrica, Projeto BRA/00/029 – Capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima, dezembro.

ROY MARTIN, P. F., 1999, Department of the environment transport & the regions, United Kingdom, www.hyperion.gsfc.nasa.gov

SÁ, P., 1989, *Estratégias dos grandes grupos no domínio dos novos materiais*. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq.

SCHÄFER, A., 1992, *Carbon emissions in the passenger transport and alternative fuels*. In: Working Paper - International Institute for Applied Systems Analysis, Luxembourg, Austria, January.

SCHÄFER, A., VICTOR, D. G., 1998, “Global passenger travel: implications for carbon dioxide emissions”, *Energy*, v. 24, pp. 657-679.

- SCHAEFFER, R., SZKLO, A. S., 2001. “Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution and global climate change”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 355-369.
- SCHIPPER, L. J., MARIE-LILLIU, C., 1999, *Carbon dioxide emissions from transportation in IEA countries*. In: IEA, Washington, USA.
- SCHUMANN, U., 1996, “Contributions on the topic of impact of aircraft emissions upon the atmosphere”. *International Colloquium: Impact of Aircraft Emissions Upon the Atmosphere*, Paris, France, 15-18 October.
- SH&E, 1997, *Analysis of the financial, economic and social effects opening up the ground handling market*. In: European Commission, Brussels.
- SILVA, S. J. da, 2001, *Impactos sócio-econômicos do congestionamento de tráfego aéreo no Brasil*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SILVA, V. J. P., 1983, *Perfil da demanda do transporte aéreo doméstico de passageiro no Brasil e captação de recursos para investimento na infra-estrutura aeronáutica*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SINGER, S., 1996, “Climate warming from increased air traffic ? Parte 1: Observation”. *Annual Meeting of the Geophysical Union*, San Francisco, California, USA.
- SNEA – SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS AEROVIÁRIAS, 2003,
www.snea.org.br
- SOARES, A. P., 2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- SOUTO MAIOR, M., 2003, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

- STEENHUIS, H., BRUIJN, E., 2001, “Developing countries and the aircraft industry: match or mismatch?”, *Technology in Society*, v. 23, pp. 551-562.
- STEVENSON, J. et al., 1995, *Changes in tropospheric oxidants from aircraft NO_x emissions studied with a 3-D lagrangian model*. In: met. off. note, n. 226.
- SUAREZ, M. L. H., 2000, *Política energética e desenvolvimento sustentável: taxa sobre o carbono para mitigação de gases de efeito estufa no Brasil*. Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.
- TAM – LINHAS AÉREAS S/A, 2003, Comunicação pessoal.
- T&E – EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT, 1994, *The potential of substitute fuels for reducing emissions in the transport sector*. In: Transport and Environment, Brussels.
- T&E – EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT, 1997, *Traffic, air pollution and health*. In: Stephanos Anastasiadis, Brussels.
- T&E – EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT, 1999, *Aviation and its impact on the environment*. In: Stephanos Anastasiadis, Brussels.
- TRANSCORR, 2001, www.formeld.com.br/transcorr
- UNITED AIRLINES, 1999, www.ual.com
- VARIG – VIAÇÃO AÉREA RIOGRANDENSE, 1998, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.
- VARIG – VIAÇÃO AÉREA RIOGRANDENSE, 2002, Comunicação pessoal, Rio de Janeiro, RJ.

VARIG – VIAÇÃO AÉREA RIOGRANDENSE, 2003, www.varig.com.br.

VEDANTHAN, A., OPPENHEIMER, M., 1998, “Long term scenarios for aviation: Demand and Emissions of CO₂ and NO_x”, *Energy Policy*, v. 26, pp. 625-641.

VIANNA, L. R., 1990, *Eletroquímica para metalurgistas*, Coleção metalurgia.

WIDMER, J. A., 1984, *Perspectivas de evolução do transporte aéreo regional no Brasil*, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

WORLD BANK, 2000, www.worldbank.org/transport

ANEXO A – Tipos de Motores Empregados nas Aeronaves

O motor do avião produz a potência que o faz voar. Os aviões usam três tipos principais de motores: (1) motores a explosão, (2) motores a jato e (3) motores a foguete. Os motores a explosão são os mais pesados, e menos potentes, e os motores a foguete são os mais potentes.

A maioria dos aviões pequenos e muitos aviões grandes têm motores a explosão. Esses aviões também têm uma ou mais hélices. O motor faz girar a hélice, que impulsiona o avião através do ar.

O funcionamento do motor a explosão dos aviões é muito similar ao dos motores dos automóveis. Ambos queimam uma mistura de gasolina e ar dentro dos cilindros. A combustão da mistura de gasolina e ar provoca uma explosão. A explosão desloca os pistões (ou êmbolos) para cima e para baixo dentro dos cilindros (daí a razão para a cunhagem do termo “motor aeronáutico a pistão”). Esse bombeamento gira um eixo de manivela. Em um avião, o eixo de manivela em rotação faz girar a hélice. Em um automóvel, o eixo de manivela faz girar outras peças do carro que por sua vez fazem girar as rodas. Mas os motores a explosão dos aviões diferem de várias outras formas dos motores de automóvel. Na maioria dos motores de avião, os cilindros são dispostos em círculo ou em duas linhas paralelas. Nos automóveis, os cilindros são dispostos numa única linha ou na forma de N.

Os motores de avião usam dispositivos chamados magnetos, ao invés de baterias, para produzir corrente elétrica durante o voo. Além disso, quase todos os motores de avião são refrigerados a ar, e não a água.

A potência dos motores a explosão é medida em unidades de cavalo-vapor (HP) ou quilowatts (kW). A maioria dos motores a explosão de aviões varia de 30HP (22kW) para os pequenos monomotores até cerca de 400HP (300kW) para os bimotores maiores. Os mais potentes motores a explosão já usados em avião foram os de 3.650HP (2.722kW) do bombardeiro B-36, do fim da década de 1940. Aviões grandes de altas velocidades não usam mais esses potentes motores a explosão. Usam motores de propulsão a jato que pesam menos que os motores a explosão e produzem muito mais potência. Mas os motores a explosão ainda são usados na maioria dos aviões pequenos porque, em baixas velocidades, funcionam melhor que os motores a jato (CHANT, 1975).

Os motores a jato possibilitam os aviões grandes percorrer longas distâncias em altas velocidades. Mas, para ser útil, um motor a jato precisa funcionar bem em baixas velocidades, a fim de garantir a segurança do pouso. Há três tipos principais de motores a jato (DAVIES, 1984): (1) turborreatores, (2) turbomotores de fluxo duplo e (3) turbo-hélices.

O turborreator foi o primeiro motor a jato de êxito, e ainda é usado em alguns aviões. Como a maioria dos outros motores a jato, suga o ar pela frente e queima-o com o combustível, formando uma potente descarga de jato. A descarga é lançada para trás, através do motor, a uma velocidade enorme, que faz o motor se mover para frente numa velocidade igualmente alta. Antes de a descarga sair do motor, ela gira uma roda de turbina. A turbina move as várias peças do motor.

Quase todos os aviões novos têm turbomotores de fluxo duplo, que são um aperfeiçoamento do turborreator. O funcionamento de um turbomotor de fluxo é muito similar ao de um turborreator, mas o primeiro tem uma ventoinha na frente que suga grandes quantidades de ar. Apenas parte do ar é queimado com o combustível para formar a descarga de jato. O resto é adicionado à descarga que sai do motor. A descarga resultante é muito mais potente e muito mais fria que a de um turborreator. Os turbomotores de fluxo duplo também gastam menos combustível que os turborreatores e funcionam melhor em baixas velocidades.

Os aviões a turbo-hélice usam turborreatores para girar as hélices. Combinam a enorme potência do motor a jato com a capacidade da hélice de voar em baixa velocidade.

Há outras espécies de motores a jato, mas são raramente usadas para propulsão de aviões. O estatorreator é o mais simples e o mais potente dos motores a jato. Mas pode funcionar apenas em altas velocidades. É usado principalmente para mísseis teleguiados (sem piloto). O pulsorreator é um tipo simples de motor a jato. Mas como queima grandes quantidades de combustível e faz muito barulho, não é apropriado para aviões.

Os motores a foguete funcionam de forma muito semelhante aos motores a jato. A diferença é que não precisam de um suprimento de oxigênio de fora do motor. Um motor a foguete funciona melhor em velocidades muito altas. Como queima muito combustível, seu funcionamento fica bastante dispendioso. Além disso, a possibilidade de explosão torna os motores a foguete muito perigosos para os aviões de passageiros. Mas alguns aviões com motores a jato e turbo-hélice usam pequenos foguetes para auxiliá-los a decolar rapidamente quando levam cargas pesadas, ou quando decolam em pistas curtas. Os foguetes são presos ao corpo do avião ou debaixo das asas. Motores a foguete têm sido usados no desenvolvimento dos mísseis e das aeronaves e em muitos aviões de prova supersônicos.

No contexto do presente Estudo, torna-se importante ressaltar que a quantidade de poluentes emitidos por uma aeronave em operação está estreitamente relacionada ao tipo de motor nela empregado (e não ao modelo). Assim, em geral, um motor a explosão emite menos que um motor a jato, e este por sua vez, menos do que um motor a foguete.

ANEXO B – Fatores de Conversão para tEP Médio

Tabela 1: Fatores de conversão para tEP médio (em PCS)

COMBUSTÍVEL			UNIDADE USUAL DE MEDIDA	FATOR DE CONVERSÃO (tEP/UNIDADE)
Fósseis-Líquidos	Primários	Petróleo	m ³	0,868
	Secundários	<i>Gasolina de Aviação</i>	m ³	<i>0,759</i>
		<i>Querosene de Aviação</i>	m ³	<i>0,811</i>
		Querosene Iluminante	m ³	0,811
		Óleo Diesel	m ³	0,848
		Óleo Combustível	t	0,934
		GLP	t	1,089
		Nafta	m ³	0,736
		Asfalto	m ³	0,954
		Lubrificantes	m ³	0,873
		Coque de Petróleo	m ³	0,819
		Outros Produtos Secundários Energéticos de Petróleo	m ³	0,864
		Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	m ³	0,868
		Fósseis-Sólidos	Primários	Carvão Metalúrgico	t	0,630
Carvão Vapor	t			0,270
Secundários	Alcatrão		m ³	0,833
	Coque de Carvão Mineral		t	0,676
Fósseis-Gasosos	Primários	Gás Natural	10 ³ m ³	0,857
	Secundários	Gás de Refinaria	m ³	0,636
Outras Fontes Primárias			tEP	1,00
Biomassa Sólida		Lenha	t	0,306
		Bagaço de Cana	t	0,209
		Carvão Vegetal	t	0,630
Biomassa Líquida		Álcool Etílico Anidro	m ³	0,520
		Álcool Etílico Hidratado	m ³	0,496

Fonte: MME, 2001 e MCT, 2000.

ANEXO C – Fatores de Emissão de Carbono

Tabela 1: Fatores de emissão de carbono empregados

COMBUSTÍVEL		FATOR DE EMISSÃO (tC/TJ)	
Fósseis-Líquidos	Primários	Petróleo	20
		Gás Natural Liquefeito	17.2
	Secundários	<i>Gasolina e Gasolina de Aviação</i>	18.9
		<i>Querosene de Aviação</i>	19.5
		Querosene Iluminante	19.6
		Óleo Diesel	20.2
		Óleo Combustível	21.1
		GLP	17.2
		Nafta	20
		Asfalto	22
		Lubrificantes	20
		Coque de Petróleo	27.5
		Outros Produtos Secundários de Petróleo	20
		Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	20
Fósseis-Sólidos	Primários	Carvão Metalúrgico	25.8
		Carvão Vapor	25.8
	Secundários	Alcatrão	25.8
		Coque de Carvão Mineral	29.5
Fósseis-Gasosos	Primários	Gás Natural	15.3
	Secundários	Gás de Refinaria	18.2
Outras Fontes Primárias Fósseis		20	
Biomassas Sólidas		Lenha para Queima Direta	29.9
		Lenha para Carvoejamento	29.9
		Bagaço de Cana	29.9
		Resíduos Vegetais	29.9
		Carvão Vegetal	29.9
Biomassas Líquidas		Álcool Anidro	14.81
		Álcool Hidratado	14.81
Biomassa Gasosa		30.6	

Fonte: MCT, 2000.

ANEXO D – Frações de Carbono Estocado (ou Fixado)**Tabela 1: Frações de carbono estocado (ou fixado)**

COMBUSTÍVEIS EM USOS NÃO ENERGÉTICOS	FRAÇÃO DE CARBONO ESTOCADO
QUEROSENE ILUMINANTE	1,00
NAFTA	0,80
ASFALTO	1,00
LUBRIFICANTES	0,50
OUTROS PRODUTOS NÃO ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	1,00
ALCATRÃO	0,75
GÁS NATURAL	0,33
GÁS DE REFINARIA	1,00
ÁLCOOL ANIDRO	1,00
ÁLCOOL HIDRATADO	1,00

Fonte: MCT, 2000.

ANEXO E – Frações de Carbono Oxidado

Tabela 1: Frações de carbono oxidado empregadas

COMBUSTÍVEIS		FRAÇÃO DE CARBONO OXIDADA (ADIMENSIONAL)
Fósseis-Líquidos	Petróleo	0.99
	Líquidos de Gás Natural	0.99
	Gasolina e Gasolina de Aviação	0.99
	Querosene de Aviação	0.99
	Querosene Iluminante	0.99
	Óleo Diesel	0.99
	Óleo Combustível	0.99
	GLP	0.99
	Nafta	0.99
	Asfalto	0.99
	Lubrificantes	0.99
	Coque de Petróleo	0.99
	Outros Produtos Secundários de Petróleo	0.99
	Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	0.99
Fósseis-Sólidos	Carvão Metalúrgico	0.98
	Carvão Vapor	0.98
	Alcatrão	0.98
	Coque de Carvão Mineral	0.98
Fósseis-Gasosos	Gás Natural	0.995
	Gás de Refinaria	0.995
Outras Primárias Fósseis		0.99
Biomassa-Sólida	Lenha para Queima Direta	0.87
	Lenha para Carvoejamento	0.891
	Bagaço de Cana	0.88
	Resíduos Vegetais	0.88
	Carvão Vegetal	0.88
Biomassa-Líquida	Álcool Anidro	0.99
	Álcool Hidratado	0.99

Fonte: MCT, 2000.