

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Jônathas Alverne Costa de Albuquerque

Panorama da emissão de gases no transporte aéreo

Trabalho de Graduação
2008

Infra

Jônathas Alverne Costa de Albuquerque

Panorama da emissão de gases no transporte aéreo

Orientadora

Prof.^a M.Sc. Rogéria de Arantes Gomes Eller (ITA)

Divisão Acadêmica de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Albuquerque, Jônathas Alverne Costa de
Panorama da emissão de gases no transporte aéreo / Jônathas Alverne Costa de Albuquerque
São José dos Campos, 2008.
47f.

Trabalho de Graduação – Divisão Acadêmica de Engenharia Civil –
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008. Orientadora: Profª. M.Sc. Rogéria de Arantes Gomes Eller

1. Transporte aéreo. 2. Economia. 3. Emissão I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão Acadêmica de Engenharia Civil. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, Jônathas Alverne Costa de Albuquerque. **Panorama da emissão de gases no transporte aéreo**. 2008. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jônathas Alverne Costa de Albuquerque

TÍTULO DO TRABALHO: Panorama da emissão de gases no transporte aéreo

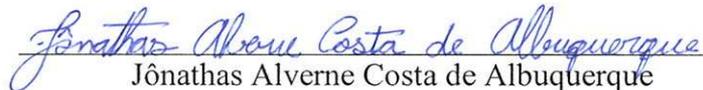
TIPO DO TRABALHO / ANO: Graduação / 2008

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

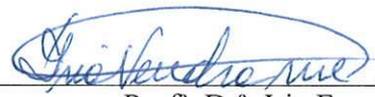
Jônathas Alverne Costa de Albuquerque
Rua Vicente Lopes, 1070 – Cidade dos Funcionários
60.822-100 – Fortaleza-CE

Panorama da emissão de gases no transporte aéreo

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação


Jônathas Alverne Costa de Albuquerque
Autor


Prof.^a M.Sc. Rogéria de Arantes Gomes Eller
Orientadora


Prof.^a Dr.^ª Iria Fernandes Vendrame
Coordenadora do Curso de Engenharia de Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 14 de novembro de 2008

Dedico este trabalho aos meus pais que não pouparam esforços para me oferecer as melhores condições para eu chegar onde estou hoje: terminando a graduação no ITA e empregado numa sólida empresa multinacional. Dedico ainda a meu amado irmão, David, que muito me apoiou e incentivou, bem como à Kamila, minha amada namorada, pelos conselhos, orações, palavras de apoio e conforto, mesmo à distância. Muito obrigado! Sem Deus esse caminho teria sido impossível, mas sem vocês teria sido bem mais penoso.

Agradecimentos

À Deus que durante todo esse tempo me deu força para vencer a saudade, cansaço e desânimo que por vezes batia e, por cima, tem feito “mais do que tudo que pedimos ou pensamos, mais do que tudo que sonhamos”.

Ao meu pai que sempre incentivou e cobrou os estudos, tanto meu como do meu irmão, e mesmo à distância foi presente, se esforçando ao máximo para que minha estadia no H8 fosse a mais confortável possível.

À minha maravilhosa mãe, mulher sábia que me educou e me ensinou princípios morais, éticos e religiosos, pelas horas e horas de oração, por compartilhar as aflições e sempre ajudar a levantar a cabeça.

Ao meu amado irmão David, que me ensinou muito com suas atitudes, me mantinha informado do que ocorria em casa e que, por inúmeras vezes, me ajudou em momentos importantes.

À toda a minha família (tios, tias, primos, primas, avô e avós) que sempre me apoiou, ajudou e orou incessantemente por mim. Sei que vocês “se alegraram com os que se alegram e se entristeceram com os que se entristecem”.

Aos companheiros do “ap 321”! Ao longo dos 5 anos que moramos juntos no bloco C do formidável H8, 6 colegas fizeram a estadia mais histórica: Estojinho (Juliano), Manfredo, Faquir (Gustavo Peçanha), Davis (com quem dividi quarto por 4 anos), Friento (Rodrigo Lacerda) e Doug (Saulo, com quem dividi quarto 1 ano), além do Magali que teve uma rápida passagem no primeiro ano.

Aos amigos e companheiros de “ap” do 5º, ou 6º, ano (Marciso, Willy e Thiago Fiorio), com quem passei muitos momentos alegres e descontraídos, sempre regados a frouxas risadas de histórias, na maioria das vezes, sem graça. Ao Fifa (Thiago Fiorio), em especial, com quem dividi por seis meses o “ap” sem mais ninguém e me deu inúmeros conselhos, lições, palavras de apoio, motivos de risada e me proporcionou um semestre, sem dúvida, de convivência inesquecível.

Aos amigos da Turma 07, sobretudo os aratacas, com os quais compartilhei a maior parte do tempo de H8 e com os quais vivi, sem dúvidas, os momentos mais alegres da estadia no ITA. Não me arriscarei a citar nomes, pois certamente esquecerei alguém importante.

Aos amigos da “Infra-08”, em especial ao Caio e ao Helles, com quem tive o prazer de estudar 2,5 anos compartilhando viradões, bancadões, *stress*, alegrias e muitas brincadeiras.

Ao Clênio e à Nice, que mostraram ser uma família a mais, que muito me ajudou durante esses 6 anos. O que vocês fizeram não tem preço: o galardão de vocês, indubitavelmente, está guardado.

Ao Severo Filho, grande amigo que me deu força pra entrar no ITA e sempre torceu pelo meu sucesso.

Aos diversos amigos, tanto que deixei em Fortaleza como os que fiz no H8, que sempre me apoiaram e torceram por mim.

À Profa. Rogéria que me deu sábios conselhos (não só técnicos) para realizar esse trabalho e depreendeu mais paciência que o normal.

Ao The Boston Consulting Group (Brasil) – BCG, nas pessoas de Masao Ukon e Ignacio Peña, pelo apoio dado esse ano, que nunca negou esforços para a conclusão do meu curso e, em especial, deste Trabalho de Graduação.

Não podia deixar de agradecer à minha amada e fiel namorada Kamila Lacerda, a quem faço um agradecimento especial. Durante esses 6 anos de ITA é imensurável o apoio recebido por ela, sob todos os aspectos. Foram horas e mais horas de telefone, e-mails, mensagens de texto (sms), bate-papos. Com certeza ela tem grande participação nessa vitória.

Senhores, essa vitória é nossa! Obrigado a todos.

“Até aqui nos ajudou o Senhor.”
1 Samuel 7:12

“Muitas coisas fez o Senhor por nós, por isso
estamos alegres”

Resumo

A temática da restrição de emissões é um assunto novo, que está começando a ser posto em prática, primeiramente com algumas indústrias que os reguladores internacionais julgaram mais relevantes devido à contribuição dessas à quantidade total de emissões. Atualmente já se discute proposta para a inclusão de outras indústrias no *European Union Emission Trading Scheme* – EU ETS (Esquema de Troca de Emissões da União Européia, numa tradução livre), o que poderia aumentar a quantidade total de emissões de CO₂ regulada pelo referido esquema.

Uma dessas atividades em voga para entrar na regulação da EU ETS é a indústria da aviação. Por ser uma indústria na qual não se tem dados precisos das emissões de CO₂ e por não se saber ao certo quanto os outros gases emitidos pela aviação, sobretudo em cruzeiro, contribuem para o aquecimento global, ainda há muita discussão em torno desse assunto.

O presente trabalho visa justificar a importância da inclusão da indústria da aviação no sistema de regulação do EU ETS, mostrando como a contribuição da aviação é relevante na temática do aquecimento global. Em seguida, ensaiam-se alternativas de proposição para redução de emissões provenientes dessa atividade.

Abstract

Emission restriction is a new topic. It is being imposed firstly in industries where international regulators considered the amount of emissions to be relevant. One is discussing however the inclusion of other industries in the European Union Emission Trading Scheme – EU ETS. That would increase the total amount of CO₂ emission regulated by this scheme.

An industry that is being considered to integrate the EU ETS is aviation. Due to the uncertainty of how much CO₂ and other gases emitted by this industry contributes to global warming, there is still a great deal of discussion around this matter.

This study intends to demonstrate the importance of the inclusion of the aviation industry in the EU ETS, showing that aviation emissions are relevant for global warming. The study then suggests alternatives to reduce these emissions.

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema de como a EU ETS funciona	26
Figura 2: Resumo do funcionamento de cada Fase, ou Período de Troca, do EU ETS.....	27
Figura 3: Percentual de contribuição de cada modal de transporte com relação a emissão de CO ₂ em âmbito global (1995).....	29
Figura 4: A redução de emissão no setor aéreo requer a participação de três entidades chaves.	31
Figura 5: Velocidade de Reação e/ou adaptação das empresas à questão de emissões.....	31
Figura 6: Comparação das iniciativas de algumas empresas de transporte aéreo americana...	33
Figura 7: Comparação das iniciativas de algumas empresas européias de transporte aéreo....	35
Figura 8: Estratégias e esforços de companhias aeronáuticas para redução de emissões.	36
Figura 9: Coeficientes de emissão para diferentes motores no Airbus A320.....	38
Figura 10: Gráfico modelado do Consumo/km x Velocidade.....	41

Lista de Tabelas

Tabela 1: Preferências que geram classificação transitiva.	19
Tabela 2: Influência de Gases de Efeito Estufa no aquecimento global por modal de	30

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

APU	Unidade auxiliar de força (do original em inglês, <i>auxiliar power unit</i>)
CDM	<i>Kyoto's Clean Development Mechanism</i> (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de Kyoto)
CER	Certificado de redução de emissão (do inglês, <i>certified emissions reductions</i>)
CO ₂	Gás Carbônico (ou dióxido de carbônico, do nome químico)
ECI	<i>Environmental Change Institute</i> (Instituto de Mudança Ambiental)
ERU	Unidades de redução de emissão (<i>emissions redction unit</i> , da sigla em inglês)
EU	<i>European Union</i> (União Européia)
EUA	<i>European Union Allowances</i> (permissões da União Européia)
EU ETS	<i>European Union Emission Trading Scheme</i> (Esquema de Troca de Emissões da União Européia)
GHG	<i>Greenhouse gases</i> (gases estufa, que são responsáveis pelo Efeito Estufa)
ICAO	Organização Internacional da Aviação Civil (<i>International Civil Aviation Organization</i> , em inglês)
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental de Mudança Climática)
IPPR	<i>Institute for Public Policy Research</i> (Instituto de Pesquisas de Políticas Públicas)
JI	Implementação Conjunta (<i>Joint Implementation</i> , do inglês)
MtC	Milhões de toneladas de carbono
NAP	Plano Nacional de Alocação (do inglês, <i>National Allocation Plan</i>)
PCW	PricewaterhouseCoopers
tCO ₂	Tonelada de dióxido de carbono
TPS	Terminal de passageiros
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (estrutura de trabalho de mudança climática das Nações Unidas, numa tradução livre)

Sumário

1. Introdução	15
1.1. Objetivo	16
1.2. Metodologia	17
1.3. Estrutura do Trabalho.....	17
2. Teoria Microeconômica.....	18
2.1. Teoria do Bem-estar	18
2.1.1. Agregação de preferências.....	18
2.1.2. Funções de bem-estar	20
2.1.2.1. Bem-estar utilitarista clássica ou de Bentham.....	20
2.1.2.2. Bem-estar da soma ponderada das utilidades.....	20
2.1.2.3. Bem-estar social minimax ou rawlsiana.....	20
2.2. Eficiência Econômica	21
2.3. Falhas de Mercado.....	21
2.4. Externalidade	22
3. <i>European Union Emission Trading Scheme</i>	24
3.1. Do que consiste o <i>European Union Emission Trading Scheme</i>	24
3.2. Como funciona o EU ETS.....	25
4. Motivação para inclusão da aviação nos controles de emissões	28
5. Iniciativas e situação de empresas do setor aeronáutico ao redor do mundo	31
6. Sugestões para redução de emissões aeronáuticas.....	37
6.1. Gerenciamento do tráfego aéreo	37
6.2. Melhoria em eficiência tecnológica e outras melhorias operacionais	38
6.3. Controle de velocidade de vôo.....	40
6.4. Vôos em condições ambientalmente favoráveis.....	41
7. Conclusões	43
8. Sugestões para a continuidade da pesquisa (próximos passos)	45
Referências Bibliográficas.....	46

1. Introdução

No transporte aéreo, o ruído aeronáutico e as emissões de gases correspondem aos custos externos mais relevantes. Os custos externos são efeitos colaterais negativos de uma atividade econômica, os quais não são incorporados aos custos do agente responsável por sua geração. Uma vez que representam custos do sistema, sua compreensão e análise são importantes, no sentido de dirigir as medidas de políticas públicas para sua redução e/ou internalização [1].

Em alguns países do mundo tem-se aplicado medidas de controle/redução/internalização dos custos externos ao transporte aéreo, geralmente sob a forma de instrumentos de comando e controle e/ou instrumentos econômicos. Os primeiros estão relacionados à definição de metas de redução, por meio de legislação específica, enquanto os segundos geralmente são apresentados sob a forma de tributos aplicados ao agente poluidor. A regulação como forma de reduzir/internalizar o custo externo é tarefa do governo que, para tanto, necessita conhecer as ferramentas já utilizadas e fazer as necessárias adaptações ao perfil e intensidade das medidas, de maneira a adequá-las à problemática do caso em estudo.

Com a evolução e ganho de importância da temática ambiental, principalmente em torno do aquecimento global, muitos dispositivos ao redor do mundo têm sido discutido com o fim de reduzir o custo das emissões gasosas. Os principais dispositivos atualmente são o Protocolo de Kyoto e o *European Union Emission Trading Scheme* – EU ETS.

O conhecimento que se dispõe hoje sobre o efeito dos diversos gases provocadores do Efeito Estufa é restrito, chegando, em alguns casos, a não ser possível precisar a dinâmica das reações nas camadas superiores da atmosfera. Assim, ambos os dispositivos supracitados limitam-se a atuar sobre a emissão de dióxido de carbono (gás carbônico na nomenclatura usual, CO₂).

Ambos os trabalhos evocam esforços para a redução do efeito de aquecimento global por meio de emissões, estimulando a redução da quantidade de gás emitida. Os trabalhos já englobam um bom espectro de atividades, mas deixam de lado algumas atividades importantes, como fabricantes de semi-condutores e refrigeradores. Esta inclusão poderia aumentar a quantidade de emissões regulada pelo EU ETS em cerca de 9%, de acordo com o *Institute for Public Policy Research* – IPPR (IPPR, 2006). Outra atividade importante que é deixada de lado é o setor aéreo.

O setor aéreo tem uma significativa participação nas emissões de gases estufa, mas ainda é pouco conhecido a quantidade exata de emissões por parte desse setor, bem como ainda não se conhece o efeito de outros gases provenientes dessa atividade. Não obstante, segundo a *International Civil Aviation Organization* – ICAO, a indústria da aviação crescerá à taxa anual de 4,6% no mundo até 2025, o que provocará uma maior participação do referido mercado nas emissões proveniente de atividades antropogênicas.

Adicionalmente, foi levantado pela consultoria internacional *The Hodgkinson Group: Aviation & Climate Change Advisors* que não há ainda modelo algum, sistemático ou compulsório, que efetivamente esteja reduzindo as emissões. Baseado nisso, a necessidade de uma metodologia que possibilite a existência de um modelo desse gênero é ainda mais importante. Além disso, a empresa mostrou que apesar da possibilidade de melhorias tecnológicas nos motores reduzirem os níveis de emissões, a chance dessa emissão ser desprezível é praticamente nula. Portanto, esse modelo será necessário independentemente dos avanços tecnológicos, havendo apenas a atualização do mesmo com o avanço tecnológico (Araújo et al, 2008).

1.1. Objetivo

A temática da restrição de emissões é um assunto novo, que está começando a ser posto em prática. Atualmente discutem-se propostas para inclusão de outras indústrias no *European Union Emission Trading Scheme* – EU ETS (Esquema de Troca de Emissões da União Européia, numa tradução livre), o que poderia aumentar a quantidade total de emissões de CO₂ regulada pelo referido esquema.

Uma dessas atividades atualmente em discussão para entrar na regulação da EU ETS é a indústria da aviação. Por ser uma indústria na qual não se tem dados precisos das emissões de CO₂ e por não se saber ao certo quantos os outros gases emitidos pela aviação, sobretudo em cruzeiro, contribuem para o aquecimento global, ainda há muita discussão em torno desse assunto.

O presente trabalho visa justificar a importância da inclusão da indústria da aviação no sistema de regulação do EU ETS, mostrando como a contribuição da aviação é relevante na temática do aquecimento global. Em seguida, ensaiam-se alternativas de proposição para redução de emissões provenientes dessa atividade.

1.2. Metodologia

A fim de elucidar às autoridades a importância da inclusão indústria da aviação no sistemas de comercialização e controle de emissões, fez-se uma análise de como está a atual situação no mundo acerca do controle e regulação de emissões, com foco específico no mercado aeronáutico. Essa análise abrangeu leitura de estudos sobre a referida situação em países europeus, como a União Européia (por meio do EU ETS) e o Protocolo de Kyoto estão tratando a temática, coleta de informações em trabalhos científicos e recomendações de entidades de relevância internacional, como empresas do setor, órgãos governamentais e consultorias.

Após isso, entra-se no mérito da inclusão do setor aéreo nos sistemas de controle e comercialização de emissões, ressaltando sua relevância. Continuando, observaram-se como as empresas do setor aeronáutico, fabricante de aeronaves e componentes e empresas aéreas, estão tratando o assunto. Por último, sugerem-se meios para alcançar uma efetiva redução das emissões do setor aéreo.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho segue a referida estrutura da metodologia, que começa com o embasamento teórico de microeconomia. Na sequência abordam-se do que consiste o EU ETS e como ele funciona para após isso tratar sobre a relevância da inclusão da indústria aérea nos sistemas de controle e comercialização de emissões. Continuando, abordam-se as iniciativas das empresas do setor aeronáutico (empresas aéreas e fabricantes de aeronaves e motores). Por último faz-se sugestões de atitudes para a redução de emissões aeronáuticas.

Este trabalho é composto por sete capítulos, além deste de introdução, onde o segundo capítulo do trabalho fornece uma fundamentação microeconômica do assunto, o terceiro explica do que consiste e como funciona o EU ETS. Na sequência, o quarto capítulo cita motivações para inclusão da indústria aeronáutica no controle de emissões, seguindo do quinto capítulo de elucidar como as empresas do setor aeronáutico ao redor do mundo estão tratando o assunto. Continuando, no Capítulo 6, têm sugestões de como as empresas aéreas podem reduzir as emissões gasosas. No Capítulo 7 constam as conclusões e encerra-se o trabalho, no Capítulo 8 com sugestões de continuidade da pesquisa.

2. Teoria Microeconômica

2.1. Teoria do Bem-estar

A Teoria do Bem-estar é utilizada para explicar/calcular a situação da distribuição do bem-estar entre membros de uma sociedade, que pode ser pessoa física, jurídica ou outro tipo de entidade. Aqui, exploram-se técnicas consagradas para formalizar a distribuição do bem-estar.

2.1.1. Agregação de preferências

É sabido que a agregação de preferência de distintos objetos a distintas pessoas difere de indivíduo para indivíduo. A agregação de preferência de 1 kg de arroz para um cidadão com abstinência de comida de três dias é diferente da agregação de valor do mesmo 1 kg de arroz para um cidadão que acabou de almoçar num rodízio de risoto. Esse exemplo diz respeito à escolha do consumidor com relação a sua própria cesta de bens. Passa-se agora para a situação na qual cada consumidor tenha preferência sobre a alocação de todos os bens sobre todos os consumidores.

Para ilustrar essa afirmação, utiliza-se uma adaptação do exemplo usado por Varian [1]. Supõe-se que a viagem entre x e y possa ser executada por diversos modais, de forma que cada indivíduo i possa determinar se prefere ir com um modal em detrimento dum outro. Assim, dada a preferência de todos os indivíduos, deseja-se agregá-las numa **preferência social**. Ou seja, conhecendo a preferência de alocação de cada pessoa, aspira-se utilizar essas informações para desenvolver uma classificação social das várias alocações.

Um modo de agregar as preferências individuais é através de votação, na qual se sabe se há maior preferência pelo modal aéreo (avião comercial) em detrimento do rodoviário (ônibus), dizendo que há preferência social de ir de x a y de avião comercial, isto é, o avião comercial, neste caso, é socialmente preferível. Entretanto, esse método não considera classificação transitiva de preferência social.

Através da Tabela 1 lista-se a preferência entre três meios de transportes (avião comercial, ônibus e automóvel particular). Observa-se que a maioria prefere avião comercial a ônibus, ônibus a automóvel particular e automóvel particular a avião comercial.

Tabela 1: Preferências que geram classificação transitiva.

	Consumidor 1	Consumidor 2	Consumidor 3
+	Aéreo (avião comercial)	Rodoviário (automóvel)	Rodoviário (ônibus)
	Rodoviário (ônibus)	Aéreo (avião comercial)	Rodoviário (automóvel)
-	Rodoviário (automóvel)	Rodoviário (ônibus)	Aéreo (avião comercial)

“Portanto, agregar as preferências individuais pelo voto majoritário não funcionará, pois, em geral, as preferências sociais resultantes da votação majoritária não são preferências bem-comportadas, uma vez que não são transitivas” [VARIAN, 2000]. Devido ao fato das preferências não serem transitivas, não haverá nenhuma alternativa reconhecidamente melhor no conjunto dado, de modo que o resultado obtido da sociedade dependerá da ordem na qual a votação foi realizada.

Dessa forma, enumeram-se três condições que se deseja que o mecanismo de decisão social siga [1]:

1. Dado um conjunto completo, reflexivo e transitivo de preferências individuais, o mecanismo de decisão social deveria resultar em preferências sociais que satisfizessem as mesmas propriedades;
2. Se todos preferissem a alternativa avião comercial à alternativa ônibus, as preferências sociais deveriam classificar aquele à frente desse;
3. As preferências entre avião comercial e ônibus deveriam depender apenas de como as pessoas classificam aquele em relação a esse e não de como classificam as outras alternativas.

Muito embora tais afirmativas sejam lógicas e plausíveis, o economista prêmio Nobel de 1972, Kenneth Arrow, provou o seguinte resultado, já antes comentado pelo matemático e economista francês Marie-Ésprit Léon Walras:

A soma das racionalidades individuais não produz uma racionalidade coletiva. Noutras palavras, “se um mecanismo de decisão social satisfizer as condições 1, 2 e 3, ele então terá de ser uma ditadura: todas as ordenações sociais são ordenações de um indivíduo”[1].

O Teorema supracitado mostra que não há forma perfeita de tomar decisões sociais, nem de considerar todas as preferências individuais para construir uma preferência social,

para isso ter-se-á que abrir mão de uma das propriedades do mecanismo de decisão social descrito no Teorema de Arrow.

2.1.2. Funções de bem-estar

Por não haver método perfeito, segundo Arrow, utiliza-se diversas maneiras de medir e definir o bem estar. Na literatura, o bem-estar é definido de formas diferentes, das quais pode-se destacar as mais comuns [1]:

2.1.2.1. Bem-estar utilitarista clássica ou de Bentham

$$W(u_1, \dots, u_n) = \sum_{i=1}^n u_i$$

Para Jeremy Bentham, o fundador da escola utilitarista de filosofia moral, o bem supremo é uma felicidade maior para um número maior de pessoas, daí a função ser representada por um somatório direto.

2.1.2.2. Bem-estar da soma ponderada das utilidades

$$W(u_1, \dots, u_n) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot u_i$$

Essa função é, na verdade, uma generalização do bem-estar utilitarista clássico, onde se ponderam as utilidades.

2.1.2.3. Bem-estar social minimax ou rawlsiana

$$W(u_1, \dots, u_n) = \min\{u_1, \dots, u_n\}$$

“Essa função de bem-estar social diz que o bem-estar social de uma alocação depende apenas do bem-estar do agente em pior-situação – a pessoa com utilidade mínima” [VARIAN, 2000]. Esse é o princípio de justiça defendido por John Rawls, um filósofo moral contemporâneo de Harvard.

2.2. Eficiência Econômica

O termo eficiência é utilizado para medir a razão entre o esforço empregado e o resultado obtido com tal emprego. Economicamente, diz-se que eficiência econômica é um termo genérico dado aos valores determinados para uma dada situação, visando estimar a quantidade de desperdício ou ‘atrito’ (ou outras características econômicas indesejadas) presentes no quadro analisado.

Uma maneira de aumentar a eficiência é melhorar a alocação de recursos (*inputs*) de modo que o bem-estar (*output*) seja incrementado. Numa situação que a razão output sobre input está aumentando, fala-se que há um incremento de eficiência ou, simplesmente, que o sistema está ficando mais eficiente. Caso contrário, há uma ineficiência crescente.

A situação na qual não se consegue melhorar a situação ou, de forma mais abrangente, a utilidade, de um agente sem piorar a de outro se diz ser **eficiente de Pareto**. Assim, “se puder encontrar uma forma de melhorar a situação de uma pessoa sem piorar a de nenhuma outra” [1] tem-se uma melhoria de Pareto. E ainda, se a alocação é tal que permite uma melhoria de Pareto, diz que ela é ineficiente de Pareto, caso contrário é eficiente de Pareto. Este critério é pode ser útil para comparar situações econômicas de diferentes entidades

Uma alocação ineficiente de Pareto quer dizer que há como melhorar a situação de alguém sem prejudicar a situação dos outros, gerando um incremento do bem-estar geral. No entanto, a tal eficiência não tem nada a dizer sobre a distribuição do bem-estar entre as pessoas ou entidades

2.3. Falhas de Mercado

“Desvios às características iniciais dos modelos econômicos. A Economia de mercado tem sofrido a partir do século XIX de várias falhas como: desvio da concorrência perfeita em direção à concorrência imperfeita (oligopólios e monopólios); o surgimento de externalidades (poluição do ar ou da água); crises econômicas; intervenção do Estado na Economia de mercado; recurso ao mercado na Economia de Direção Central. Estas falhas promovem desvios de princípios que inicialmente caracterizavam as Economias e muitas delas (poluição) constituem um forte bloqueamento ao desenvolvimento da Economia” [4].

As falhas de mercado geralmente ocorrem quando não há uma regulamentação por parte do Estado, de modo que os mecanismos de mercado ficam livres, gerando

conseqüências indesejadas do ponto de vista social, como é o caso da emissão de poluente e ruído. “Tais falhas são geralmente provocadas pelas imperfeições do mercado, nomeadamente informação incompleta dos agentes econômicos, custos de transação elevados, existência de externalidades e ocorrência de estruturas de mercado do tipo concorrência imperfeita” [5].

2.4. Externalidade

Segundo Barros, estamos perante uma externalidade quando a atuação de um determinado agente econômico influencia o bem-estar ou o lucro de outro agente econômico sem que essa interdependência seja obtida através do sistema de preços. Noutras palavras, externalidades, também chamadas economias (ou deseconomias) externas, são efeitos positivos ou negativos - em termos de custos ou de benefícios - gerados pelas atividades de produção ou consumo exercidas por um agente econômico e que atingem os demais agentes, sem que estes tenham oportunidade de impedi-los ou a obrigação de pagá-los. Portanto, externalidades referem-se ao impacto de uma decisão sobre aqueles que não participaram dessa decisão.

“[...] Dizemos que uma situação econômica envolve uma externalidade de consumo se um consumidor se preocupar diretamente com a produção ou consumo de outro agente. Por exemplo, tenho preferências definidas sobre meu vizinho tocar música alto às três da madrugada, ou sobre uma pessoa sentada a meu lado num restaurante fumar um charuto barato ou sobre a quantidade de poluição produzida pelos automóveis da minha cidade. Esses são exemplos de externalidades de consumo negativas. Por outro lado, posso ter prazer em observar o jardim de flores do meu vizinho – esse é um exemplo de externalidade de consumo positiva.[...]” (VARIAN, 2000)

Pode-se falar ainda em **externalidade na produção** que é quando a produção de determinado agente influe na produção de outro. Exemplos disso é a cultura de arroz e feijão, que um elimina ao solo matéria necessária para o cultivo da outra; empresa de pesca que se preocupa com a quantidade de poluentes despejado em sua área de pesca; concessionária de rodovia que se preocupa com os desgastes dos pneus e componentes automotivos devido a irregularidades no pavimento.

Apesar de geralmente haver uma preocupação com os custos das externalidades, não há um mercado para grande parte dos bens com os quais as pessoas se importam. Não há mercado, por exemplo, para música alta às três da madrugada, nem para a música e cheiro expelido por charuto barato. Da mesma forma, ainda não há no Brasil mercado para emissões

de ruído e poluentes aeronáuticos. A falta da boa regulamentação desses mercados é que causa problemas e transtornos à população, sobretudo economicamente.

É função do Estado criar e estimular medidas e/ou agências regulamentadoras que, como o nome diz, regulem o mercado de externalidade. Medidas normalmente adotadas para tal são:

- Para externalidades negativas (como emissão de ruído e poluentes):
 - Taxação;
 - Sanções legais.
- Caso de externalidades positivas (como plantação de parque botânico ou utilização de combustível limpo):
 - Incentivos fiscais;
 - Concessão de subsídios.

3. *European Union Emission Trading Scheme*

3.1. Do que consiste o *European Union Emission Trading Scheme*

O Esquema de Comercialização de Emissões da União Européia (*European Union Emission Trading Scheme* – EU ETS, do nome original em inglês) é o maior tratado multinacional de comercialização de permissões de emissões e é o principal pilar do *EU Climate Policy* (Política de Clima da União Européia, numa tradução livre do inglês). Atualmente, o EU ETS abrange mais de 10.000 plantas nos setores industrial e energético, que, conjuntamente, são responsáveis por aproximadamente metade da emissão de CO₂ e 40% do total de gases que provocam o efeito estufa da União Européia.

De acordo com o EU ETS, grandes emissores de dióxido de carbono (CO₂), de indústrias que estiverem inclusas no esquema e estiverem em países-membro da União Européia devem monitorar e reportar, anualmente, suas emissões do referido gás. São, ainda, obrigados obter junto às autoridades locais, também anualmente, quantidade de cotas (permissões para emissões) equivalente à emissão de CO₂ do referido ano.

No intuito de neutralizar as inconstâncias anuais do nível de emissões de CO₂, que podem ocorrer devido a eventos climáticos extremos (tais como um inverno muito severo ou um verão muito quente), as cotas de qualquer entidade que seja alvo da EU ETS são dadas para uma certa quantidade de ano de uma vez só. Cada intervalo de anos citado anteriormente é chamado de Fase ou Período de Troca (numa tradução livre do original em inglês, *Trading Period*).

O primeiro Período de Troca (ou Fase I, como alguns autores intitulam) do EU ETS encerrou-se em dezembro de 2007 e envolvia emissões que fossem geradas a partir de janeiro de 2005. Com o término desse período, as permissões européias para emissão da Fase I ficaram inválidas, ou seja, expiraram. Assim, quem tinha cotas inutilizadas não pode mais fazer nada com elas.

Desde janeiro de 2008 o segundo Período de Troca (Fase II) iniciou-se e durará até o mês de dezembro de 2012. Este período é concomitante com o primeiro período do Protocolo de Kyoto, o tratado internacional de redução e negociação de emissões, que funciona sobre o auspício do *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC – Convenção de Estrutura de Mudanças Climáticas das Nações Unidas).

Atualmente, as entidades abrangidas pelo EU ETS tiveram cotas concedidas gratuitamente pelos Estados-membros da União Européia. Além de receber a alocação inicial

de permissões, um operador pode comprar permissões europeias de outras entidades (indústrias, negociadores ou governos, por exemplo). Assim, se uma dada instalação tiver recebido, gratuitamente, mais permissões do que ela necessita, a entidade pode vender o excedente para outras entidades, o que estimula a diminuição da emissão de CO₂, gerando caixa para as empresas e redução de impacto ambiental. Analogamente, quem emitir mais CO₂ que o previsto em quantidade de cota terá que desembolsar um montante para comprar permissões extras. Quem emitir mais CO₂ do que a quantidade de cotas disponível para sua empresa é penalizado com multas, como será tratado mais a frente.

Em janeiro de 2008, a União Europeia propôs várias mudanças no Esquema, incluindo a centralização de alocação de cotas, que deixaria de ser país a país para ser feito por uma autoridade da União Europeia, propôs ainda leiloar uma boa parte (mais de 60%), ao invés de distribuí-las gratuitamente, e a inclusão de outros gases estufa (GHG), como o óxido de nitrogênio e perfluorocarbono na regulação do EU ETS.

Essas alterações permanecem como rascunho. A expectativa é que a referida emenda entre em vigor em janeiro de 2013, ou seja, no terceiro Período de Troca do EU ETS.

Há também uma proposta, para o terceiro Período de Trocas, para que em 2020 a quantidade de emissões total de gases estufa, por parte das entidades contempladas pelo EU ETS, seja 21% das emissões de 2005, além de estar em discussão a possível inclusão de outras indústrias como a aviação.

3.2. Como funciona o EU ETS

Atualmente, o EU ETS restringe-se a atuar apenas sobre as emissões de dióxido de carbono, CO₂, provenientes de indústria produtoras de energia e de capital intenso (tais como aço, cimento, papel e celulose, refinaria de petróleo) na União Europeia.

Para a distribuição das permissões de emissões entre as entidades, cada Estado-membro da União Europeia desenvolve um Plano Nacional de Alocação (NAP, na sigla em inglês) para cada fase. Cada NAP especifica a quantidade de emissões permitida, em cada fase do EU ETS, e diz quantas cotas serão alocadas para as instalações (geração de energia ou fábricas) que são inclusas no EU ETS.

Na Fase I, os governos tinham permissão para vender até 5% das cotas que eles tinham para distribuir, enquanto os outros 95% tinham que ser alocados sem custo. Na Fase II pode-se vender até 10%.

Dessa forma, cada unidade produtiva envolta pelo EU ETS tem uma quantidade de cota disponível. Cada cota permite a emissão de uma tonelada de dióxido de carbono (tCO₂). As referidas permissões emitidas pela União Européia (EUAs, da sigla em inglês) podem ser negociadas com outras instalações e/ou intermediários dentro da União Européia. Isto significa que se uma dada entidade produz mais emissão que a sua quantidade de cota permite, ela poderá adquirir cotas extras, comprando-as de entidades que emitem menos. Caso a quantidade emitida seja maior que a quantidade de cotas destinadas para aquela unidade e a referida pessoa jurídica não tenha obtido mais permissões (negociando com terceiros) a multa era de € 40 (quarenta Euros) na Fase I e, agora, é de € 100 (cem Euros) na Fase II, isso para cada tonelada de dióxido de carbono, ou seja, por cota equivalente à emissão excedida. O excedente de emissão pode, também, ser tratado através da redução do número de cotas do ano seguinte da dita entidade, de forma que a integridade ambiental do EU ETS não seja afetada, mantendo a quantidade permitida de emissão de CO₂ de acordo com os planos originais para o período.

Empresas também podem comprar créditos de emissão (crédito carbono) por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de Kyoto (CDM, em inglês) e de Implementação Conjunta (JI, também da sigla em inglês), onde investimentos em projetos de redução de emissão em países em desenvolvimento e países industrializados ganham, respectivamente, *emissions reduction units* (ERUs) ou *certificados de redução de emissão* (CERs), que são equivalentes às EUAs.

O resumo do funcionamento pode ser visto na Figura 1



Figura 1: Esquema de como a EU ETS funciona

Na Figura 2 apresenta-se um esquema resumo de cada Fase, ou Período de Troca, do EU ETS.

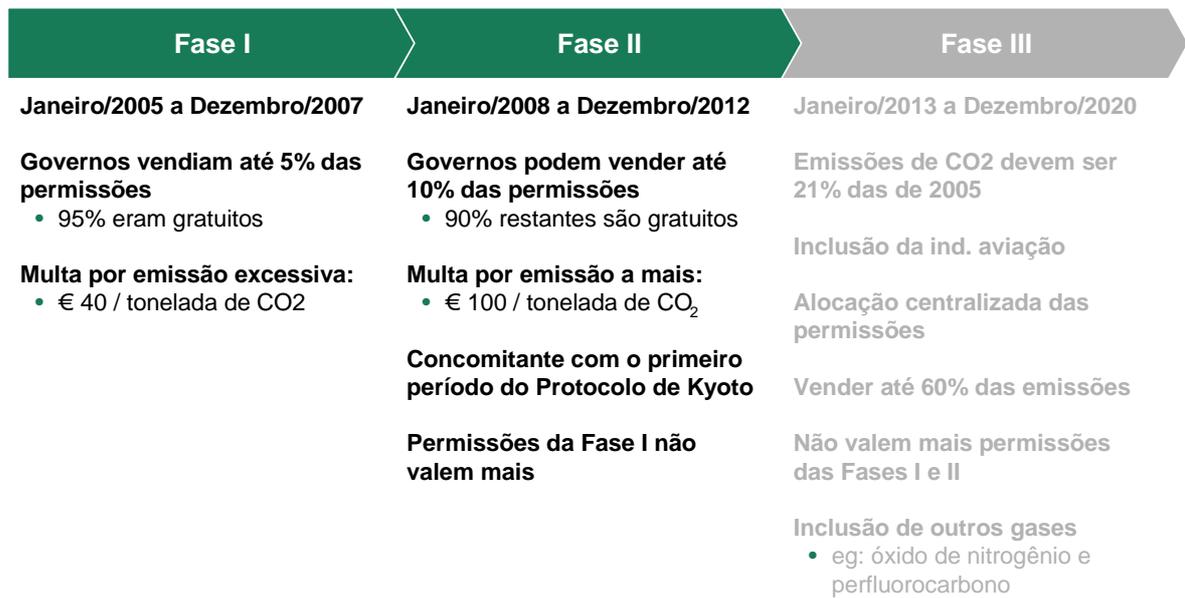


Figura 2: Resumo do funcionamento de cada Fase, ou Período de Troca, do EU ETS.

4. Motivação para inclusão da aviação nos controles de emissões

Há muito tempo discute-se sobre aquecimento global e suas conseqüências para a vida, não só, mas principalmente, humana. Com o passar do tempo, o aumento do conhecimento humano, o domínio da tecnologia e incremento contínuo da preocupação e conscientização ambiental passou-se a observar cada vez mais diversos impactos ambientais gerados por diferentes fontes. Na seqüência passou-se a medir os impactos ambientais com métodos e modelos científicos que estão cada vez mais precisos. Por fim, os esforços voltaram-se para controlar o nível de impacto ambiental gerado pelas atividades andrógenas.

Um dos impactos ambientais que tem estado mais em pauta há algum tempo é o aquecimento global, que está intimamente relacionado com o Efeito Estufa, buraco na camada de ozônio e emissões de poluente.

No intuito de controlar a evolução do aquecimento global e tentar diminuir os problemas decorrentes deste, ou pelo menos reduzir a escala de evolução, várias iniciativas foram tomadas, dentre as quais hoje destacam-se o EU ETS, já mencionado, e o Protocolo de Kyoto. Ambos os trabalhos visam internalizar a emissão de gases, colocando o custo desse processo interno à atividade desenvolvida, reduzindo o custo social das emissões gasosas. Esse processo de internalização de custos sociais deu-se porque o Painel Intergovernamental de Mudança Climáticas, IPCC, no seu relatório de 1995 (IPCC, 1995) sobre mudança climática concluiu que há uma forte relação entre as atividades humanas e alguns impactos ambientais no ecossistema global, caracterizando isso como uma externalidade de algumas atividades que, como relatado, gera custos sociais que devem ser internalizados.

Entretanto, ainda há grandes setores da economia que estão fora do EU ETS e do Protocolo de Kyoto que podem, perfeitamente, serem incluídos nesses trabalhos.

Outro setor que estudos recentes citam ser merecedor da inclusão, devido a sua contribuição nas emissões e perspectivas de aumento de contribuição, nos sistemas de comercialização, controle e regulação de emissões é o setor aéreo, no qual se concentra atenção nesse trabalho. Já há movimentos para incluir o setor de transportes no EU ETS, no entanto, devido a diversos fatores essa inclusão sofreu procrastinações.

Para se perceber a importância da inclusão da aviação no sistema de comercialização de permissões de emissões a aviação é responsável por 3,5% de todo o dióxido de carbono emitido pelo homem (IPCC, 1999). Segundo informações do site da Airbus (www.airbus.com) a cada nova geração de aeronaves, há uma diminuição de 5% na emissão

de CO₂, mas uma nova geração de aeronaves leva vários anos para ser desenvolvida. Enquanto isso, a ICAO prevê que a indústria de aviação vai crescer globalmente a taxa de 4,6% ao ano até 2025, o que provoca um aumento das emissões mesmo com a evolução tecnológica mostrada pela Airbus. Cordina (2002) compila alguns dados concluindo que enquanto as melhorias tecnológicas contribuem com redução de 3,5% das emissões ao ano, o aumento do tráfego aéreo é de aproximadamente 5% anual.

Caso compare-se as emissões aeronáuticas de CO₂ com outros modais do transporte, de acordo com a Figura 3, pode-se ter a impressão de que a contribuição do setor aéreo é baixa. No entanto, já é considerada uma contribuição expressiva pela comunidade científica no que diz respeito ao aquecimento global.

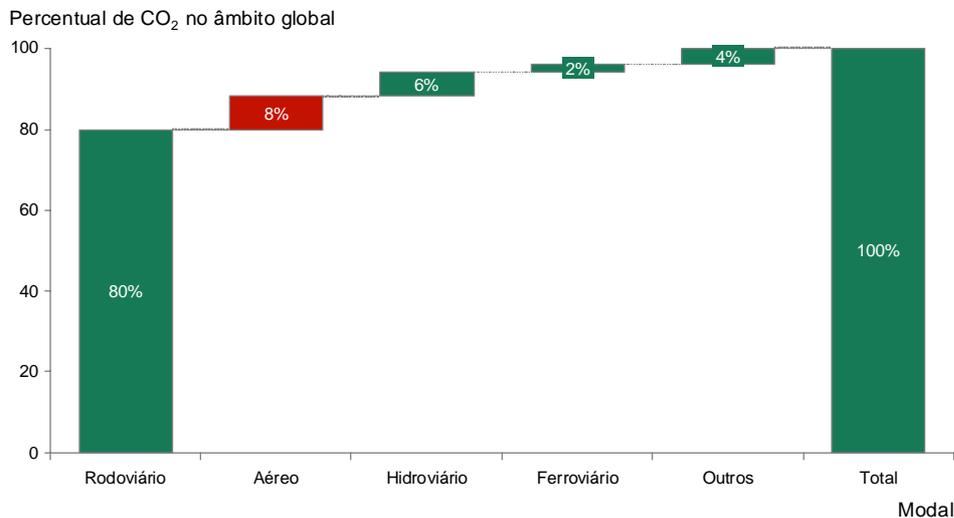


Figura 3: Percentual de contribuição de cada modal de transporte com relação a emissão de CO₂ em âmbito global (1995).

Fonte: Adaptado de BTS, 1998 (apud).

Adicionalmente, de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), esse quadro fica ainda mais preocupante quando se faz a projeção para o ano de 2050, quando se estima que a emissão aeronáutica de CO₂ terá aumentado aproximadamente 10 vezes e, caso as outras fontes emissoras antropogênicas permaneçam crescendo a taxa constante, a emissão aeronáutica será a maior em valores absolutos. Pegando o caso específico da Inglaterra, segundo o *Environmental Change Institute*, “em apenas 10 anos, entre 1990 e 2000, a quantidade de emissão de dióxido de carbono devido à aviação no Reino Unido dobrou. No mesmo período, o somatório das emissões de todas as outras atividades no Reino Unido caiu cerca de 9%. Uma revisão da previsão da taxa de crescimento de viagens aéreas na Inglaterra indicou que as emissões devido a essa fonte irão mais que dobrar,

novamente, entre 2000 e 2030 e podem crescer entre 4 e 10 vezes o nível de 1990 até 2050” (ECI, 2006).

Vale ressaltar ainda, que as emissões aeronáuticas não se restringem apenas ao CO₂, contendo também óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e água. Entretanto, a ciência ainda não tem conhecimentos suficientes de quanto esses gases contribuem para o aquecimento global, mas de acordo com o IPPR (IPPR, 2006) o impacto ambiental gerado pela aviação considerando todos os gases emitidos é de duas a cinco vezes maior que o impacto devido a emissão de CO₂ isoladamente. Contudo, como já foi visto, atualmente as organizações mundiais tratam apenas das emissões de CO₂, principalmente devido à falta de conhecimento da contribuição de outros compostos para o problema climático, como se observa na Tabela 2.

Tabela 2: Influência de Gases de Efeito Estufa no aquecimento global por modal de transporte. Padrão: CO₂.

Gás	Proveniente dos três modais¹	Provenientes de Aeronaves	Nível de conhecimento pela ciência	
Dióxido de Carbono (CO₂)	1	1	Bom	
Ozônio (via óxido de nitrogênio)	0,2	0,5 – 2	Médio	
Rastros de condensação (contrails)	0	0,5 – 2	Ruim	
Vapor d'água	0	0,5	Médio	
Compostos de enxofre	n/d²	0,5	Muito ruim	
Total	1,1	2 – 5	Ruim	

1. Modais: automóveis, trens, navios. Média 2. Não disponível

Fonte: adaptado de Simões, 2003.

Se a inclusão ou não da aviação conduzirá ao sucesso na redução das emissões depende da extensão com a qual o setor endereçará seus esforços para determinar o completo impacto da aviação nas alterações climáticas. E se considerará apenas os vôos oriundos e/ou destinados à União Européia ou vôos que sobrevoem sua área também. Deve-se adotar medidas tão abrangentes quanto a legislação permita.

5. Iniciativas e situação de empresas do setor aeronáutico ao redor do mundo

A efetiva redução de emissão no setor aéreo é uma atividade que requer esforços de pelo menos três grupos: companhias de carga aérea e de transporte de passageiros, controladores de tráfego aéreo e empresas do setor aeronáutico. Além delas, é claro, considera-se o órgão regulador. Tal situação é representada na Figura 4.

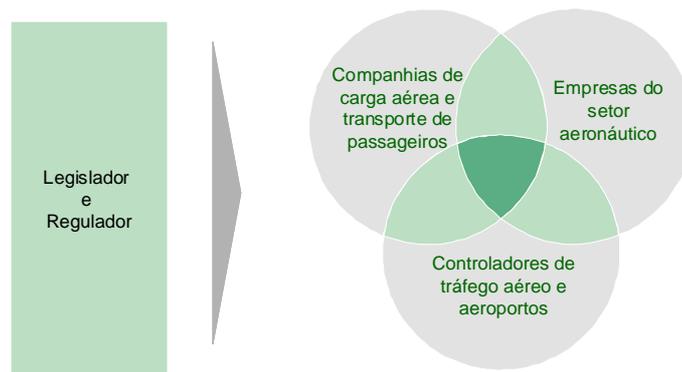


Figura 4: A redução de emissão no setor aéreo requer a participação de três entidades-chaves.

As primeiras a reagir ao assunto foram as empresas do setor aeronáutico responsáveis por projetos e fabricação de aeronaves ou partes delas. Em seguida, teve início o movimento das empresas aéreas (de carga e transporte de passageiros).

Com relação às empresas aéreas, baseado em informações coletadas nos sites das empresas, é notória a diferença de evolução nesse tema das empresas européias para as norte-americanas e brasileiras. As empresas européias estão na frente, seguidas pelas companhias cargueiras americanas, conforme a Figura 5.

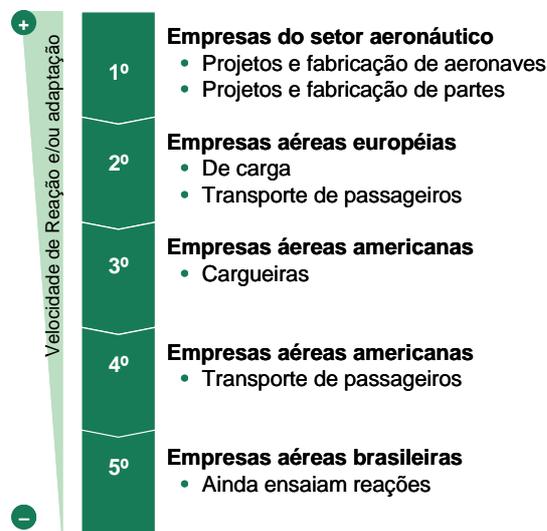


Figura 5: Velocidade de Reação e/ou adaptação das empresas à questão de emissões.

A empresa americana de linhas aéreas Continental demonstra grande preocupação com relação às emissões e já cita alguns objetivos interessantes:

- 35% de redução no consumo de combustível e emissão de gases estufa (GHG), por meio de US\$ 12 bilhões em 12 anos;
- Adaptação de aeronaves para que consumam menos combustível;
- Compromisso de investir mais de US\$ 9 bilhões em tecnologia limpa até 2013;
- Primeira empresa americana de transporte de passageiros a pedir Boeing 787s com motores GEnx, que têm um consumo de combustível 15% menor que os motores substituídos.

A companhia Delta também tem um programa interessante, donde se destaca:

- Primeira companhia americana de transporte de passageiros a anunciar compensação de emissão de carbono, que se dará através de um fundo que plantará árvores nos Estados Unidos. O fundo é aberto para doações;
- Conscientização dos funcionários e “dia da Terra” (*Earth Day*, no nome original);
- Programas de redução de emissão incluindo melhorias nas rotas aéreas, redução do peso das aeronaves, que economizou 25 milhões de galões de combustível em 2006.

As companhias cargueiras americanas, por sua vez, já investem esforços na redução de emissões.

A companhia cargueira americana UPS anunciou, ainda sem divulgação de alguns resultados:

- Meta de reduzir as emissões das aeronaves para 0,77 em 2007 (contra 0,81 em 2006) para cada 1.000 kg de carga paga.

A Fedex, procede com troca de aeronaves:

- Troca de Boeing 727s por 757s e 777-200LRs, que são mais econômicos

A DHL firmou o seguinte compromisso:

- Contribuir com a meta de reduzir de 33 a 66 MtC e mais de 200.000 toneladas de óxidos de nitrogênio por ano até 2012.

A Figura 6 mostra o empenho de cada uma dessas empresas americanas.

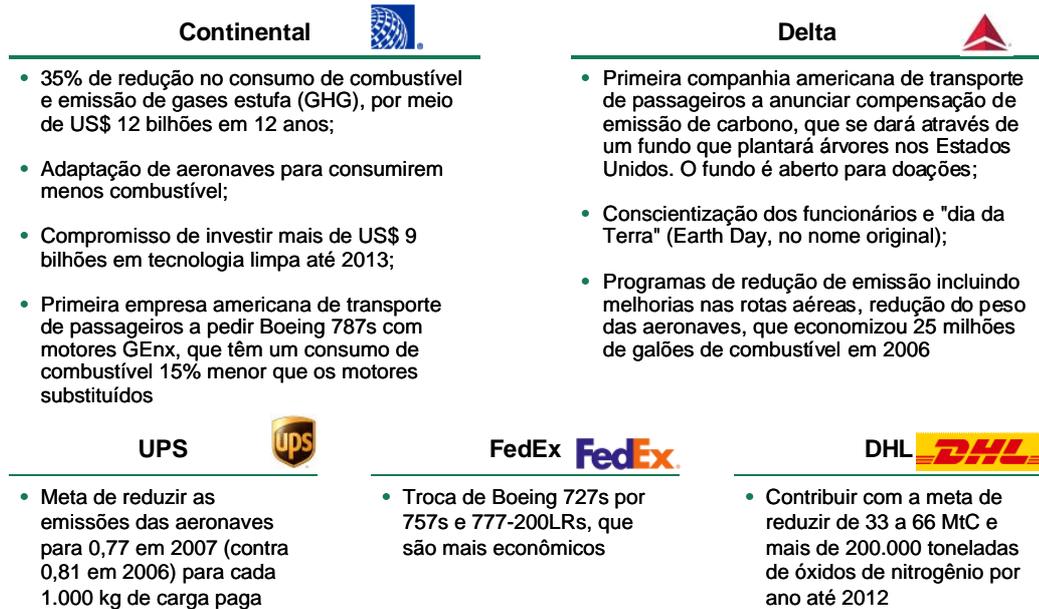


Figura 6: Comparação das iniciativas de algumas empresas de transporte aéreo americana.

Fonte: Autor

As empresas européias, como citado anteriormente, estão na frente dos resultados e iniciativas, além de já divulgarem mais informações a respeito do assunto.

A empresa *British Airways* anuncia, em seu site:

- Renovação das aeronaves e veículos de solo;
- Anuncia ganho de eficiência de combustível 28% com relação a 1990
- Planeja 25% de redução de emissão até 2025
- Faz parte de projetos de redução de emissão de carbono;
- Empresa aérea pioneira em esquemas de comercialização de emissões;
- Trabalha no gerenciamento das rotas aéreas a fim de reduzir a emissão de carbono;
- Fundou a “Aviação Sustentável” (*Sustainable Aviation*, do nome original);
- Desenvolve um esquema para redução de emissão de carbono (não só relacionado a vôo, mas também em outras frentes)

A *Air France* tem como estratégia, no seu site:

- Renovação da frota aérea e de solo;
- Apóia o protocolo de Kyoto e a EU ETS;
- Pretende reduzir 82.000 tCO₂;
- Otimização de operações;

- Criação de sinergia entre o transporte aéreo e o férreo sempre que possível;
- Oferece uma calculadora de emissões de CO₂;
- Apóia a ICAO em procedimentos de melhoras para redução de emissões;
- Tem uma equipe de pesquisa e desenvolvimento destinada ao assunto de poluentes.

Segundo seu próprio site, a *Swiss Air* emprega esforços e planeja:

- Redução do consumo de combustível;
- Rearranjo de vôos de longa duração, o que reduziu em 11% as emissões anuais desse tipo de operação, reduzindo 100.000 tCO₂;
- Propõe que se todo vôo de longa duração, feito em aeronaves Airbus e operada pela Swiss tiver um quilograma a menos de carga irá diminuir a emissão anual de CO₂ em 16 toneladas;
- Instalação de assentos mais leves;
- Sofisticado gerenciamento de vôo e medidas das operações;
- Oferece programas voluntários para redução da emissão global de carbono, através do “My Climate”.

A alemã Lufthansa planeja, baseado no seu site:

- Concientiza ecologicamente seus clientes a fazerem doações ao programa “My Climate”;
- Emissões são calculadas com base em modelos científicos e são diretamente certificados por projetos de melhora do clima;
- Tem projetos que irão ajudar a ter redução direta da emissão não só de CO₂, mas também de outros gases estufa;
- Tem uma calculadora própria para emissão de CO₂;
- Projeto de aquecimento e geração de eletricidade a partir de biomassa em Karnataka e Bihar, na Índia.

A Figura 7 mostra de maneira esquemática as iniciativas tomadas pelas referidas companhias.

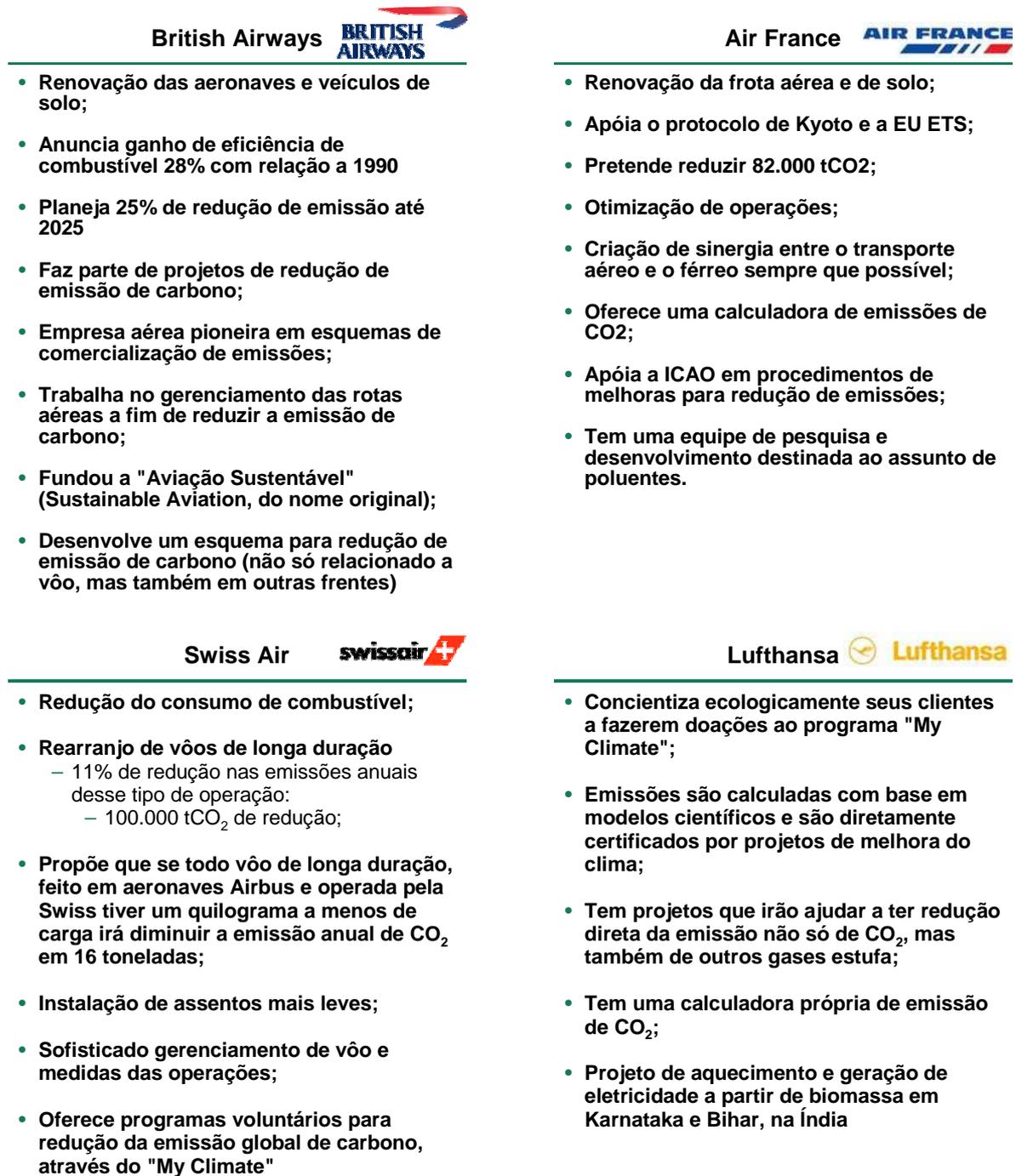


Figura 7: Comparação das iniciativas de algumas empresas européias de transporte aéreo.

Fonte: Próprio autor.

Com relação a outras empresas do setor aeronáutico, já se observa esforços tecnológicos, que refletem em investimentos financeiros, para redução de emissão.

A Airbus anunciou a implementação de novas tecnologias nas aeronaves A380 para reduzir emissões e traçou a meta de reduzir o consumo de energia em 30% e reduzir as emissões de carbono em 50% até 2020.

A Boeing anunciou 15 a 20% de incremento em eficiência de combustível nas aeronaves da família 787 e tornar mais eficiente a aeronave 747-800 além de novos motores, com material compósitos mais leves, aplicações em sistemas de eficiência, moderna aerodinâmica.

A GE substitui os motores CFM56-3 por GE90-115B, que são mais eficientes, gerando uma economia de combustível de 15% e usam 30% menos partes na montagem.

A Honeywell, no intuito de reduzir em 50% as emissões de NO_x até 2050, desenvolve tecnologia em câmara de combustão. Além disso emprega Lean-direct-injection (LDI) e Rich-quick-mix (RQM).

A Rolls-Royce desenvolveu o motor TRENT para a família de aeronaves A380 e 787s que tem consumo de combustível em cruzeiro 15% menor.

A Pratt & Whitney utiliza a câmara de combustão TALON para reduzir a emissão e NO_x, participa do programa da NASA *Ultra-Efficient Engine Technology* (UEET – Tecnologia de motores ultra-eficazes, numa tradução livre) e desenvolveu a família de motores GP7000 para o A380, que é mais eficiente.

A Figura 8 resume as estratégias e esforços dessas companhias para reduzir a emissão de gases poluentes.

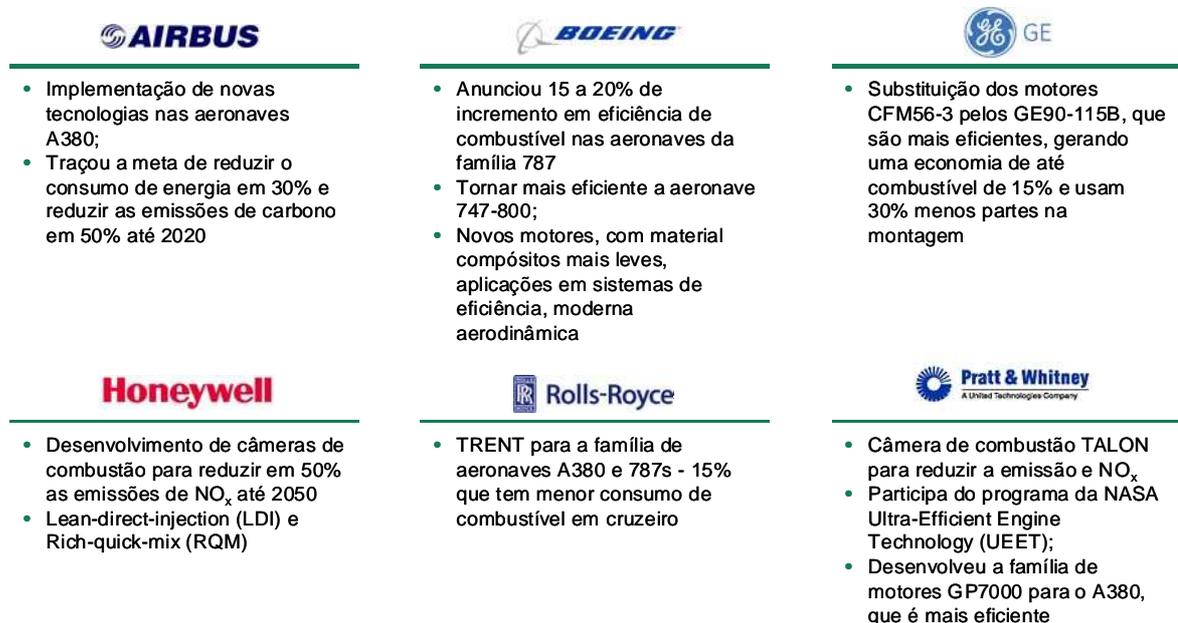


Figura 8: Estratégias e esforços de companhias aeronáuticas para redução de emissões.

Fonte: Próprio autor.

6. Sugestões para redução de emissões aeronáuticas

De acordo com o *Environmental Change Institute* (ECI, 2006) há três formas de reduzir as emissões aeronáuticas sem diminuir a oferta de vôos, que são:

- Melhoras no gerenciamento do tráfego aéreo;
- Outras melhoras operacionais;
- Melhorias em eficiência tecnológica.

Aqui, acrescentam-se duas a mais, pautadas na Engenharia Ambiental:

- Controle de velocidade de vôo;
- Incentivo de vôos em condições ambientalmente favoráveis.

6.1. Gerenciamento do tráfego aéreo

Há duas maneiras básicas com as quais o tráfego aéreo pode contribuir para redução das emissões aeronáuticas. A primeira é de melhorar a distribuição dos vôos. A segunda é estimular vôos em condições atmosféricas que minimizem o impacto.

A melhora da distribuição dos vôos pode contribuir de duas maneiras distintas para a redução das emissões:

- Menor tempo de solo;
- Menor tempo de sobrevôo.

Uma das situações que há maior emissão aeronáutica é quando a aeronave está em solo. Nessa situação há utilização de diversos equipamentos com eficiência menor do que quando em cruzeiro, como é o caso da utilização de *Auxiliar Power Unit* - APU, refrigeração e aquecimento, por exemplo.

A emissão proveniente dessas situações convencionais de solo deve ser calculada e incluída na quantidade de emissões provenientes da aeronave (ou da companhia aérea), de forma que ela seja responsável por aquela cota. Já no caso de atraso, o que gera um tempo de solo maior que o calculado, ocasionando maior emissão que o previsto, deve haver internalização do custo das emissões, de modo que não haja incremento no custo social

externo. Dessa forma, a entidade responsável pelo atraso deve se responsabilizar por “neutralizar” as emissões provocadas por essa situação.

Ou seja, caso o atraso seja por ineficiência dos operadores de tráfego aéreo, o órgão responsável pelo tráfego aéreo deve comprar cotas extras a fim de compensar a emissão adicional que ela provocou. Caso o atraso seja por questões operacionais da companhia aérea responsável pela aeronave, essa deve comprar as cotas extras e assim por diante. Resta ao regulador determinar quem pagará a conta em cada situação e, principalmente, em situações de conflito.

O tempo de sobrevôo funciona de maneira análoga ao tempo de solo, uma vez que durante essa operação há um dispêndio de emissões que a rigor não há necessidade.

6.2. Melhoria em eficiência tecnológica e outras melhorias operacionais

Agregaram-se, aqui, os dois tópicos de possível redução, por haver uma interseção considerável de soluções entre elas.

A eficiência tecnológica diz respeito à adoção de motores em aeronaves que sejam mais eficientes, consumindo menos combustível, ou que emitam menos gases estufa.

Para uma mesma aeronave, geralmente, há diversas alternativas de motorização. Cada motor tem sua característica de consumo e emissão, como se pode observar na Figura 9 (Araújo et al, 2008) que compara as emissões dióxido de carbono, vapor d’água, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de sulfato e hidrocarbonetos para alternativas de motorização de aeronaves A320, da fabricante francesa Airbus.

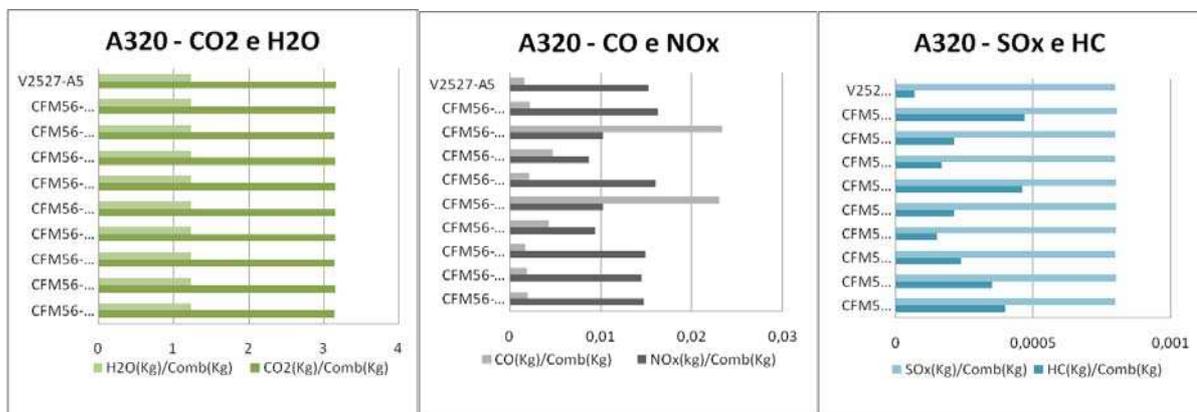


Figura 9: Coeficientes de emissão para diferentes motores no Airbus A320.

Fonte: Araújo et al, 2008.

Analisando os gráficos da Figura 9, observa-se que há uma considerável variação de emissão entre os diversos tipos de motores, de modo que não se pode desprezar essa influência. Considerando, por exemplo, o nível de emissão de quilograma de HC por quilograma de combustível, notam-se variações expressivas nas quantidades emitidas.

Dessa forma, pode-se haver estímulo para adoção de motores que sejam ambientalmente favoráveis e atendam restrições operacionais.

Outro método é aumentar a eficiência do combustível, estimulando o aumento da métrica de passageiro-quilômetro. O *Advisory Council for Aeronautical Research in Europe* colocou como meta o incremento em 50% da eficiência de combustível por passageiro-quilômetro, incluindo melhora de 10% do controle do tráfego aéreo e redução de emissão de NO_x em 80% em 2020 baseado na equivalência de aeronaves novas de 2020 com as antigas de 2000 [11].

O estímulo a adoção de combustíveis alternativos também é uma solução interessante. A Academia da Força Aérea – AFA, já adota tal medida para abastecer parte de suas aeronaves de instrução, gerando uma economia tanto econômica quanto de emissões, além de desenvolver a indústria nacional, já que isso é tecnologia brasileira.

Apesar de se falar em taxações para emissões, do ponto de vista da Engenharia Ambiental, é vantajosa a utilização de restrições tecnológicas em detrimento de punição econômica, por assim chamar. Um exemplo de adoção daquela medida é limitar o acesso a determinado aeroporto, ou cidade, a aeronaves que emitam menos poluentes que uma determinada quantidade. A métrica utilizada para tal medição pode ser quantidade de emissão por passageiro-quilômetro. Isso é vantagem, pois se evita uma situação na qual depois sejam necessárias medidas para resolver possíveis problemas.

A adoção de taxaço atua na direção de ter recursos para ajustar, posteriormente, problemas causados pelas emissões. No entanto, sabe-se que não é possível chegar a resultados semelhantes a uma profilaxia bem feita. Assim, olhando segundo a ótica da Engenharia Ambiental, restrições tecnológicas são mais efetivas, pois evita o problema ao invés de tentar resolvê-lo posteriormente, e mais corretas.

Entretanto, tratando o assunto do ponto de vista econômico deve-se analisar o impacto econômico e financeiro das duas medidas. Isso pode ser avaliado analisando a elasticidade do transporte aéreo nos fins para o qual ele se propõe (transporte de passageiros, turismo e negócio, transporte de cargas) e verificar qual medida impactará mais, ou menos, o transporte aéreo. Deve-se observar, ainda, o impacto em caixa que a adoção de tecnologias menos poluentes provocaria, sobretudo na situação de crise que está se atravessando agora, mesmo

que essa seja passageira. Numa situação dessas, a troca de equipamento gera um alto impacto no caixa das empresas de transporte aéreo. Além disso, o crédito está escasso e com taxas elevadas, devendo ser tomadas medidas com cautela. Dessa forma, não se pode falar qual das duas medidas, taxaço ou adoço de padrões tecnológicos, irá afetar mais o transporte aéreo sob o ponto de vista econômico sem uma análise detalhada.

Todavia, observando as tendências internacionais de imposição de padrões tecnológicos específicos para operação em determinados aeroportos, semelhante ao que já existe para o caso de ruído aeronáutico, tende-se a achar que a adaptação, por parte das empresas brasileiras, a emissões mais baixas é mandatória para poder ter uma expansão internacional.

A adoção de energia limpa (tais como eólica e solar) em terminais e hangares pode ser uma alternativa para gerar crédito carbono a baixo custo para as empresas aéreas como um todo, não se restringindo apenas ao lado aéreo das operações. Isto é uma oportunidade que pode ser desenvolvida em vanguarda pelos Engenheiros do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, uma vez que têm foco maior em aeroportos que os demais cursos superiores do Brasil.

Tais medidas devem ser analisadas considerando as zonas de proteção, afastamento das aeronaves, visibilidade da torre e outras restrições. Entretanto, num sítio aeroportuário a ser construído é possível que na fase de concepção já sejam previstas áreas para instalação de obtenção de energias alternativas. Para o caso da instalação de fontes de energia solar não são necessários tantos cuidados do ponto de vista aeronáutico, dado que podem ser instalados na cobertura do terminal de passageiros – TPS, de hangares e instalações auxiliares, sem que haja a necessidade de grandes áreas exclusivas para tal objetivo.

No intuito de reduzir as emissões das atividades aeronáuticas, de modo mais abrangente, pode-se prever em projeto, também, a reutilização de água das instalações aeroportuárias, com as devidas unidades de separação de resíduos e aproveitamento de água pluvial.

6.3. Controle de velocidade de vôo

O consumo de combustível das aeronaves em cruzeiro é função da rotação do motor, como acontece com motores convecionais. Como o nível de emissão está diretamente relacionado com o consumo de combustível, apesar de ter outras variáveis em questão, é

possível ter um controle para que a rotação dos motores seja tal que fique o maior tempo possível (ou seja, durante o cruzeiro) num ponto de emissão relativamente baixo.

Como se pode observar na Figura 10, que mostra o consumo de combustível como função da rotação de um dado motor aeronáutico, há um ponto no qual a emissão é mínima. Esse é o ponto que se deve ser perseguido para operação em cruzeiro. O referido ponto confere à aeronave uma dada velocidade de cruzeiro que pode, e aqui se sugere, ser utilizada.

Não obstante, não é tão simples assim de obedecer a essa velocidade em todos os casos, visto que, por vezes, há necessidade de se retirar no vôo atrasos que aconteceram por causas diversas. Assim, quando se faz necessário diminuir tais atrasos, a velocidade é aumentada, aumentando a rotação dos motores, o que provoca uma saída do ponto ótimo, e resulta numa maior emissão de gases. Essa emissão proveniente da alteração da velocidade para um patamar mais elevado deve ser internalizada. É função do regulador, entretanto, definir quem será o responsável por incorporar os custos dessa emissão adicional.

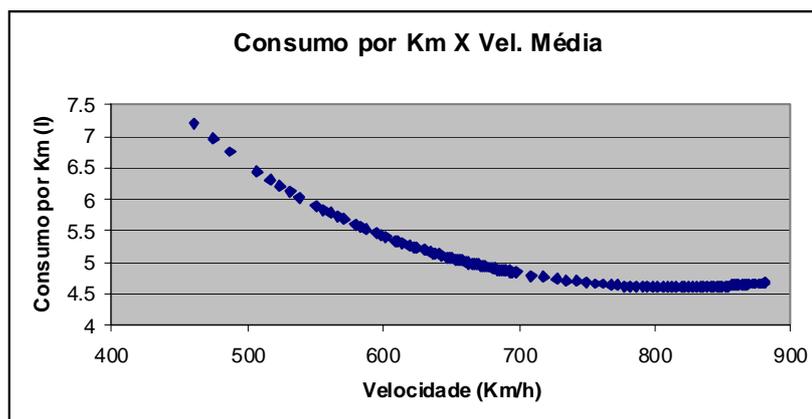


Figura 10: Gráfico modelado do Consumo/km x Velocidade.

Fonte: Araújo et al, 2008.

6.4. Vôos em condições ambientalmente favoráveis

Com o conhecimento científico que se tem hoje, sabe-se que o nível de agressão das emissões em altitudes diferentes e em situações climáticas distintas não são iguais. Isso leva a concluir que tem uma combinação de altitude e condições climáticas que seja melhor do ponto de vista da Engenharia Ambiental com relação à quantidade de emissões.

Dependendo das condições climáticas, o vôo em altitudes diferentes pode gerar redução, ou aumento, significativo das emissões. Dessa forma, pode-se haver uma preparação

específica para pilotos e controladores de tráfego aéreo a fim de saberem decidir qual a melhor altitude para o vôo de modo que as emissões sejam minimizadas. Entretanto, antes devem ser desenvolvidos estudos envolvendo simulações para saber quais as melhores condições e ter avanços científicos nessa área.

Outra oportunidade de atuação no que diz a condições favoráveis é com relação ao turno que acontece o vôo. Há estudos que dizem que o vôo de dia é menos maléfico que o realizado no período noturno, uma vez que o rastro aeronáutico produzido de dia, além de provocar a reflexão do calor da Terra para a própria Terra, reflete o calor oriundo do Sol de volta para o espaço. Tal fato gera um efeito de aquecimento e um de resfriamento, ou seja, um maléfico e um benéfico, de forma que há uma compensação. Já à noite, não há o efeito de resfriamento, visto que a incidência de energia solar é inexistente. Entretanto, estudos dessa natureza são controversos no meio científico e devem ser analisados com cautela. Não obstante, vôos diurnos são mais vantajosos considerando o ruído e a demanda, que requer mais vôos enquanto dia.

7. Conclusões

Sabe-se que o transporte aéreo hoje contribui com cerca de 3,5% das emissões de CO₂ produzido por todas as atividades antropogênicas (IPCC, 1999). Caso sejam consideradas as emissões totais, incluindo outros gases estufa, a contribuição do setor aeronáutico no aquecimento global pode ser multiplicado por 4 vezes. Além disso, o modal aéreo é o modal de transporte que mais cresce em emissão de CO₂ e tem uma previsão de crescimento anual maior que a de redução de emissão.

De acordo com estimativas do IPPR (IPPR, 2006), caso fossem vendidas, na União Europeia, cotas para, as empresas aéreas, equivalentes às suas emissões no esquema estabelecido pelo EU ETS, o lucro resultante dessa operação seria de mais de € 4 bilhões (quatro bilhões de euros). Isto mostra que uma parte considerável das externalidades, que hoje entram como custo social externo, podem ser internalizadas de modo a reduzir a diferença entre o aquele custo e o custo interno.

O impacto da inclusão da aviação na redução de emissões depende de como o sistema de negociação administrará o rápido crescimento do setor. Segundo previsões da ICAO, a indústria da aviação irá crescer numa taxa anual de aproximadamente 4,6% até o ano de 2025. O setor tem poucas oportunidades para reduzir emissões, então terá que comprar créditos carbono para cobrir o impacto ambiental provocado.

A adoção de medidas que reduzem a emissão do setor aéreo ou que gerem créditos de emissão é uma alternativa para reduzir, ou até mesmo anular, o impacto financeiro de compras de permissão de emissão. As empresas que adotarem tais medidas terão vantagens, visto que a composição de custo pode ter tópicos menos dispendiosos.

De acordo com Scheelhaase et al, 2007 [16] o impacto da compra de permissões adicionais será diferente nos diferentes tipos de companhias aéreas. Empresas *low cost*, de vôos regulares e empresas regionais sentirão os impactos econômicos de forma distinta, de acordo com a sua rede de atuação, estrutura de passageiro, taxa de crescimento e preço de passagem. O mesmo trabalho registra, de acordo com três cenários que foram estabelecidos, que o incremento de custo por passageiro varia de € 0,04 a € 2,97. Vale acrescentar que nesses cenários são desprezadas a distribuição e compra de emissão para empresas cargueiras e demais setores que possam ser incluídos no EU ETS, provocando aumento no valor da emissão. De toda forma, observa-se que o impacto é pequeno para o passageiro.

As companhias aéreas brasileiras podem antecipar-se à regulação brasileira, lançando campanhas de redução de emissões ou até mesmo aproveitando a disponibilidade de oportunidades existentes no Brasil para criar negócios que gerem crédito carbono. Esses créditos carbono podem ser usados como moeda de troca dentro das parcerias que as empresas estão inseridas ou até mesmo como uma fonte alternativa de captação de recurso. Além disso, iniciariam uma adaptação a uma política ambientalmente correta que mais cedo ou mais tarde chegará ao Brasil.

Comparando a adoção de taxações para emissão com a adoção de padrões tecnológicos, observa-se que aquela atua no sentido de corrigir problemas, enquanto esta vai em direção a profilaxia, que do ponto de vista da Engenharia Ambiental é vantajosa. Entretanto, se devem comparar os impactos econômicos de ambas as medidas.

Ressalta-se que é salutar às companhias aéreas brasileiras, sobretudo as que têm pretensão de atuação internacional, que adotem medidas de redução de emissão e geração de crédito carbono, aproveitando a oportunidade de ajustes sem grandes pressões.

8. Sugestões para a continuidade da pesquisa (próximos passos)

Como continuidade a esse trabalho, sugere-se que próximos trabalhos analisem como a internalização das emissões aeronáuticas, tanto de dióxido de carbono como dos demais gases estufas provenientes da aviação, interferem na demanda do transporte aéreo. Para tal, pode-se analisar a elasticidade demanda-preço do transporte aéreo nos diversos fins para o qual ele se propõe: transporte de passageiro (à negócio e à lazer) e transporte de cargas. A abordagem pode ser feita considerando a adoção de padrões tecnológicos e de taxações. No entanto, deve-se esperar um pouco mais de tempo, a fim de ter mais dados sobre a regulamentação para poder se fazer essa análise.

Outra abordagem que se mostra interessante são projetos de infra-estrutura aeronáutica visando a geração de crédito carbono. Isto pode ser desenvolvido em terminais de passageiros, hangares, instalações de empresas aéreas entre outros. É interessante, nesse desenvolvimento, analisar quanto de crédito carbono pode-se gerar, qual o custo de implantação e quanto seria revertido em lucro não operacional com a venda de possíveis permissões de emissão.

Uma terceira ramificação desse estudo pode ser a adaptação das regulamentações européias à situação brasileira. Entretanto, esse também é um estudo que requer esperar um pouco de tempo para ter uma melhor sinalização de como serão as regulamentações.

Referências Bibliográficas

1. Varian, Hal R. Microeconomia: princípios básicos / Hal R. Varian; tradução da 5.ed. americana Ricardo Inojosa, Maria José Cyhlar Monteiro. – Rio de Janeiro: Campus, 2000
2. Pindyck, Robert S., Rubinfeld, Daniel L. Microeconomia – Quinta Edição; Tradução e revisão técnica: Professor Eleutério Prado. – São Paulo: Prentice Hall, 2002
3. Barros, Carlos Pestana. Aula 6, Economia Pública / Instituto Superior de Economia e Gestão. Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em < <http://pascal.iseg.utl.pt/~cbarros/files/Aula%206.pdf> >. Acessado em 29 out 2008.
4. DICIONÁRIO DE ECONOMIA, **Falhas de Mercado**. Disponível em < <http://www.esfgabinete.com/dicionario/?completo=1&conceito=Falhas%20De%20Mercado> >. Acessado em 29 out 2008.
5. KNOOW.NET, **Ciências Econômicas e Empresariais, Economia, Falha de Mercado**. Disponível em < <http://www.knoow.net/cienceconempr/economia/falhamercado.htm> >. Acessado em 29 out 2008.
6. ENVIRONMENT, **Emission Trading Scheme (EU ETS)**. Disponível em < http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/index_en.htm >. Acessado em 30 out 2008.
7. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **The science of climate change**. – UK: Cambridge University Press, 1995.
8. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Aviation and the Global Atmosphere. Summary for Policymakers**. – UK: 1999.
9. IPPR – Institute for Public Policy Research. **Trading Up: Reforming the European Union’s Emissions Trading Scheme**. – Londres: IPPR, 2006.

10. PCW – PricewaterhouseCoopers. **Ready for take-off? The inclusion of aircraft operator in the EU Emissions Trading Scheme.** – 2007.
11. ECI – Environmental Change Institute. **Predict and decide. Aviation, climate change and UK policy.** – UK: University of Oxford, 2006.
12. Cordina, E. **Aviation and the Environment. A study on Ways to Limit the Environmental Harm Caused by Engine Emissions and an Assessment of Future Environmentally Friendly Aircraft Technologies.** 2002.
13. ARAÚJO, GABRIEL DE SÁ MEIRA DE; OLIVEIRA, ALESSANDRO VINÍCIUS MARQUES DE. Modelagem e mensuração do nível de emissões por etapa de vôo. In: ENCITA – ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO XIV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA, 2008 – **Anais.** São José dos Campos, SP, 2008.
14. Simões, André Felipe. **O Transporte Aéreo no Contexto de Mudanças Climáticas Globais.** – Rio de Janeiro, 2003.
15. BTS, 1998. **An International Comparison of Transportation Statistics – Department of Transportation.** Disponível em <http://www.bts.gov/programs/btsprod/transtu/tsar98>.
16. SCHEELHAASE, Janina. D.; GRIMME, Wolfgang. G. Emissions trading for international aviation – an estimation of the economic impact on selected European airlines. **Journal of Air Transport Management** n. 13, p.253-263, 2007

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA 14 de novembro de 2008	3. REGISTRO N° CTA/ITA/TC-068/2008	4. N° DE PÁGINAS 47
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Panorama da emissão de gases no transporte aéreo			
6. AUTOR(ES): Jônathas Alverne Costa de Albuquerque			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Transporte Aéreo 2. Economia 3. Emissões 4. Emissões aeronáuticas			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Controle da poluição; Transporte aéreo; Poluição por gases; Aeronaves; Dióxido de carbono; Poluição do ar; Engenharia aeronáutica; Engenharia sanitária			
10. APRESENTAÇÃO: <div style="float: right; text-align: right;"> <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional </div> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica. Orientadora: Profa. M.Sc. Rogéria Arantes Gomes Eller. Publicado em 2008.			
11. RESUMO: <p>A temática da restrição de emissões é um assunto novo, que está começando a ser posto em prática, primeiramente com algumas indústrias que os reguladores internacionais julgaram mais relevantes devido à contribuição dessas à quantidade total de emissões. Atualmente já se discute proposta para a inclusão de outras indústrias no <i>European Union Emission Trading Scheme</i> – EU ETS (Esquema de Troca de Emissões da União Européia, numa tradução livre), o que poderia aumentar a quantidade total de emissões de CO₂ regulada pelo referido esquema.</p> <p>Uma dessas atividades em voga para entrar na regulação da EU ETS é a indústria da aviação. Por ser uma indústria na qual não se tem dados precisos das emissões de CO₂ e por não se saber ao certo quanto os outros gases emitidos pela aviação, sobretudo em cruzeiro, contribuem para o aquecimento global, ainda há muita discussão em torno desse assunto.</p> <p>O presente trabalho visa justificar a importância da inclusão da indústria da aviação no sistema de regulação do EU ETS, mostrando como a contribuição da aviação é relevante na temática do aquecimento global. Em seguida, ensaiam-se alternativas de proposição para redução de emissões provenientes dessa atividade.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> CONFIDENCIAL <input type="checkbox"/> SECRETO			