EBC

Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono

Indústria Aeronáutica

Prof. Dr. Cláudio Ribeiro de Lucinda

Ribeirão Preto

2012

Equipe de Coordenação do Projeto Economia de Baixo Carbono

Coordenação Geral – Rudinei Toneto Junior
Coordenação Geral Adjunta – Marcelo Pinho

Coordenação do Modelo de Equilíbrio Geral: Angelo Costa Gurgel

Coordenação SASTEC – Banco de Dados de Tecnologias: Geciane Silveira Porto e Sérgio Kannebley

Coordenação de Estudos Setoriais
Uso do Solo, Pecuária e grãos - Geraldo Bueno Martha Junior e Elísio Contini
Biocombustíveis – André Luis Squarize Chagas
Siderurgia - Germano Mendes de Paula
Alumínio – Clésio Lourenço Xavier
Cimento – Marcelo Pinho
Petróleo e Petroquímico – Eduardo Luiz Machado
Automobilístico e Aeronáutica – Cláudio Ribeiro de Lucinda

Consultores Temáticos: Energia, Eficiência Energética e Tecnologias Verdes
Paulo Seleghim Junior
Oswaldo Baffa

Auxiliares de Coordenação
Beatriz Selan
Gabriela Eusébio

Este projeto foi realizado com recursos do Fundo de Estruturação de Projetos (FEP) do BNDES. O conteúdo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES. Informações sobre o FEP encontram-se em HTTP://www.bndes.gov.br.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CONTRATO DE COLABORAÇÃO FINANCEIRA NÃO-REEMBOLSÁVEL
N° 11.2.0488.1
FUNDACE – BNDES

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS

SETOR AERONÁUTICO

PROF. DR. CLAUDIO RIBEIRO DE LUCINDA

RIBEIRÃO PRETO
ABRIL 2012

Índice de tabelas

Tabela 1- Perfil de Especialização dos Fornecedores Controlados pela Airbus 11
Tabela 2 - Tecnologias Aerodinâmicas 35
Tabela 3 - PINTEC 2001 - 2008 45
Tabela 4 - Gasto em P&D sobre o valor de produção em 2008 46
Tabela 5 - Mão de obra do setor aeronáutico 46
Tabela 6 - Evolução do setor aeronáutico na PIA 47
Tabela 7 Grupos de pesquisa do setor aeronáutico - 2010 56
Tabela 8 - Emissão de Gases Geradores de Efeito Estufa - Automóveis 68
Tabela 9 - Emissões de Gases Geradores de Efeito Estufa - Aeronaves 68
Tabela 10 - Emissões Gases Geradores de Efeito Estufa - Etapa de Combustão 68
Tabela 11-Taxas de crescimento (%) da produção setorial brasileira em relação ao ano de 2010, cenários selecionados 74

Índice de figuras

Figura 1 - Evolução na Tecnologia de Estruturas 34
Figura 2 - Conjuntos de Propulsão 37
Figura 3 - Caminhos tecnológicos para obter combustíveis alternativos 42
Figura 4 - Emissões de CO_2 44
Figura 5 - Transferência de Tecnologia - Quatro Setores 57
Figura 6 - Transporte da Matéria-Prima 65
Figura 7 - Produção do combustível liquido 66
Figura 8 - Transporte e reabastecimento de veículos 67
Figura 9 - Evolução no número de citações científicas 82
Figura 10 - Crescimento em desempenho e gap em relação à UE 83
Figura 11 - Crescimento no número de artigos e proporção em co-autoria 84
Figura 12 - Exportações de Alta e Média Tecnologia 85

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Pedidos e Entregas - Boeing e Airbus - 1999 a 2011 21
Gráfico 2 - Previsão de Demanda por Aeronaves - 2009 a 2025 22
Gráfico 3 - Previsão de Vendas de Jatos Regionais - 2009 a 2025 22
Gráfico 4 - Entregas de Embraer e Bombardier - 2002 a 2010 23
Gráfico 5 - Emissão de CO2 - do Poço até a Roda (Well to Wheels) 63
Gráfico 6 - Emissões de GHG na etapa de refino dos combustíveis 67

Sumário

1. Produção, consumo e comércio internacional 7
1.1. Aeronaves de Corredor Duplo 8
1.1.1. Boeing 8
1.1.2. Airbus 10
1.2. Jatos Regionais e de Corredor Único 14
1.2.1. Embraer 14
1.2.2. Bombardier 15
1.3. Conjuntos de Propulsão Aeronáutica 16
2. Demanda 18
2.1. Estatísticas do Mercado de Aeronaves 20
3. Fatores Críticos para a Competitividade Internacional 23
3.1. Estratégia Empresarial 24
3.2. Curva de Aprendizado e Economias de Escala 26
3.3. Relacionamentos com Fornecedores e Consumidores 27
3.4. Homogeneidade de Frota 28
3.5. Inovação de Produto e Avanço Tecnológico 29
3.6. Vantagens na Captação de Recursos 30
3.7. O Lado da Produção: Produtividade, Custos e Tecnologia de Produção 31
4. Dinâmica Tecnológica 32
4.1. Redução de Peso 33
4.2. Aerodinâmica 34
4.3. Desempenho dos Motores 36
4.4. Metodologias de Integração de Projetos 37
5. Competitividade Internacional da Indústria Integradora de Aeronaves Brasileira 45
5.1. Desafios e soluções tecnológicas 48
5.1.1. Offsets de Tecnologia 51
5.1.2. MPME e Clusters 52
5.1.3. Infraestrutura aeroportuária 53
5.1.4. Compras públicas 53
5.1.5. Desafios em RH de engenharia 53
5.1.6. Cooperação entre os Grupos de Pesquisa e a Embraer 55
5.1.7. Barreiras ao Comércio Internacional 57
6. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas 59

6.1. Efeitos Locais das Emissões 59
6.1.1. Efeitos Globais das Emissões 61
6.1.2. Balanço de Carbono: Transporte Aéreo 62
6.2. Mudanças climáticas e regulação setorial 69
7. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil 73
7.1. Perspectivas tecnológicas e Impactos sobre o Setor 73
7.2. Aspectos Regulatórios e Restrições 77
7.3. Políticas Industriais, Tecnológicas e Ambientais 79
7.4. O Sistema de Inovação Brasileiro 81
8. Arcabouço de Política – Transição para uma Economia de Baixo Carbono 86
9. Bibliografia 90
Apêndice 1: Questionário - Setor Aeronáutico 95
Possíveis medidas de políticas que tem o objetivo de reduzir a emissão de carbono 96
Viabilidade dos combustíveis sintéticos. 96
Viabilidade dos biocombustíveis. 96
Viabilidade dos novos desenhos de turbinas. 96
Instrumento de Pesquisa 97
Apêndice 2: O Sistema de Inovação Norte-Americano 100

1. Produção, consumo e comércio internacional

Neste relatório, detalharemos a estrutura de oferta e demanda no setor de produção de aeronaves, de forma a melhor subsidiar quais seriam os próximos desenvolvimentos do ponto de vista tecnológico e suas possíveis consequências. Em termos de segmentação de mercado, o setor de produção de aeronaves pode ser classificado de diferentes formas, entre aviação civil versus militar, aeronaves de asa fixa versus asa rotativa (helicópteros). Para os fins do presente relatório, iremos apenas considerar o setor de aeronaves civis para transporte de passageiros e cargas. A razão desta escolha reside no fato que, mesmo no mais importante mercado para a aviação – os Estados Unidos – a produção de aeronaves civis é maior do que a de aviões militares (PLATZER, 2009).

Inicialmente vamos detalhar a estrutura da oferta, para a seguir abordar a demanda. Tanto do ponto de vista da oferta quanto do da demanda, este mercado é caracterizado por diferentes segmentos, ainda que a definição das mesmas seja bastante fluida. Por exemplo, na sua previsão de mercado (de acordo com HARRISON, 2011), a Boeing define os aviões em três categorias – de corredor único, de corredor duplo e de carga.

Dentro da categoria de aeronaves de corredor único, a Boeing adicionalmente considera duas divisões: Jatos Regionais e *Narrow-Body* (sendo que este estaria em duas sub-categorias adicionais, uma entre 90 e 175 assentos e a outra com mais de 175 assentos).

Já na categoria de aeronaves de corredor duplo, também caracterizados de *wide-body*, a Boeing subdivide em três categorias: pequeno (180-340), médio (260-450) e grande (mais de 400 assentos). O Boeing 747 e o Airbus A380 seriam chamados de *Very Large Aircraft*.

Na discussão de oferta, vamos começar detalhando o mercado para aviões de corredor duplo.

1.1. Aeronaves de Corredor Duplo

No mercado de aeronaves de grande porte, atualmente os dois principais players são a Airbus e a Boeing.

1.1.1. Boeing

Um dos principais motivos para o surgimento de uma indústria forte de estruturas de aviões nos Estados Unidos foi a liderança na inovação em aviação nas primeiras décadas do século XX. No entanto, no começo do século XXI, parte da vantagem competitiva dos Estados Unidos foi perdida por vários motivos, tais como a consolidação do setor, envelhecimento da base instalada de capital, aumento da competição externa e a própria terceirização de parte da produção no exterior por motivos de acesso a mercados e economias de custo.

A indústria de estruturas para aeronaves nos Estados Unidos consiste em 15 principais empresas, listadas a seguir, com as respectivas áreas de especialização em termos de produção:

- Advanced Technical Products, Inc.: Marion Composites Division: *flap track fairings*;
- Aerostructures Corp. (Carlyle Group): seções de cauda e asa;
- BAE Systems North America: conjuntos de asa;
- Boeing Co: fuselagens, caudas e asas;
- Castle Precision Industries: trens de pouso;
- Compass Aerospace Corp. (MacLuan Capital Corp.) superfícies de controle de asa;
- Composite Structures: *flaps*;
- Ducommun Inc: *leading edge assemblies*;
- Goodrich Corp: trens de pouso;
- Hexcel Corp: *wing-to-body*, *flap track fairings*, *leading* e *trailing edge panels*, *wing skins*;
- Hitchcock Industries: *leading edge flaps*;
- LMI Aerospace, Inc: *leading edges*, *slats*, *flaps* e *fuselage skins*;

- Stellex Aerostructures, Inc. (Stellex Technologies, Inc.): *frames* e *stringers* para fuselagens;
- Triumph Group, Inc.: componentes de asas e *wing skins*;
- Vought Aircraft Industries,Inc. (Desde 2010 parte do Triumph Group): seções da fuselagem e da cauda (inclusive estabilizadores horizontais), seções de asa central, *wing spoilers* e *trailing edge flap*.

O comércio internacional norte-americano em estruturas de aeronaves envolve tanto exportações diretas de estruturas completas para a Airbus quanto importações de estruturas de produtores europeus para a Boeing. Estas estruturas constituem, de todo modo, uma proporção pequena do comércio internacional norte-americano em aeronaves e peças. A maior parte das exportações de aviões e peças dos Estados Unidos consiste de aviões completos. Os principais parceiros comerciais são os países da Ásia, como o Japão, a Coréia do Sul e a China, além da Austrália. Uma das razões para as importações é a colocação de pedidos para a produção de partes de aviões no exterior como parte de acordos para a facilitação de vendas de aviões completos para linhas aéreas dos países compradores.

Independentemente destes acordos, uma parte importante dos fluxos de comércio de partes de aviões refere-se a subcomponentes em vários estágios de produção entre empresas americanas e estrangeiras. Por exemplo, a Boeing tem subcontratado a produção de estrutura para empresas no Japão, China, Coréia do Sul, Itália e Taiwan. Além disso, as subsidiárias da Boeing se engajam em grandes movimentos de comércio.

Do ponto de vista da mão de obra, a indústria norte-americana de aeronaves se beneficiou bastante de uma força de trabalho altamente qualificada e experiente, ainda que a renovação deste estoque esteja encontrando dificuldades. A maior parte dos empregos na área demanda um alto grau de qualificação, que é fornecido pelas empresas por meio de programas de aprendizado e treinamento no emprego, muitas vezes apoiados pelas universidades dos locais onde estão localizadas as fábricas.

Em termos de tendências recentes, na última década temos visto que a consolidação e a racionalização da indústria norte-americana de estruturas e aeronaves têm sido impelidas pelos esforços dos produtores de aviões de dois corredores de reduzir os custos de produção – que ocorrem em resposta aos

desejos das companhias aéreas de menores preços e custos de operação (*Low Cost Airlines*) de competir mais fortemente entre si. Neste sentido, as companhias norte-americanas estão buscando reduzir o número de fornecedores a um grupo de empresas mais fortes, capazes e maiores. Além disso, as empresas norte-americanas de estruturas estão se engajando cada vez mais em contratos de longo prazo e aquisições de empresas, de forma a estabelecer relações mais próximas com seus fornecedores.

Neste sentido, as companhias integradoras de estruturas para aviões *wide-body* estão repassando mais responsabilidades de design, produção e gestão de cadeia de suprimentos para os fornecedores, enquanto retêm para si as competências de design da aeronave completa, integração de sistemas e vendas para as companhias aéreas. Além disso, a Boeing também está fazendo com que os seus fornecedores compartilhem maior parte do risco envolvido com o desenvolvimento de novos aviões de dois corredores.

Com isso, além da consolidação vertical, os fornecedores também estão buscando estratégias de integração entre si, formando competências críticas e capacidade financeira, além de buscar novos mercados, seja fora do segmento de aeronaves *wide-body*, seja fora do setor aeronáutico[1].

1.1.2. Airbus

A Airbus é a única produtora de aeronaves de duplo corredor na Europa e um dos dois produtores mundiais de tal produto. Neste sentido, a empresa tem um papel muito importante na estruturação da indústria europeia de estruturas. Em 1970, sua criação foi a base de uma estratégia europeia de produção de aeronaves, composta pela criação de quatro empresas especializadas, que serviriam de fornecedores para o consórcio Airbus. No começo do presente século, a reorganização da Airbus e a criação da EADS[2] aumentaram a eficiência e a competitividade da cadeia produtiva

---

[1] Um exemplo interessante deste tipo de estratégia – ainda que não muito recente – foi o contrato da Thayer Aerospace para gerenciar um conjunto de 20 fornecedores menores para o fornecimento de peças para a nova geração do Boeing 737. Cf. USITC "Competitive Assessment of the U. S. Large Civil Aircraft Aerostructures Industry".

[2] As principais empresas francesas, alemãs e espanholas na indústria aeroespacial foram consolidadas na EADS. Como estas parceiras também tinham participações grandes na Airbus, a EADS acabou por controlar 80% do capital social da Airbus.

do setor. A indústria europeia produz o conjunto completo de estruturas aeronáuticas, assim como produtos relacionados para as forças armadas dos países, além de jatos regionais e executivos.

Diferentemente da indústria norte-americana discutida anteriormente, a indústria europeia de estruturas aeronáuticas sempre se caracterizou por relações corporativas complexas e um grau muito maior de envolvimento governamental. Outra característica que diferencia a indústria europeia da sua contraparte americana é a predominância da Airbus e de suas subsidiárias dentro do setor produtivo.

Com relação à cadeia produtiva, após a reorganização da Airbus que a colocou sob o controle da EADS, as unidades produtoras de estruturas aéreas também foram consolidadas em uma subsidiária direta da Airbus, controlada integralmente por esta última. O quadro a seguir lista as plantas da subsidiária da Airbus na Europa.

Tabela 1- Perfil de Especialização dos Fornecedores Controlados pela Airbus

Subsidiária	Componente
BAE Systems	Completed wings, wing skins, flap track fairings, leading and trailing edges, spoilers/speed brakes, barrel sections
Aèrospatiale Matra	Barrel sections, body panels, frames and stringers, cockpit structures, wing-to-body fairings, ailerons, keel beams
Daimler Chrysler Aerospace	Barrel sections, body panels, frames and stringers, keel beams, tail planes, fins, rudders, flaps, completed wings, spoilers/speed brakes
CASA	Body panels, frames and stringers, tail planes, elevators/horizontal stabilizers

Fonte: USITC “Competitive Assessment of the U. S. Large Civil Aircraft Aerostructures Industry”.

Do ponto de vista de comércio internacional, o comércio bilateral intra-indústria cresceu bastante nos anos 1990 do século passado e também na década passada, ao menos antes da crise econômica de 2008. Note-se, no entanto, a maior integração vertical na cadeia produtiva em relação ao caso norte-americano discutido anteriormente.

A maior integração da cadeia produtiva aeronáutica europeia se acelerou nos anos 1990, em resposta à consolidação da indústria americana. Em 1997, um acordo entre os chefes de governo europeus ordenou que os principais fornecedores da cadeia aeronáutica desenvolvessem um programa de racionalização,

comprometendo-se a implementar as medidas necessárias para facilitar a reestruturação. No entanto, esta medida não foi suficiente para que a iniciativa fosse levada a cabo pelos governos, o que impediu a consolidação do setor antes da criação da EADS.

Em termos de mão de obra, apesar de um mercado de trabalho muito mais regulado do que o norte-americano e de sérias diferenças culturais e linguísticas entre os diferentes países, a indústria europeia de estruturas aeronáuticas se beneficiou amplamente do elevado nível de qualificação técnica da mão de obra europeia.

Antes da crise europeia, inclusive, existiam preocupações sobre a existência de mão de obra qualificada suficiente para manter a alta taxa de crescimento da produção de grandes aeronaves por parte da Airbus e sua rede de subsidiárias. No entanto, atualmente, a elevada taxa de desemprego dos países da Europa Ocidental e a mão de obra relativamente barata e qualificada dos países da Europa Oriental fazem com que esta seja uma preocupação de segunda ordem.

As restrições regulatórias no mercado de trabalho não deixaram, todavia, de afetar as relações trabalhistas no setor. Os produtores europeus de estruturas gerenciavam cuidadosamente os níveis de emprego, com soluções diferentes em cada país. Por exemplo, na Itália são usados contratos de prazo definido de três a cinco anos e na Alemanha os empregados são “emprestados” entre empresas aeroespaciais. No Reino Unido, a intensa utilização de empresas subcontratadas é um meio para aumentar a flexibilidade de mão de obra.

Uma maior automação da produção é outro meio para enfrentar as dificuldades no âmbito do mercado de trabalho. Comparativamente à indústria norte-americana, as instalações europeias de produção de estruturas aeronáuticas são mais modernas, automatizadas e muito intensivas em capital, o que também pode ser explicado pelo desenvolvimento mais recente da indústria. Durante boa parte da década de 1990, a cadeia produtiva da Airbus investiu fortemente em novas tecnologias de produção e técnicas de produção enxuta.

Devido a estes investimentos, o ciclo de produção das companhias europeias se reduziu bastante, assim como as margens de tolerância quanto a variações, o que

permitiu uma melhora na qualidade. Esta ênfase em produção enxuta também foi adotada pela Airbus, que demanda dos seus fornecedores a incorporação destas técnicas, tais como práticas de suprimento *just-in-time,* produção em células, racionalização da produção entre as plantas, controle estatístico dos processos, 5S, seis sigma e Kaizen.

A posição agressiva da Airbus com relação à gestão ótima da cadeia de suprimentos exige que os seus fornecedores, além de adotar as técnicas mencionadas anteriormente, sejam altamente competitivos em termos de contribuição para o programa de produção de aeronaves de duplo corredor. A partir do final da década de 80, a Airbus começou a aplicar o conceito de *ownership cost*, significando que as compras seriam baseadas não apenas no menor preço, mas em todos os aspectos da compra, incluindo qualidade, risco do fornecedor, integração com o restante da cadeia de suprimentos e impacto sobre toda a vida econômica da aeronave. Além disso, a Airbus e as companhias parceiras procuraram aumentar a eficiência, com maior padronização, formas inovadoras de financiamento, redução no tempo de desenvolvimento e compartilhamento de riscos.

Evidentemente, isto colocou em primeiro plano a necessidade de um desenho cuidadoso das condições de contratação dos produtos e serviços entre a Airbus e os subcontratados. Os fornecedores europeus, que primordialmente atendem à Airbus, beneficiam-se da tendência da empresa a construir relacionamentos de longo prazo. Ainda que estes contratos geralmente impliquem um compromisso por parte dos fornecedores de reduzir fortemente os custos e aumentar a eficiência, eles também permitem a realização de investimentos de longo prazo específicos ao relacionamento com a Airbus.

A Airbus considera que a relação com cada fornecedor é única e os termos do contrato devem ser customizados para cada fornecedor. De acordo com a companhia, “termos de contrato que são muito curtos demandam renegociações frequentes, levando a gastos elevados com a mão de obra do setor de compras; contratos de duração muito longa podem levar a perda de controle sobre preços e outras condições”. Justamente por estas razões, os acordos entre a Airbus e os seus fornecedores preveem um certo grau de flexibilidade.

1.2. Jatos Regionais e de Corredor Único

De forma parecida com o mercado de grandes aeronaves discutido anteriormente, o de jatos regionais atualmente é dominado por duas empresas – a canadense Bombardier e a brasileira Embraer, sendo que existem empresas menores no Japão (Mitsubishi), Rússia e China. Vamos discutir as características de cada uma delas.

1.2.1. Embraer

A Embraer, segundo informações do Relatório Anual de 2010 e Informações aos acionistas do ano de 2011, possui instalações produtivas em cinco continentes. As mais importantes no Brasil são as de Gavião Peixoto e São José dos Campos, além da unidade conjunta com a Neiva na cidade de Botucatu. Ainda que seja companhia privada de capital aberto, o governo brasileiro possui, por meio de uma *golden share*, o poder de afetar algumas das decisões da empresa.

Em termos de importância relativa dos segmentos de atuação da empresa, os dados do Informe Trimestral (ITR – submetido à Comissão de Valores Mobiliários Brasileira) para o ano de 2011 indicam que 64% das receitas da empresa vêm da aviação comercial, 19% da aviação executiva e os 17% restantes do segmento de defesa, serviços aos clientes. Já em termos da distribuição geográfica das receitas, a Europa é o mercado mais importante, respondendo por 25% da receita do ano fiscal de 2009, seguida dos Estados Unidos com 20% e depois o Brasil com 17%

No ano de 2011, sem contar a força de trabalho das subsidiárias que não são controladas integralmente pela empresa, a Embraer totalizou 17.265 empregados, dos quais aproximadamente 3% possuem nível educacional equivalente a mestrado ou doutorado, ainda segundo o mesmo ITR.

Assim como as empresas mencionadas anteriormente, a Embraer não tem muita presença fora do setor aeronáutico, ainda que produza aviões civis e militares, além de peças para outros produtores de estruturas aeronáuticas.

A Embraer tem uma abordagem de integração de sistemas para a produção, baseando-se em uma ampla rede internacional de fornecedores para suas peças.

Afirma que mais de 70% dos componentes dos aviões da linha ERJ vem de fornecedores estrangeiros. Desde a década de 1990, a Embraer utiliza o compartilhamento de risco com seus fornecedores para o desenvolvimento de novos aviões. Alguns dos principais fornecedores envolvidos em tais acordos são:

- General Electric (conjuntos de propulsão)
- Honeywell (aviônica embarcada)
- Hamilton Sundstrand (*aircraft tail core*, *auxiliary power unit*, sistemas elétricos e *air management system*)
- C&D Aerospace (interior da aeronave)
- Grimes Aerospace Company (iluminação exterior e interior)

A Embraer depende quase que exclusivamente dos mercados internacionais para as vendas de jatos regionais. Os Estados Unidos são um dos maiores demandantes desse tipo de jato. Nos mercados internacionais, os principais clientes são as companhias aéreas regionais e as que adotam o modelo de negócio *low cost, low fare*[3].

1.2.2. Bombardier

As principais instalações da Bombardier estão localizadas no Canadá, Estados Unidos e Irlanda do Norte. A Bombardier Aerospace empregava mais de 20.000 pessoas em meados da década passada. As instalações fabris são as seguintes:

- Quebec, Canadá (Saint-Laurent, Dorval, Mirabel)
- Ontario, Canadá (Downsview, North Bay)
- Irlanda do Norte (Belfast)
- Kansas, EUA (Wichita)
- Arizona, EUA (Tucson)
- Virgínia Ocidental, EUA (Bridgeport)

[3] Os principais clientes são: Capital Airlines, Air Canada, American Eagle, Atlantic Southeast Airlines, Compass Airlines, Continental Express, ExpressJet, US Airways, Republic Airways, SkyWest, JetBlue Airways, Aeroméxico, Copa Airlines, TACA, Air Minas, America Air, Aerolineas Argentinas, AeroRepública, Azul Linhas Aéreas, SAM (Colômbia), Passaredo, TRIP Linhas Aéreas, Vip (Equador), Hong Kong Airways, Japan Airlines, Saudi Arabian Airlines, Royal Jordanian, Air France, Alitalia, British Midland, British Regional Airlines, Crossair, Finnair, Flybe, KLM Exel, LOT, Lufthansa, Luxair, Portugália Airlines, SWISS e a TAT.

A empresa vem sentindo os efeitos da maior competição por parte da Embraer desde meados da década de 90, tendo dificuldades em manter, os níveis de produção anteriormente alcançados.

Diferentemente dos produtores discutidos anteriormente, a Bombardier possui uma base grande de atividades fora do setor aeronáutico, sendo que a produção de material ferroviário responde por uma parcela equivalente à do setor aeronáutico para o faturamento do grupo. Ainda que a Bombardier seja uma empresa de capital aberto, o controle acionário da empresa ainda está nas mãos da família fundadora.

Em termos da cadeia produtiva, a maior parte do conteúdo dos jatos da Bombardier vem de uma ampla base de fornecedores no Canadá e nos Estados Unidos. O único fornecedor de conjuntos de propulsão da Bombardier, por exemplo, é a GE Aviation. Do ponto de vista de carteira de clientes, o público alvo da empresa é bastante parecido ao da Embraer, incluindo linhas aéreas regionais, *low cost carriers* e companhias tradicionais que buscam realinhar seu modelo de negócios para deixá-lo mais próximo do das *low cost carriers*.

Somente na segunda metade da década passada a Bombardier começou a produzir aviões com capacidade para mais de 100 passageiros, em parte devido à impossibilidade de criar tal aeronave a partir da extensão de plataformas existentes. Parte significativa do custo de desenvolvimento desta aeronave foi assumida pelo governo canadense.

1.3. Conjuntos de Propulsão Aeronáutica

Três grandes companhias dominam a produção de motores aeronáuticos para grandes aeronaves: General Electric Aviation – anteriormante conhecida como GEAE (EUA), a Pratt & Whitney – P&W (EUA) e a Rolls-Royce.

Outros três produtores são *joint-ventures* compostas por uma ou mais de uma das três grandes. A CFM é uma *joint-venture* entre a SNECMA Moteurs (França) e a GEAE, constituindo um dos maiores produtores de conjuntos aeronáuticos. A International Aero Engines é um consórcio entre a P&W, Rolls-Royce, MTU (Alemanha) e a Aero Engines (Japão). Finalmente, a Engine Alliance é uma *joint-*

venture entre a GEAE e a P&W com o objetivo de produzir um conjunto de propulsão para o A380.

Cada uma das três grandes fabricantes produz motores para as duas maiores fabricantes de aeronaves, bem como para os jatos regionais da Bombardier e Embraer, além de fornecer serviços associados de reparo, manutenção e gestão de uso de turbinas. Todas elas fazem parte de corporações bastante diversificadas e as operações com motores aeronáuticos respondem por menos da metade das receitas corporativas globais. Além de produzir conjuntos de propulsão para aeronaves civis e militares, possuem operações e parceiros pelo mundo todo, trabalhando por meio de *joint-ventures* internacionais para a produção.

A primeira das empresas mencionadas no presente relatório, a General Electric Aircraft Engines (GEAE), é uma subsidiária da General Electric, a mais diversificada das corporações que fabricam unidades de conjuntos de propulsão aeronáutica. Dentro deste mercado, a GEAE desfruta de uma posição especialmente confortável no fornecimento de conjuntos de propulsão para jatos regionais, por ser fornecedora exclusiva para a Bombardier além de atender aos dois maiores jatos regionais da Embraer.

As principais instalações da GEAE estão nos Estados Unidos, empregando mais de 20.000 pessoas em vários países. Em termos de venda de turbinas, a GEAE é parte da *joint-venture* mais bem sucedida para a produção de turbinas: a CFM. Esta foi criada em 1974, para fornecer o motor CFM-56 para aviões médios da Boeing e Airbus. Como o motor exclusivo para o Boeing 737, que até o momento é o avião de médio porte mais vendido na história, esta parceria se estendeu a um amplo conjunto de motores da GEAE. Além desta parceria, a GEAE está envolvida em outra *joint-venture*, com a Honda, para produzir um motor para jatos pequenos.

A Pratt & Whitney é uma subsidiária da United Technologies Corporation, respondendo por uma parte importante – mas não majoritária – das receitas do grupo. A P&W produz motores para os grandes aviões da Boeing e Airbus e suas instalações estão localizadas principalmente nos Estados Unidos. Além de muitos empreendimentos na Rússia e China, a P&W também conta com uma subsidiária no Canadá.

O consórcio em que a P&W participa – International Aero Engines (IAE) – foi incorporado na Suíça em 1983 para produzir o motor V2500 usado nos jatos menores (*narrow-body*) da Airbus e da antiga McDonnell Douglas. Ainda que este consórcio tenha vendido menos motores que o CFM, espera-se que no futuro o IAE venda mais motores, por ter maior fornecimento para o modelo A320 da Airbus.

O terceiro grande produtor de motores é a Rolls-Royce do Reino Unido. Aproximadamente metade das receitas corporativas da Rolls-Royce tem origem na produção de motores – a outra metade vem da geração de energia. Assim como a GEAE e a P&W, a RR produz motores para as grandes aeronaves da Boeing e Airbus. Suas principais instalações de produção localizam-se em Derby, Reino Unido.

Em termos de presença internacional, a Rolls-Royce, além da participação no consórcio IAE, possui uma subsidiária nos Estados Unidos (a antiga Allison Engine Company), por meio da qual ela é a única fornecedora para os menores jatos regionais ERJ da Embraer, além de produzir motores para aviões da Cessna, Gulfstream e Raytheon.

2. Demanda

Após discutirmos a oferta de aviões, o passo seguinte é abordar o lado da demanda. Comparativamente a outras indústrias, a base de consumidores de jatos comerciais é bem pequena, consistindo do setor de aeronaves comerciais. Dentro deste setor, existem três tipos de clientes: companhias aéreas, companhias de *leasing* aeronáutico e companhias de transporte aéreo de cargas.

Atualmente existem cerca de 500 companhias aéreas no mundo operando aviões de transporte comercial de passageiros. As 50 maiores operam um terço da frota mundial de aeronaves. O segundo grupo de clientes, companhias de *leasing* aeronáutico, é composto por empresas que compram as aeronaves diretamente dos produtores ou do mercado de aeronaves usadas, alugando-as para as companhias aéreas.

Uma vez que as companhias de *leasing* lidam com a maior parte dos custos de carregamento das aeronaves para as companhias aéreas, o papel delas como fonte de novos pedidos para os produtores é maior em momentos de contração na indústria de transporte aéreo. O terceiro grupo, de transporte aéreo de cargas, vem crescendo fortemente nos últimos anos.

Como, direta ou indiretamente por meio do *leasing*, as companhias aéreas são o grupo mais importante na demanda por aeronaves, a lucratividade nesta indústria é o fator mais importante para determinar as vendas de aviões. Esta lucratividade, por sua vez, é influenciada por vários fatores, como o preço dos combustíveis, o desempenho da economia global e o ambiente político e econômico.

Tais fatores também fazem com que as companhias aéreas sejam importantes na inovação na produção de aeronaves, forçando melhorias na economia de combustível, maiores velocidades e segurança.

Uma característica interessante da demanda por aeronaves é que as exigências das companhias aéreas em termos de funcionalidades do avião e *timing* de entrega (quando elas precisam que o avião esteja disponível) direcionam fortemente o desenvolvimento de novas aeronaves. Por exemplo, o cancelamento por parte da Boeing do projeto Sonic Cruiser em 2001 e o direcionamento das atenções da empresa para o 787 Dreamliner decorreu da preferência das companhias aéreas por redução de custos operacionais em detrimento de um aumento marginal na velocidade.

Em termos de poder de barganha na negociação, usualmente os consumidores – companhias aéreas – possuem um grande poder em relação aos produtores de aeronaves[4]. Para estes últimos, cada venda não pode ser desperdiçada, tanto pela receita esperada de manutenção ao longo da vida útil da aeronave quanto pela receita imediata associada com a venda dos aviões.

Além dos aspectos mencionados anteriormente, uma consideração importante por parte das companhias aéreas no momento do planejamento da demanda reside

[4] Note-se que, apesar do avião ser essencial para o transporte aéreo, não necessariamente a companhia aérea precisa comprar aviões novos, podendo lançar mão de aviões usados ou do leasing de aeronaves.

na composição da frota de aeronaves. Um elemento chave no planejamento da composição da frota é a capacidade dos aeroportos.

A capacidade dos aeroportos está fortemente ligada à capacidade de pista, ou seja, o número de aeronaves que pode ser gerenciado ao longo de um determinado período de tempo. Quantitativamente, a capacidade de um aeroporto é medida pelo número de movimentos de transporte aéreo (pousos e decolagens) e pela capacidade do terminal, calculada pelo número de passageiros. Quando um aeroporto tem suas operações limitadas pela capacidade de pista, o número de passageiros transportados pode ser ampliado por meio do uso de maiores aeronaves, desde que a capacidade de terminal assim o permita.

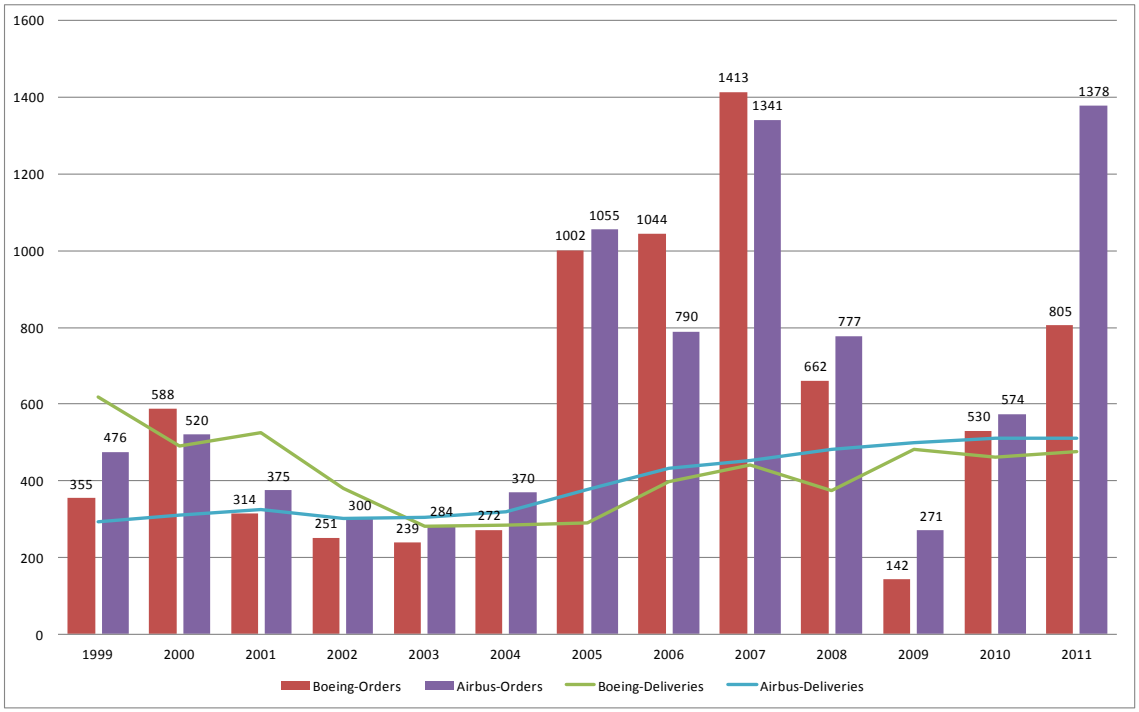
Em diferentes aeroportos, outro aspecto importante para a composição da frota das linhas aéreas é a natureza das rotas servidas pelo aeroporto. Em geral, quanto maior for a distância média das rotas servidas pelo aeroporto, maior será, em média, o tamanho da frota usada neste aeroporto, pois em rotas longas apenas aviões grandes são utilizados. Tais aeroportos também podem experimentar congestionamentos de tráfego em alguns horários do dia, o que também incentiva o uso de aeronaves maiores.

2.1. Estatísticas do Mercado de Aeronaves

Sobre o mercado de aeronaves de corredor duplo, a figura a seguir mostra a retomada em 2011 nos pedidos de aeronaves às duas grandes empresas do setor, após a brutal queda verificada no ano de 2009[5]. No ano de 2011, o total de pedidos passou de 2.000 aeronaves da Boeing e Airbus.

[5] Nesta seção, as principais fontes de dados foram consultas ás páginas da internet da Boeing, Airbus, Embraer e Bombardier, para a atualização de informações disponíveis em Clearwater Corporate Finance LLP "Aerospace Global Report 2011" Disponível em http://www.imap.com/imap/media/resources/Aerospace_8_1FED752787A1E.pdf

Gráfico 1 - Pedidos e Entregas - Boeing e Airbus - 1999 a 2011



Ainda que este aumento no volume de pedidos tenha ocorrido, apenas nos próximos anos deveremos observar um aumento mais forte no número de entregas de aeronaves, dado o natural intervalo de tempo – e incerteza também – entre o momento do pedido e a entrega da aeronave contratada. Além disso, podemos também notar que a recuperação em 2011 foi muito mais forte no caso da Airbus do que no caso da Boeing.

Em termos de previsões de vendas para os próximos anos, é projetada uma demanda de 28.890 aeronaves civis no período entre 2009 e 2025, divididas pelas regiões do mundo de acordo com o Gráfico 2. O que se pode notar é que mais de três quartos das aeronaves demandadas nos próximos 30 anos irão para a América do Norte, Europa e Ásia, sendo o restante dividido entre o resto do mundo. A América Latina, neste caso, responderia por não mais que 7% da demanda de aeronaves. Dentro dessa demanda por aeronaves, no mesmo período espera-se que sejam demandadas 6.875 aeronaves jatos regionais, com a divisão regional expressa no Gráfico 3.

Gráfico 2 - Previsão de Demanda por Aeronaves - 2009 a 2025

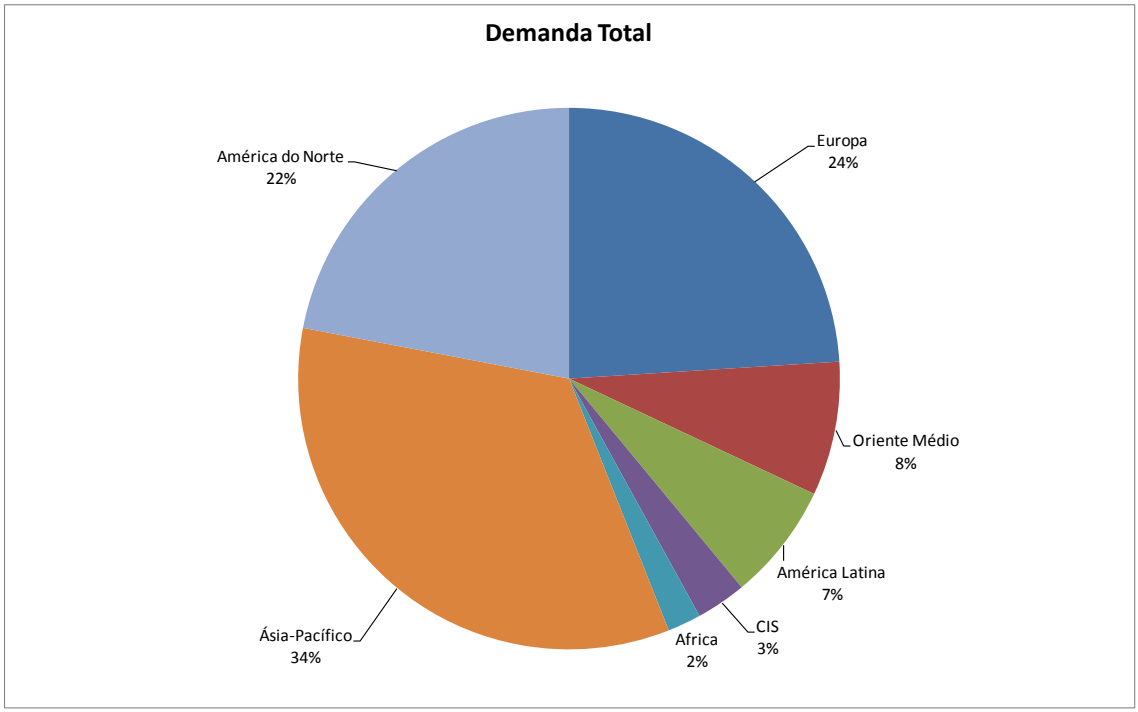
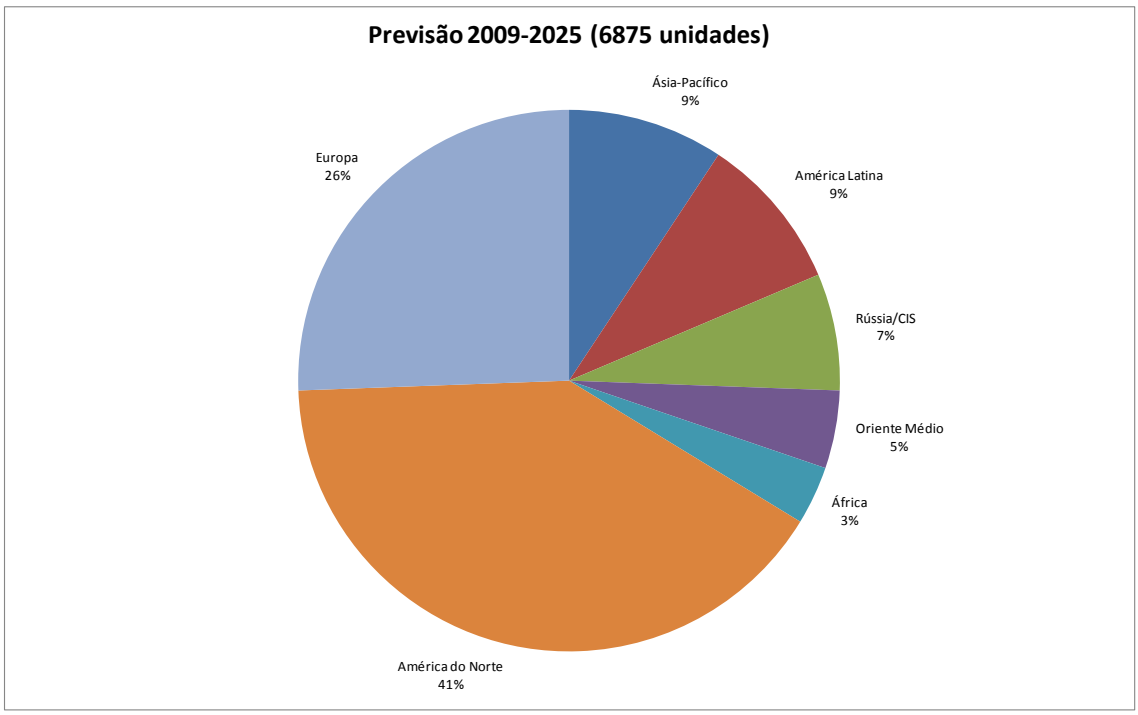


Gráfico 3 - Previsão de Vendas de Jatos Regionais - 2009 a 2025

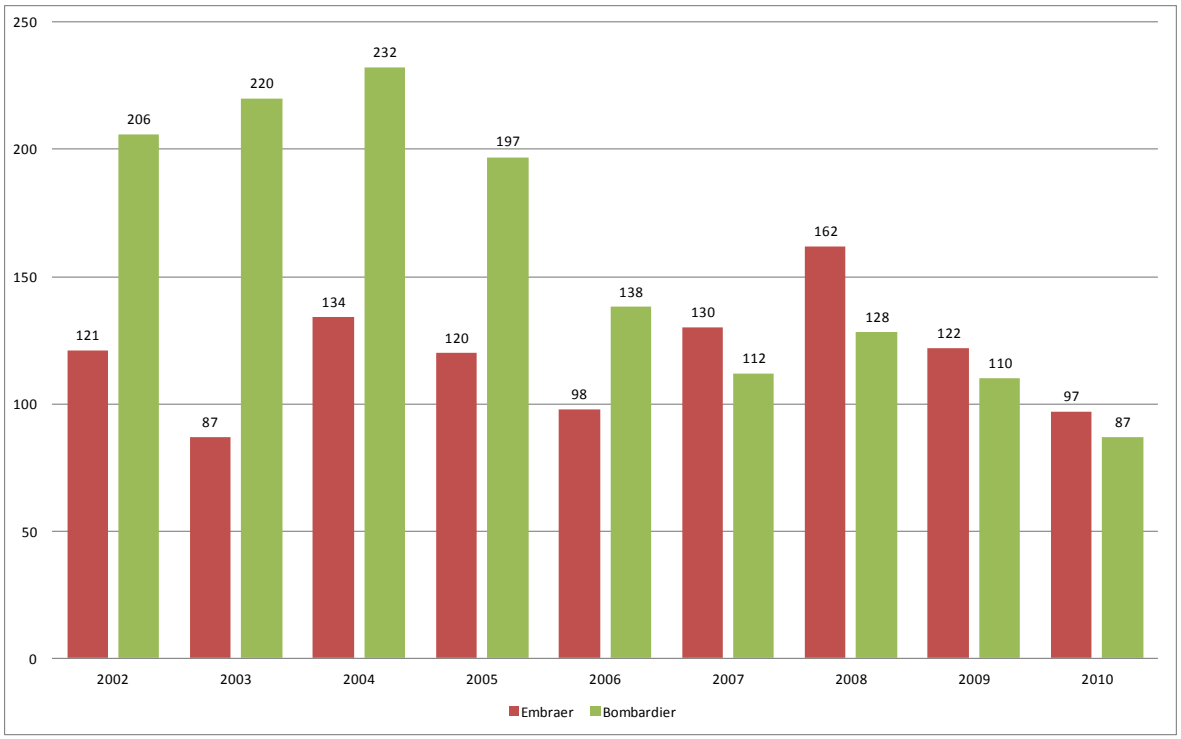


No caso da aviação regional, espera-se bem menor crescimento de vendas nos próximos anos para a Ásia, com mais de dois terços das novas aeronaves se

destinando a Europa e América do Norte. Nesta projeção, a América Latina tem uma participação de 9% no total.

Por fim, o Gráfico 4 retrata o volume de entregas das duas maiores empresas do segmento de jatos regionais – Embraer e Bombardier. Pode-se notar que desde 2007 a Embraer assumiu a dianteira no volume de entregas de aeronaves. Além disso, em 2010 este mercado ainda não tinha se recuperado da crise.

Gráfico 4 - Entregas de Embraer e Bombardier - 2002 a 2010



3. Fatores Críticos para a Competitividade Internacional

Os fatores críticos para a competitividade internacional do setor podem ser classificados naqueles que são internos às empresas, e nos que são externos a elas. Dentre os fatores internos à firma, o principal fator comum a elas é que são controlados em grande medida pelas próprias empresas. Exemplos são os gastos com Pesquisa & Desenvolvimento e a estratégia empresarial.

Por outro lado, os fatores externos à firma são aqueles que a empresa tem reduzida probabilidade de controle, como a política governamental e os fatores macroeconômicos, como taxas de câmbio e preços internacionais dos combustíveis.

No presente texto, iremos focar mais nos fatores internos às empresas, ainda que a ação governamental perpasse alguns dos aspectos aqui discutidos. Do ponto de vista dos produtos, o foco reside especialmente nos jatos comerciais.

3.1. Estratégia Empresarial

Um dos primeiros fatores críticos para a competitividade internacional é a estratégia da empresa. Ainda que todas as empresas tenham objetivos similares – oferecer aeronaves modernas, eficientes em termos de custos operacionais, ter uma base comum nas suas linhas de produtos e um sistema global de manutenção –, as várias formas pelas quais as diferentes empresas encaram estes objetivos determinam diferenças importantes em sua competitividade.

Uma linha segundo a qual as estratégias das empresas do setor diferem marcadamente é nas estratégias de curto prazo, e em quais linhas são privilegiadas em resposta a mudanças efetivas (ou previstas) na demanda de mercado. Esta estratégia de curto prazo é melhor servida quando a empresa possui uma ampla linha de diferentes tamanhos de aeronave.

A oferta da linha mais ampla possível de produtos gera benefícios para as empresas de economias de escala, economias de escopo e efeitos de curva de aprendizado. Além disso, atendendo diferentes nichos de mercado uma empresa com uma ampla linha de produtos pode responder mais rapidamente a mudanças nas condições de demanda.

Dentre as aeronaves civis de corredor único e corredor duplo, podemos definir cinco segmentos de mercado:

- Aeronaves de 100-150 assentos
- Aeronaves de 150-180 assentos
- Aeronaves de 180-250 assentos
- Aeronaves de 250-350 assentos
- Aeronaves de 350-500 assentos

A Boeing compete nos cinco segmentos, a Airbus compete em quatro, e a Embraer e a Bombardier, em apenas um.

Como mencionado anteriormente, os investimentos no setor aeronáutico costumam ser grandes e irreversíveis. Neste sentido, para o lançamento bem-sucedido de um novo avião é necessário que o produtor identifique um segmento de mercado que ainda não é adequadamente servido pelos modelos existentes no mercado – tanto seus quanto dos seus concorrentes.

Além disso, como o mercado potencial para um novo modelo de aeronave costuma ser pequeno, a companhia que atende a esta demanda primeiro costuma ter mais sucesso. Ou seja, as “vantagens do pioneiro” costumam ser grandes neste mercado, e costumam ser ampliadas com estratégias agressivas de precificação no momento de lançamento dos modelos.

Ainda que a fase de projeto de um novo programa de aeronaves possa ser longa, depois da decisão de lançamento de uma aeronave ser tomada é fundamental que a aeronave seja levada ao mercado rapidamente. Portanto, a capacidade de gerenciar de forma eficaz a fase de projeto e a transição do projeto para a produção possui um impacto muito importante sobre a competitividade de uma empresa.

Uma vez que existe um grande risco inerente à produção de aeronaves, os produtores cada vez mais se apoiam em parceiros para o compartilhamento de riscos. Tais parceiros, originalmente escolhidos primordialmente pela complementaridade de competências, passaram a assumir parte do risco do desenvolvimento e produção da aeronave. Geralmente, são fornecedores das próprias empresas, ou mesmo outros produtores de aeronaves.

A própria Airbus pode ser considerada como um consórcio de parceiros no compartilhamento de risco; além disso, os membros do consórcio participam em acordo com os seus fornecedores também. A Boeing, a Bombardier e a Embraer também se engajam em relacionamentos de compartilhamento de risco com fornecedores localizados em diferentes países.

A escolha destes parceiros em programas multinacionais de desenvolvimento pode preencher vazios nas linhas de produto, além de ajudar a manter a dominância em algumas tecnologias. Além disso, os fornecedores estrangeiros podem ter

menores custos de capital e ajudar a atender exigências de conteúdo nacional que alguns governos podem colocar.

Outro benefício do compartilhamento de riscos do ponto de vista da empresa integradora de aeronaves é a possibilidade de diferir seus custos ao longo do tempo. O parceiro subcontratado divide os investimentos em maquinário especializado e desenvolvimento de componentes em um número esperado de aeronaves, compartilhando o risco de não se atingir este número previsto de venda. Apenas se o número de aeronaves vendidas for superior ao previsto, o subcontratado recupera seus investimentos e aufere lucros adicionais. Caso contrário, o subcontratado absorve parte dos custos fixos investidos.

Em termos de custos de entrada, um novo entrante precisa ser capaz de investir quantias que podem chegar à casa dos bilhões de dólares para desenvolver um único programa, sendo que as vendas apenas ocorrerão dali a alguns anos. O desenvolvimento do Boeing 747 custou mais de três vezes a capitalização de mercado da empresa à época.

Tais custos podem ser considerados como irrecuperáveis em grande medida, pois o valor dos ativos subjacentes neste momento é muito menor do que o valor dos investimentos feitos. Isto faz com que as empresas incumbentes neste mercado possuam melhor acesso ao mercado de crédito, além de uma massa de recursos de programas passados bem-sucedidos. Este acesso ao crédito também faz com que a participação de empresas com bons riscos de crédito e acesso aos mercados financeiros nos acordos de fornecimento e compartilhamento de risco seja especialmente importante.

3.2. Curva de Aprendizado e Economias de Escala

Uma presença de longo prazo na indústria pode fornecer importantes vantagens de custo às empresas integradoras. Estas eficiências de custo podem ser derivadas de longos ciclos de produção, que permitem a divisão dos elevados custos de desenvolvimento da aeronave em mais unidades, além de gerar um efeito de curva de aprendizado que faz com que os custos unitários de produção declinem quando a produção aumenta. Segundo Mowery (1987), uma duplicação da produção reduz os custos unitários em até 20%.

Tais fatores fazem com que seja essencial que a empresa faça bom uso das instalações produtivas, uma vez que existem limites para se alcançar economias de escala por meio do investimento em maior capacidade produtiva. Parte importante dos ganhos de escala vem da eficiência maior dos trabalhadores na montagem das aeronaves, reduzindo os custos marginais de produção.

Outra forma de redução de custos é por meio da produção de aeronaves derivadas na mesma plataforma, que permitem que o custo inicial de desenvolvimento seja diluído em mais unidades. Usando componentes, sistemas e instalações de um programa antigo em um novo, os custos de desenvolvimento do novo programa são reduzidos.

Essa experiência cumulativa no desenvolvimento de novas aeronaves também permite maior eficiência no desenvolvimento de novas aeronaves. Todos estes fatores fazem com que um novo entrante dificilmente seja tão competitivo quanto o produto de uma empresa instalada, pois este último reflete os efeitos de curva de aprendizado e economias de escala.

3.3. Relacionamentos com Fornecedores e Consumidores

Outra vantagem dos produtores estabelecidos reside em seus relacionamentos estabelecidos com os fornecedores e consumidores. No caso dos relacionamentos com os fornecedores, as economias de escala podem acontecer devido à divisão dos custos fixos do relacionamento com os fornecedores (custos de elaboração e *compliance* dos contratos, por exemplo) em um número maior de aeronaves.

As companhias estabelecidas também auferem vantagens com o relacionamento com os consumidores, as companhias aéreas. Uma vez que os serviços de manutenção são parte importante da decisão de compra, e seus custos são constantes ao longo de grandes níveis de produção, ou seja, a quantidade de aeronaves precisa ser muito maior para demandar aumentos nos investimentos em serviços de manutenção, os custos unitários de manutenção declinam fortemente à medida que a participação de mercado da empresa aumenta. Portanto, se uma empresa montadora de aeronaves já possui uma relação boa com uma companhia aérea em termos de suporte técnico, uma entrante enfrentaria grandes dificuldades em desalojar esta empresa.

A isso também se soma o fato de as companhias aéreas levarem em consideração a possibilidade de a empresa fornecedora de aeronaves deixar de operar no futuro, ampliando assim a preferência pelas relações já estabelecidas. As companhias aéreas também consideram que relações de longo prazo com as empresas montadoras de aeronaves permitem que elas tenham maior familiaridade com o processo de contratação de aeronaves.

3.4. Homogeneidade de Frota

Um dos fatores mais importantes para a competição neste mercado tem a ver com a homogeneidade da frota – o desejo das companhias aéreas de possuir uma frota o mais homogênea possível em termos de fornecedores de aeronaves.

A Airbus afirma que as sinergias entre as linhas A380, A340 e a A320 permitem economias entre US$ 800 mil e US$ 1 milhão por aeronave adicional para a companhia aérea. Também se estima que, para uma companhia aérea aceitar aeronaves diferentes do restante da frota, o preço deve ser aproximadamente 10% menor do que o competidor.

A razão para esta preferência é que homogeneidade da frota oferece várias vantagens para companhias aéreas. A primeira dela é que gera economias com treino de equipe de voo. Em uma mesma linha de aeronaves, quanto mais parecida uma nova aeronave for às que um piloto já está certificado a voar, menor é o treinamento adicional necessário.

As companhias aéreas também se beneficiam da homogeneidade maior das aeronaves por meio de um menor tempo para a rotação das equipes de voo em solo. Sendo todas as equipes certificadas em uma mesma aeronave, menos tempo de espera em solo é necessário para que seja encontrada uma equipe certificada para operar esta aeronave. Economias associadas com a gestão de estoques de peças de reposição também são elevadas, uma vez que um mesmo estoque de peças pode ser usado para atender mais aeronaves – e os custos de treinamento de equipes de manutenção também são menores. Note-se aqui a diferença em relação ao item anterior, em que se menciona os custos de manutenção e aqui são mencionados os custos de estoque.

A homogeneidade na linha de produtos também beneficia os produtores, por meio de menores custos de desenvolvimento – com o uso de funcionalidades e partes iguais de outras linhas de produtos, os integradores de aeronaves compartilham os custos de desenvolvimento entre diferentes aeronaves.

Além do mais, o custo de desenvolver um modelo derivado de linhas existentes é bem menor do que o desenvolvimento de linhas completamente novas. O custo de extensão de uma estrutura aérea é bem menor do que o custo original de desenvolvimento desta estrutura. Partes comuns também permitem maior eficiência na montagem da aeronave, tanto em termos do uso de uma mesma linha de produção quanto em termos de técnicas de produção.

A tendência dos integradores em buscar a homogeneidade não se verifica apenas dentro das diferentes versões de uma aeronave, mas também entre linhas de produtos distintas. Isto aumenta o incentivo aos clientes, as companhias aéreas, para escolher produtos de outra linha do mesmo produtor. Por exemplo, a Airbus baseou sua estratégia de projeto, produção e de marketing na homogeneidade entre as suas famílias de aeronaves. Todas as aeronaves Airbus, exceto os A 320 e A321, compartilham a mesma seção transversal. A A320, A321, A330 e A340 possuem as mesmas características em termos de manobrabilidade, cockpits quase iguais e sistemas operacionais similares. Os dois últimos possuem a mesma asa. A Boeing baseou três versões da família 737 (300, 400 e 500) em uma mesma seção transversal e compartilha entre essas versões motores, sistemas e muitas peças.

O principal inconveniente da homogeneidade é que força os produtores a avaliar de forma contínua as opções entre manter a homogeneidade e introduzir nova tecnologia. Por exemplo, a Bombardier demorou a introduzir uma nova linha de aeronaves para competir com a Embraer devido a limites tecnológicos associados com a linha de produtos existentes à época.

3.5. Inovação de Produto e Avanço Tecnológico

As novas tecnologias são um fator importante nas estratégias de venda, mas se transformam em decisões de compra se reduzirem os custos operacionais de uma forma importante. Estas mudanças nas características dos produtos são impelidas pelo mercado e/ou iniciativas do setor público com respeito a padrões ambientais e

de segurança. Geralmente, as melhoras nas características dos produtos geralmente recaem em três categorias: (1) menores custos operacionais para as linhas aéreas; (2) melhor desempenho ambiental e de segurança e (3) maior apelo ao consumidor, em termos de conforto de viagem, ambiente interior e facilidade de embarque/desembarque.

As companhias aéreas estão cada vez menos dispostas a introduzir novos aviões que não impliquem menores custos por assento/km. Quando projeta uma nova aeronave, o integrador precisa ponderar os custos de incorporar novas tecnologias – elevando assim o custo final da aeronave – com os menores custos operacionais que a companhia aérea vai incorrer. Evidentemente, as inovações tecnológicas também podem criar vantagens do inovador, que podem servir para estabelecer uma posição dominante em um determinado nicho da indústria, alavancando outras linhas de produtos.

Dentre os grandes players no mercado de aeronaves de duplo corredor, as duas grandes empresas do segmento seguiram estratégias diferentes nas décadas de 80 e 90. Como uma nova entrante, a Airbus tinha mais incentivo para oferecer às companhias aéreas um produto bastante diferente dos então disponíveis para conseguir entrar no mercado. Por outro lado, a Boeing buscou aproveitar as economias de escala, oferecendo produtos fortemente derivados das linhas existentes de produtos.

3.6. Vantagens na Captação de Recursos

Os custos de desenvolvimento,de aeronaves são muito elevados:

“Para a família de aeronaves 170/190, da Embraer, por exemplo, os custos de desenvolvimento chegam a US$ 850 milhões. Os projetos da Boeing (7E7, com 250 assentos e primeira entrega prevista para 2008) e Airbus (A380, com 550 assentos ou mais, previsto para 2008), os custos devem superar os US$ 7 bilhões, no primeiro caso, e atingir cerca de US$ 12 bilhões, no segundo. Embora sejam fabricados em volumes relativamente baixos, a complexidade dos produtos é considerada elevada. Um Boeing 747 tem aproximadamente 6 milhões de peças

individuais e a fiação utilizada em jatos comerciais modernos se estende freqüentemente por mais de 100 quilômetros." (Oliveira Lima et al, 2005 pag. 11)

Fica claro que é necessário um enorme volume de capital para permitir a entrada de uma empresa em um setor como a integração de aeronaves. Ou seja, a capacidade de se levantar grandes quantias é um elemento importante na competitividade das empresas, e ela é influenciada pelos compromissos financeiros, *rating* de crédito e a reputação da empresa.

A participação governamental em algumas empresas do consórcio Airbus permitiu que ela tivesse um melhor *rating* de crédito e reduziu o risco percebido de crédito aos olhos dos credores comerciais. Por outro lado, o fato de a Boeing ter uma carteira grande de pedidos no momento em que a Airbus se estabelecia permitia que ela contrabalançasse esta vantagem da Airbus.

Nos últimos anos, a crise econômica global colocou desafios para as empresas do setor, tanto por ter se originado do setor financeiro, quanto por ter se disseminado para outros setores e todos os países desenvolvidos. Logo após o início da crise, em 2009, os primeiros mercados atingidos foram os de jatos executivos e de transporte de carga, seguidos por aeronaves comerciais e finalmente os mercados de defesa. Nos próximos anos, à medida que a consolidação do sistema financeiro avança e a reestruturação de entidades mais fracas acontece, é de se esperar dificuldades no financiamento de aeronaves.

3.7. O Lado da Produção: Produtividade, Custos e Tecnologia de Produção

Os custos de produção possuem um forte impacto na competitividade das empresas do setor. Neste sentido, um elemento chave é a produtividade do trabalho, que pode também ser modificada quanto maior for a homogeneidade da linha de produtos, o que reduz a necessidade de retreinamento da força de trabalho para atender novos produtos.

Outro fator importante é a tecnologia de produção, que oferece uma vantagem clara às empresas que a possuem. Tais vantagens costumam se traduzir em menor tempo de produção, menor número de trabalhadores necessários e menores custos totais de produção. Esta atualmente é uma das principais vantagens da Airbus no

mercado de aeronaves de corredor duplo, decorrente do seu status de entrante recente no setor.

4. Dinâmica Tecnológica

A inovação há muito tempo é uma característica definidora da indústria aeronáutica, levando a avanços técnicos nos campos da ciência e engenharia e a maior competitividade das empresas num mercado dinâmico e em rápida mutação. Para que possamos entender melhor este processo, é melhor entender a sua natureza – para os fins do presente relatório, entenderemos inovação como sendo "algo novo, diferente e melhor"[6]. Ainda que a definição possa, à primeira vista, indicar que a inovação é algo simples, na prática o trabalho de realizar "algo novo, diferente e melhor" é um empreendimento complexo, com muitas alternativas e opções, que dificultam o entendimento do processo para um analista externo ao mesmo.

Em termos de escala, as inovações podem ser classificadas de incrementais a radicais (Davenport, 1993; King e Anderson, 2002). As inovações incrementais são mudanças de escala pequena, baseadas no conhecimento atual. O seu impacto é mínimo e previsível, em contraposição às inovações radicais, que são caracterizadas por mudanças em larga escala. Este tipo de inovação tende a fornecer uma nova forma de compreender um fenômeno e de formular abordagens à solução de problemas. Por definição, inovações radicais são muito raras.

Com relação ao setor aeronáutico, nem sempre é fácil a comparação sem ambiguidade entre diferentes modelos de aeronaves em termos de mais ou menos tecnologicamente avançadas. Isto ocorre porque os avanços em tecnologia e projeto não são realizados isoladamente, mas ao mesmo tempo. Por exemplo, elementos como estruturas, sistemas aeronáuticos, aerodinâmica, integração de sistemas de produção e técnicas manufatureiras interagem entre si de formas específicas a cada modelo, sendo que uma aeronave pode ser mais moderna em alguns destes aspectos e menos em outros.

---

[6] Charles River Associates, 2009.

Independentemente da comparação específica entre aeronaves, existem alguns aspectos chave que tendem a melhorar o desempenho global da aeronave:

- Menor peso básico da aeronave, para aumentar a carga transportável pelo mesmo volume de empuxo e queima de combustível.
- Melhora da aerodinâmica da aeronave, para reduzir o arrasto e aumentar o empuxo resultante.
- Melhora do desempenho específico do motor, para reduzir a queima de combustível por unidade de empuxo efetivo.

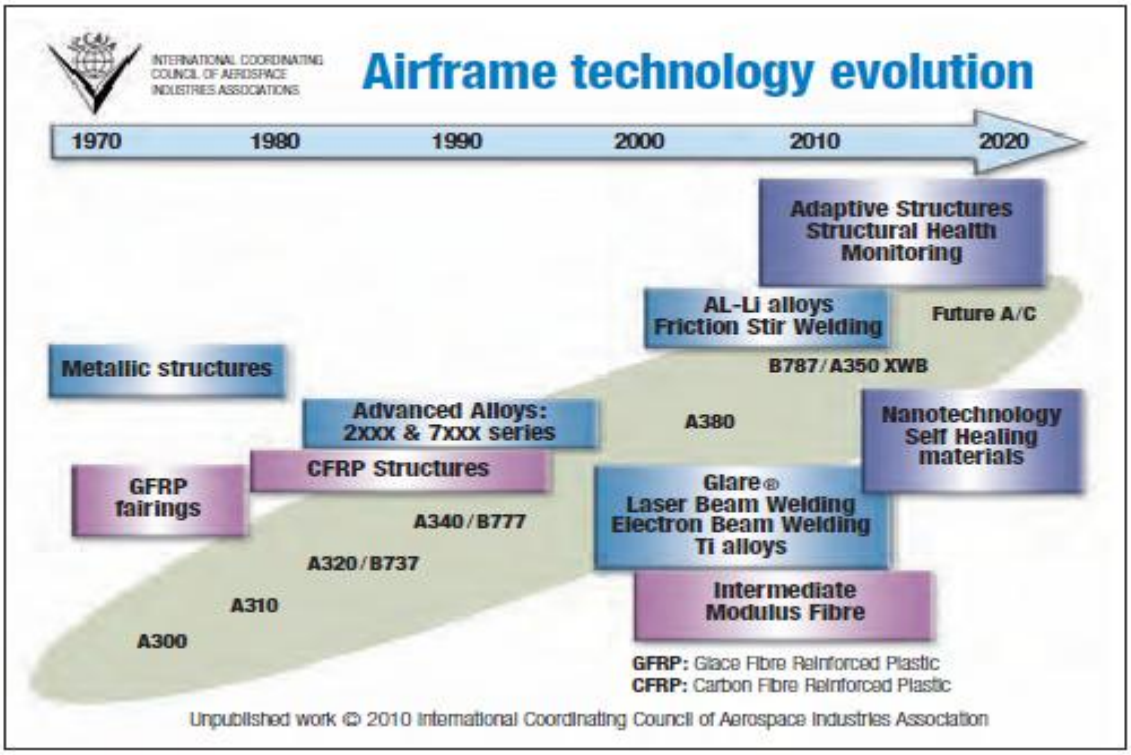
Em cada uma destas dimensões, existem algumas inovações incrementais, que serão discutidas mais adiante, assim com serão apresentados ao longo do relatório dados sobre a intensidade do esforço de P&D das integradoras e dos principais fornecedores e uma discussão sobre os sistemas de inovação em que se sustentam os esforços das empresas.

4.1. Redução de Peso

Em todas as gerações de aeronaves, houve avanços importantes em termos de redução de peso devido à introdução progressiva de novas tecnologias, tais como ligas, materiais compósitos e metais avançados, processos e técnicas de produção mais avançados (incluindo integração e simulação de avaliação global), e novos sistemas como o *fly-by-wire*.

Por exemplo, os aviões projetados nos anos 90 eram baseados em estruturas metálicas, tendo até 12% de materiais compósitos e avançados. Para fins de comparação, o A380, que foi lançado em 2005, incorpora 25% de materiais compósitos leves, gerando uma economia de peso de 8%, comparativamente ao uso dos materiais metálicos em usos similares. Os aviões que entrarão na frota nos próximos anos terão porcentagens ainda maiores em materiais avançados, incluindo asas e partes da fuselagem, aumentando a economia de peso em até 15% para este novo nível de tecnologia. A figura a seguir mostra esta evolução.

Figura 1 - Evolução na Tecnologia de Estruturas



Fonte:ICAO Environment Report 2010

4.2. Aerodinâmica

A fricção e o arrasto com a subida são, de longe, os fatores mais importantes para o arrasto aerodinâmico. Avanços nos materiais, discutidos anteriormente, bem como inovações em estruturas e aerodinâmica atualmente permitem importantes reduções no arrasto com a subida. As estruturas de ponta de asa fornecem um aumento na envergadura aerodinâmica das asas, especialmente quando os comprimentos de asa são limitados pelos tamanhos dos portões dos aeroportos (e/ou hangares).

O arrasto de fricção é uma área que promete ser das mais importantes em termos de melhora potencial na eficiência aerodinâmica ao longo dos próximos 10 a 20 anos. Abordagens possíveis para isto são:

- Redução de fricção local de superfície mantendo o fluxo laminar por meio do NLF (*Natural Laminar Flow*) e HLFC (*Hybrid Laminar Flow Control*), reduzindo assim a fricção de turbulência na superfície (por exemplo, usando *riblets*[7]).

[7] Pequenos sulcos na superfície alinhados ao fluxo de ar.

- Minimização da área de contato direto com o fluxo de ar externo, controlando a separação do fluxo de ar e otimizando as intersecções, junções e a forma da fuselagem.
- Minimização de excrescências (incluindo antenas), otimizando as entradas e saídas do fluxo de ar.

Aplicações potenciais do NLF e do HLFC são as asas, naceles, empenagens e *winglets*. Os benefícios em termos de queima de combustível dependem do volume de fluxo laminar alcançado em comparação com o peso adicional necessário para manter o fluxo laminar.

Para se alcançar um nível ótimo de fluxo laminar são necessárias estruturas, materiais e mecanismos que permitem a produção, manutenção e reparo de superfícies de fluxo laminar. Tecnologias potenciais foram apresentadas pela ICCAIA, no processo ICAO Fuel Burn Technology Review, em maio de 2010. O nível de maturidade tecnológica está expresso pelo TRL (Technology Readiness Level) e sua aplicabilidade para Jatos Regionais (RJ), jatos de corredor único (SA) e corredor duplo (TA) é discutida na figura a seguir.

Tabela 2 - Tecnologias Aerodinâmicas

Tecnologia	TRL	Progresso	Função	Observações
Riblets	Baixa/ Média (4-6)	L/D: 1% a 2%	RJ, SA, TA	Material em desenvolvimento: material do riblet precisa ter mais durabilidade que a apresentada nos testes. Precisa resolver problemas de instalação e manutenção.
Natural Laminar Flow	Média (4-6)	L/D: 5% a 10%	RJ, SA, TA	Qualidade de superfície: design do projeto, integração. Necessário considerar questões de fabricação, operacionais e de manutenção.
Hybrid Laminar Flow Control	Baixa/ Média (3-5)	L/D: 5% a 10+%	SA, TA	Necessário design para sistema simples de sucção. Necessário considerar questões de fabricação, operacionais e de manutenção.
Excrescence Redution	Alta (8)	L/D: 1%	RJ, SA, TA	Trade-off entre benefícios e custo de manutenção e fabricação.
Variable Camber	Média/ Alta (6-8)	L/D: 2%	RJ, SA, TA	Curvatura variável pode afetar arrasto induzido.

Notas: Foram consideradas apenas tecnologias com nível de TRL de no máximo 3; Benefícios não podem ser simplesmente adicionados (pode haver interdependência aerodinâmica). Fonte: ICAO Environment Report 2010

4.3. Desempenho dos Motores

Os produtores de conjuntos de propulsão investem em tecnologia para fornecer potência limpa (em termos de emissões), silenciosa, barata (em termos de custos de propriedade), confiável (reduzidos custos de manutenção) e eficiente. Todos os possíveis *trade-offs* têm de ser levados em consideração na avaliação de um motor e sua integração com uma estrutura. Este é um processo contínuo e investimentos regulares são feitos para se melhorar o desempenho global das aeronaves em produção e em serviço. Por exemplo, vários programas de atualização de conjuntos de propulsão levaram a até 2% de melhora na queima de combustível.

Para apoiar o desenvolvimento e teste de combustíveis alternativos, alguns testes em solo de componentes e motores já foram realizados para se determinar o desempenho dos motores usando diferentes combinações de querosene aeronáutico com outros combustíveis alternativos. Além disso, os produtores de conjuntos de propulsão e de estruturas estão fortemente envolvidos em demonstrações de voos com diferentes combustíveis ao longo dos últimos anos. Este processo levou à certificação de até 50/50 Fischler-Tropsch Blend[8] (ASTM7566 Annex 1 approval).

Em termos de novos produtos, os motores e APU (*auxiliary power units*) para novos projetos de aeronaves tendem a gerar pelo menos 15% de economia de combustível em relação à aeronave que substituem. Tais tecnologias terão impacto positivo em:

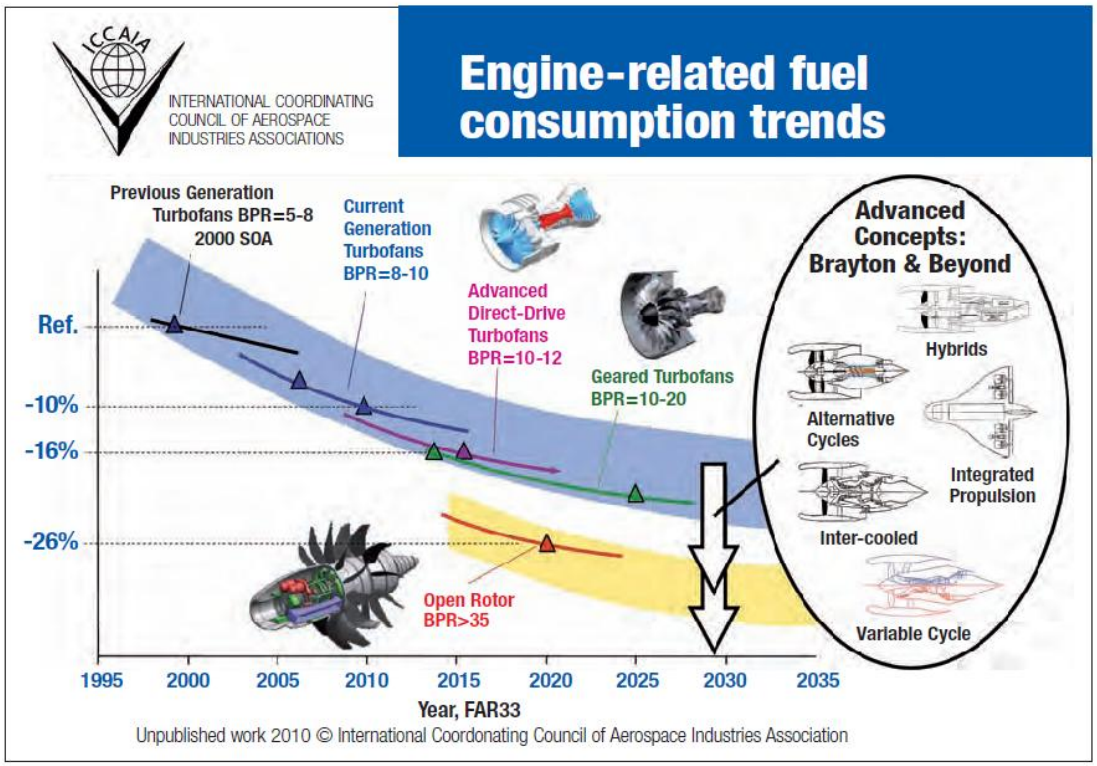
- Eficiência Térmica: Maiores OPR (*operating pressure ratios*) têm por objetivo melhorar a combustão, e se preveem algumas melhoras nos ciclos dos motores. Por outro lado, isto leva a maiores riscos decorrentes de maiores custos de manutenção, peso e arrasto decorrentes de maior complexidade dos motores em um contexto de máxima confiabilidade.

[8] Fischler-Tropsch – tecnologia baseada na transformação de uma mistura de dióxido de carbono e hidrogênio em hidrocarbonetos – e, por conseguinte, querosene aeronáutica. O combustível resultante possui uma baixa quantidade de enxofre, além de não passar por extração de petróleo. Veja detalhes no tópico 4.5.

- Eficiência de Transmissão: por intermédio de novos componentes e arquitetura avançada do motor.
- Eficiência de Propulsão: as arquiteturas do motor estão evoluindo e novos conceitos estão surgindo (*advanced geared turbofans, open rotors, hybrids*), já havendo planos para produtos novos em cada um dos conceitos emergentes.

Para conseguir tais melhoras, grandes investimentos precisam ser feitos em termos de programas de pesquisa. A figura a seguir mostra as tendências no contexto de desenho de conjuntos propulsivos.

Figura 2 - Conjuntos de Propulsão



Fonte: ICAO Environment Report 2010

4.4. Metodologias de Integração de Projetos

Devido às fortes interações e as relações não lineares entre os componentes, o ótimo do ponto de vista de aeronaves não é obtido apenas pela combinação do ótimo em cada um dos componentes individuais. O projeto de um componente específico tem que ser ligado aos benefícios após a integração com o restante da aeronave.

Consequentemente, o desempenho é melhorado com um sistema integrado de projeto, levando em consideração asas, cauda, fuselagem, motor, superfícies de controle e outros componentes. Simulações numéricas de diferentes geometrias complexas necessitam novas metodologias de teste para que o comportamento e o desempenho da aeronave completa possam ser simulados.

Ao longo deste processo, os elementos tecnológicos, de projeto, de eficiência de combustível e emissões são levados em conta. Evidentemente, isto significa que soluções ambientais precisam continuar a ser compatíveis com os outros aspectos do projeto. Qualquer projeto novo precisa equilibrar as possibilidades tecnológicas, viabilidade econômica e benefício ecológico. As exigências ambientais demandam melhoras de desempenho ao longo de três dimensões: redução de emissões de ruído, de carbono e menores impactos ao longo do ciclo de vida da aeronave.

Por exemplo, o aumento do diâmetro da turbina geralmente resulta em uma redução de ruídos. No entanto, como isto implica em maior peso e arrasto, pode levar a um aumento no consumo de combustível.

4.5. Biocombustíveis

Para que possamos entender o papel dos biocombustíveis aeronáuticos como alternativa redutora de emissões de gases de efeito estufa, é necessário entender como eles podem se colocar como alternativas aos combustíveis tradicionais.

Para que um combustível seja amplamente utilizado para propulsão de aeronaves, três tipos de propriedades são necessários. O primeiro tipo é de ordem físico-químico, relacionado com a capacidade de armazenamento de energia no combustível para o uso em altas altitudes. O segundo tipo está relacionado com as exigências de operação em turbinas a jato e o terceiro diz respeito às considerações de segurança.

A capacidade de energia primária armazenada no combustível é restrita tanto pela massa quanto pelo volume do mesmo dentro da aeronave, o que acaba levando a um valor mínimo de energia (42,8MJ/kg de combustível) assim como restrições sobre a densidade do combustível – entre 775 e 840 quilogramas por metro cúbico. Além disso, a operação da aeronave costuma ocorrer em altas altitudes, o que impõe exigências de ponto de congelamento (inferior a -47 graus Celsius) e de viscosidade (menos de 8 milímetros quadrados por segundo a -20

graus Celsius). Esta exigência é necessária para que seja possível o bombeamento do combustível para as câmaras de combustão. Existem também restrições sobre a proporção de compostos aromáticos no combustível, para limitar a formação de resíduos sólidos na combustão.

Em aeronaves, o combustível também é utilizado como fluido de resfriamento e lubrificante, o que coloca exigências adicionais de estabilidade térmica e de propriedades de lubrificação – ou seja, restrições adicionais sobre compostos aromáticos e enxofre na composição do combustível.

Do ponto de vista de operação em turbinas a jato e de segurança, restrições adicionais são colocadas sobre a volatilidade – facilidade com que o combustível sai do estado líquido e vai para o estado gasoso – além de ponto de ignição, condutividade elétrica e compatibilidade com materiais variados.

Todas estas especificações e exigências estão descritas em algumas normas internacionais, sendo as principais a DEF-STAN 91-91 e ASTM D1655, que foram complementadas pela norma ASTM D7566. Esta última normatiza a utilização de SPK (Querosene Sintética Parafínica – *Synthesized Paraffinic Kerosene*), também conhecida como combustíveis baseados no processo Fischer-Tropsch, além de permitir que no futuro os óleos hidroprocessados – HVO e HRJ sejam utilizados. No Brasil, a RBAC 21.191 aplica esta norma internacional.

Estas normas não definem a composição exata do combustível, mas limitam os valores para as suas propriedades, bem como a natureza geral do produto e o seu processo de produção. Antes da utilização deste combustível em operação habitual, o combustível precisa ser submetido a um processo que checa um conjunto de propriedades mais amplo do que o imposto pela norma para demonstrar que não provoca risco ao uso com o equipamento existente. Depois de aprovado para o uso, os lotes para uso normal são checados apenas nas propriedades diretamente mencionadas pela norma.

No âmbito do presente marco regulatório para combustíveis, é importante notar que nenhum dos biocombustíveis atualmente em uso é capaz de, sozinho, atender as exigências colocadas nas normas acima. Mesmo os combustíveis SPK ou HVO ou HRJ precisam de processamento adicional para uso em aeronaves.

Apenas recentemente observou-se a aprovação de uma família de combustíveis baseada em biocombustíveis, ainda que com uma mistura de 50% com combustível tradicional. Esta família é a dos combustíveis SPK, elaborados a partir de carvão, gás ou biomassa. Os óleos hidroprocessados, também chamados de Bio-SPK ainda não foram aprovados, mas já realizaram muitos testes de voo.

Mesmo que já tenhamos clara a possibilidade técnica dos combustíveis alternativos, ainda existe a questão relativa à possibilidade de uso do combustível sem necessidade de re-certificação de aeronaves ou procedimentos de manipulação especiais. E, mesmo que tenhamos os combustíveis alternativos – ainda que em combinação com os combustíveis tradicionais – sendo equivalentes aos tradicionais, existe ainda o problema da escala de produção.

O segundo dos problemas mencionados acima é atualmente uma das maiores restrições impostas aos combustíveis alternativos. Caso um combustível alternativo não tenha esta propriedade – chamada de “drop-in” – seria necessária a construção de infraestrutura paralela em todos os aeroportos. Tais custos são claramente proibitivos, se compararmos com a atual infraestrutura para os combustíveis existentes.

Todos os grandes aeroportos no mundo são atendidos a partir de refinarias a partir de oleodutos, que custam aproximadamente 1 milhão de dólares por quilômetro , e muito mais em terrenos urbanos.

Além destes custos de duplicação de infraestrutura, a rede de postos de avaliação e medida de combustível, construída ao longo de décadas, teria de ser duplicada e novos processos aprendidos. Também seria necessária a segregação dos tanques de combustível e construção de uma nova rede de distribuição interna aos aeroportos para os pontos nas diferentes posições de parada das aeronaves.

Uma vez que as aeronaves não são específicas às várias rotas, sendo alocadas em tempo real de acordo com a maximização dos lucros das companhias aéreas, a rede de distribuição de combustíveis alternativos (que não sejam “drop-in”) teria de ser instalada mundialmente em paralelo e antes do desenvolvimento das aeronaves desenvolvidas para este combustível. Ou seja, para que possamos ter aeronaves que operem em combustíveis alternativos que não sejam “drop-in”, é necessário que um grande número de aeroportos já tenha infraestrutura para o

abastecimento dos combustíveis. Tudo isso indica que dificilmente teremos mais de uma família de combustíveis que não seja “drop-in”.

Aqui é importante que façamos uma distinção entre biocombustíveis aeronáuticos e o etanol para aplicações aeronáuticas. Devido às exigências colocadas anteriormente em termos de características físico-químicas para que um combustível seja aprovado para uso em turbinas aeronáuticas, o etanol não se coloca como uma opção para este segmento de mercado.

No entanto, o uso de etanol hidratado em aplicações aeronáuticas é muito comum para conjuntos propulsivos baseados em pistão. Por exemplo, a Embraer, por meio da sua subsidiária Neiva, fabrica um avião agrícola especificamente preparado e homologado para o uso de etanol. Além disso, a mesma empresa possui uma linha de kits para conversão de aviões agrícolas para o uso de etanol.

O desenvolvimento nesta área no Brasil está sendo capitaneado pela Embraer juntamente com a Magnetti Marelli, aproveitando a expertise desta última com automóveis multicombustíveis. A frota de aviões a pistão de pequeno porte no Brasil é da ordem de 12 mil aeronaves. Para este nicho de mercado, o uso de etanol é uma alternativa importante, reduzindo em mais de 40% o custo por quilômetro voado (NEIVA EMBRAER 2008).

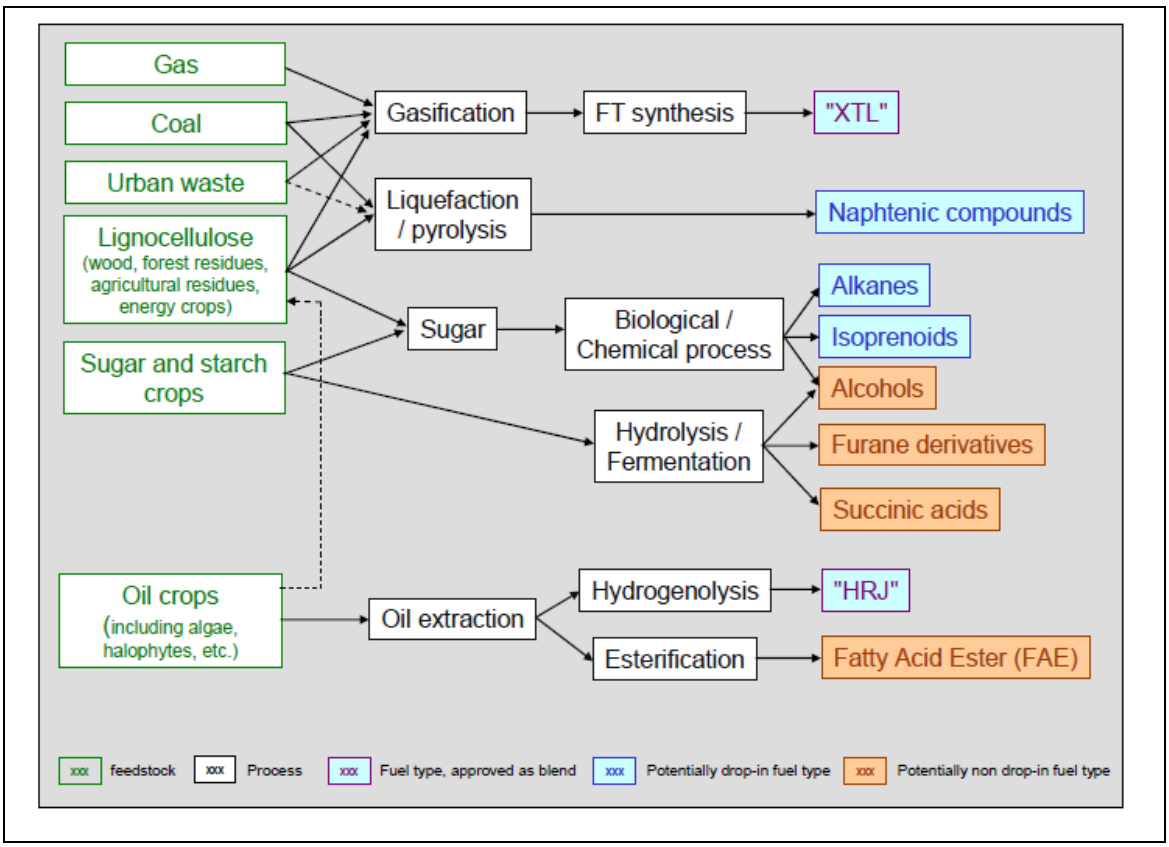
Internacionalmente, desde 1989 existem motores certificados para o uso aeronáutico de etanol, assim como dois modelos de aviões – a modalidade de combustível utilizada neste caso é o etanol anidro com 5% de gasolina (E95). No entanto, as perspectivas para o uso do etanol em aeronaves a turbina são baixas, devido ao seu baixo conteúdo energético.

Com relação ao desenvolvimento de biocombustíveis para a substituição dos combustíveis para turbinas, o Brasil também possui um importante histórico. Em 1977, pesquisadores da Universidade Federal do Ceará, no Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia, propuseram o chamado Prosene, combustível substituto ao querosene de aviação. Tal combustível seria produzido a partir da transesterificação dos óleos vegetais. Já naquela época foram testadas alternativas de matérias-primas, como óleos de soja, babaçu, amendoim, algodão, colza, girassol, dendê, entre outras. Em meados dos anos 80, com a queda dos preços do petróleo, os testes foram descontinuados, ainda que tenham chegado até testes de

bancada em turbinas no CTA. Note-se, todavia, que o uso destes combustíveis alternativos levava a perdas importantes de potência, pois tais combustíveis ainda assim são menos energéticos do que a querosene tradicional.

De qualquer maneira, esta solução tecnológica ainda é bastante próxima do que observamos hoje em dia como sendo a fronteira do conhecimento em combustíveis alternativos com potencial para substituir o querosene de aviação. A figura a seguir mostra os possíveis caminhos tecnológicos pelos quais se chega a combustíveis alternativos, além de indicar quais deles já estão em etapa de análise e certificação para uso.

Figura 3 - Caminhos tecnológicos para obter combustíveis alternativos



Fonte: SWAFEA (2011)

Com relação ao primeiro dos tipos já aprovados, os baseados no processo Fischer-Tropsch, o processo de produção do biocombustível baseado em biomassa começa com a oxidação parcial do material – queima. Esta queima é realizada em gaseificadores de baixa temperatura e pressão, com fluxo de ar.

Este processo de queima gera, além dos compostos desejados, compostos de alcatrão e hidrocarbonetos mais leves, o que faz com que os gases resultantes não

possam ser diretamente utilizados para a produção de combustível. Em maiores temperaturas, e misturado com carvão mineral, estas emissões de subprodutos pouco desejáveis são reduzidas.

O passo seguinte do processo é a remoção das impurezas de enxofre e a eliminação de dióxido de carbono, caso uma unidade para eliminação e captura de carbono for prevista.

As ceras baseadas em hidrocarbonos resultantes deste estágio são enviadas a uma unidade de separação, onde são aquecidas até o ponto de craqueamento catalítico, e misturadas com hidrogênio. O produto resultante já tem características de biocombustível e pode ser misturado com o combustível tradicional.

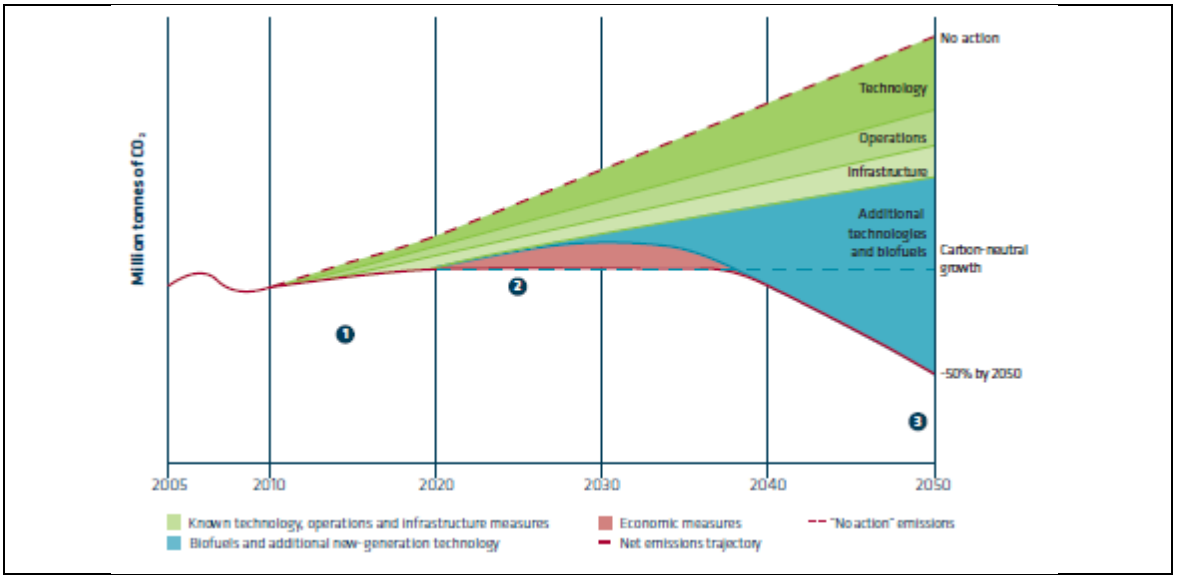
No caso brasileiro, existem pesquisas tecnológicas nas seguintes linhas:

- Gasificação – IPT. Espera-se que o funcionamento de uma planta comercial para a gaseificação de biomassa a partir de 2020. A estratégia do IPT envolve a elaboração de um projeto para a construção de uma planta piloto de gaseificação de biomassa que, a partir de 2017, começará a funcionar no núcleo do IPT em Piracicaba. Espera-se que esta planta possa processar cerca de 400 mil toneladas anuais de bagaço e palha de cana-de açúcar.
- Reações Biológicas/Químicas – Amyris. Esta empresa já trabalha em uma planta piloto em Campinas e uma planta de demonstração. Esta planta de demonstração possui dois fermentadores de 5.000 litros e busca replicar as condições reais de produção.
- Hidrogenólise – Curcas. Esta empresa informou que está prevista para o ano de 2013 a instalação de uma unidade produtora de bioquerosene em Guaratinguetá/SP, junto à unidade industrial da Basf. Em termos de matéria-prima, a empresa está pensando em utilizar o pinhão-manso, do Espírito Santo e de futuras plantações no Oeste e Norte do Paraná.

4.6. Cenários futuros para emissões de CO_2

A figura a seguir mostra os cenários de redução de emissões de CO_2 pelo setor aeronáutico.

Figura 4 - Emissões de CO_2



Fonte:ICAO Environment Report 2010

Segundo o ICAO, o setor tem uma estratégia baseada em quatro pilares para o alcance das metas de redução nas emissões de carbono até 2050. Destas quatro, a primeira, **tecnologia**, é a que tem maior potencial para a redução se transformar em realidade. Boa parte das tecnologias incrementais discutidas acima estão incluídas nesta categoria.

A segunda e terceira categorias, as **melhoras na infraestrutura e operações**, também são medidas com alto potencial de concretização nos próximos anos. A implementação de técnicas mais eficientes de gestão de tráfego aéreo e de infraestrutura aeroportuária pode levar a reduções substanciais. No caso brasileiro, os investimentos em infraestrutura aeroportuária nos próximos anos também levarão a grandes reduções de emissões de gases de efeito estufa.

Como podemos notar na figura acima, as três medidas anteriores não conseguem reverter a tendência para o aumento nas emissões de CO_2 para as próximas décadas, a menos que tenhamos inovações radicais e nos biocombustíveis.

5. Competitividade Internacional da Indústria Integradora de Aeronaves Brasileira

Tendo em vista os temas revisados nas seções anteriores, aqui iremos detalhar as características de competitividade internacional da indústria integradora de aeronaves brasileira. Inicialmente iremos rever algumas informações coletadas por órgãos oficiais para depois fazermos uma discussão sobre os fatores determinantes da competitividade internacional da indústria.

Na tabela abaixo podemos verificar dados da PINTEC (Pesquisa de Inovação Tecnológica) elaborada pelo IBGE.

Tabela 3 - PINTEC 2001 - 2008

Ano	Empresas						
	Total	Que implementaram	Ano Final				
			Receita líquida de vendas (1 000 R$)	Dispêndios realizados pelas empresas inovadoras nas atividades inovativas			
		Inovação de produto e/ou processo		Total		Atividades internas de Pesquisa e Desenvolvimento	
				Número de empresas	Valor (1 000 R$)	Número de empresas	Valor (1 000 R$)
Indústrias de transformação							
2001-2003	82.374	27.621	929.837.696	20.274	23.034.602	4.865	5.070.319
2003-2005	89.205	29.951	1.202.698.981	19.621	33.724.694	5.028	7.035.353
2006-2008	98.420	37.808	1.662.023.211	30.291	43.231.063	4.168	10.634.632
Fabricação de outros equipamentos de transporte							
2001-2003	528	145	16.659.500	122	1.434.524	64	680.686
2003-2005	589	205	24.053.083	176	1.462.843	74	774.171
2006-2008	500	181	32.219.201	100	1.638.868	23	650.998

Fonte: PINTEC

O grupo de "fabricação de outros equipamentos de transportes" é onde está localizado o setor aeronáutico na PINTEC. Porém, esse grupo ainda inclui construção naval e material ferroviário. Analisando a porcentagem dos gastos em P&D[9], observamos também uma trajetória de queda, em 2003, 4,09% da receita liquida com vendas era investido em P&D, essa porcentagem caiu para 2,02% no em 2008. Apesar da queda, o grupo mostrou um desempenho superior em relação à porcentagem de gastos com P&D se comparado com a indústria de

[9] Observe que os valores são referentes ao ano final de cada triênio.

transformação. Todavia, é importante interpretar esses resultados com cuidado, pois pode haver influência dos outros dois setores que estão agregados nessa categoria da PINTEC.

Utilizando dados da Community Inovation Survey[10] (CIS) e calculando a razão entre os gastos com P&D e o valor de produção para o setor aeronáutico, observamos os países possuíam o maior valor de produção em 2008 eram França, Alemanha e Itália[11].

Tabela 4 - Gasto em P&D sobre o valor de produção em 2008

Países	Valor da produção (€1000)	Gasto total em P&D (€1000)	%
França	30,713	2,808	9,1%
Alemanha	18,617	2,048	11,0%
Itália	8,452	943	11,2%

fonte: CIS

Esses países apresentaram um investimento significativo em P&D, com taxas variando de 9% a aproximadamente 11%, esse desempenho pode ser justificado pelo fato das empresas do setor dependerem de constantes inovações para continuarem competitivas. Note-se, todavia, que os dados publicados na PINTEC não são diretamente comparáveis com a CIS, pois o setor aeronáutico está agregado a outros setores.

Os dados da RAIS (Relação Anual de Relação Social) na tabela abaixo apresentam o perfil da mão de obra do setor aeronáutico com relação à fabricação de aeronaves.

Tabela 5 - Mão de obra do setor aeronáutico

Grau de Instrução 2006 – 2010	2010	2006	Grau de Instrução 2005-2000	2005	2000
Analfabeto	2	3	Analfabeto	4	8
Até 5ª Incompleto	7	6	4ª Série Incompleto	28	62
5ª Completo Fundamental	14	35	4ª Série Completo	235	126
6ª a 9ª Fundamental	68	121	8ª Série Incompleto	620	251
Fundamental Completo	159	155	8ª Série Completo	1.071	496
Médio Incompleto	266	384	2º Grau Incompleto	1.061	440
Médio Completo	11.353	10.702	2º Grau Completo	12.255	6.873
Superior Incompleto	577	643	Superior Incompleto	968	720

[10] Os dados da CIS estão disponíveis no site: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database>, acessado em 02/05/2012

[11] O Reino Unido é o segundo país em valor de produção, porém ele esta fora da lista por não ter dados sobre P&D para 2008

Grau de Instrução 2006 – 2010	2010	2006	Grau de Instrução 2005-2000	2005	2000
Superior Completo	6.422	5.578	Superior Completo	5.676	2.860
Mestrado	13	-			
Doutorado	3	-			
Total	18.884	17.627	Total	21.918	11.836

Fonte: RAIS

O setor aeronáutico possui uma mão de obra qualificada a maioria dos trabalhadores possui ensino médio completo (antigo 2º grau), e durante a última década, ocorreu um grande aumento de profissionais com ensino superior completo, passando de 2.860 em 2000 para 6.422 em 2010. Isso denota uma característica do setor que emprega alta tecnologia para produzir seus bens, por isso acaba precisando de empregados muito qualificados.

Os dados da PIA (Pesquisa Industrial Anual) estão na tabela abaixo e mostram o quanto as empresas do setor geram de valor bruto, quanto é o custo operacional e a diferença entre ambos que é o valor da transformação industrial.

Tabela 6 - Evolução do setor aeronáutico na PIA

Código CNAE	Ano	Número de empresas	Valor bruto da produção industrial (1000 R$)	Custos das operações industriais (1000 R$)	Valor da transformação industrial (1000 R$)
Construção, montagem e reparação de aeronaves	1996	21	577.182	272.492	304.690
	2000	17	5.387.788	2.853.609	2.534.179
	2005	39	10.252.149	6.768.851	3.483.298
	2009	25	9.295.890	6.726.219	2.569.671

Fonte: PIA – IBGE

O número de empresas no setor apresentou grande variação ao longo do tempo, porém até 2005 o valor da transformação industrial apresentou crescimento considerável, chegando a R$ 3,4 bilhões. Entre 2005 e 2009 ocorreu uma queda no número de firmas acompanhado de uma redução do valor bruto da produção, como a queda do custo das operações foi pequena, esse fato acarretou uma diminuição do valor da transformação industrial.

Em termos de cadeia produtiva, temos algumas fraquezas, sendo que a cadeia de fornecedores de partes, componentes e serviços de engenharia aeronáutica no Brasil e os integradores de aeronaves (aviões, helicópteros, veículos aéreos não tripulados – VANTS) correm o risco de alijamento do mercado caso não invistam mais em competências – tecnológicas, organizacionais e em Pesquisa e

Desenvolvimento. Na aviação executiva, em que o Brasil é o segundo maior mercado do mundo, a Embraer está desenvolvendo novos produtos.

Para o mercado de aeronaves de transporte comercial, o número de aeronaves de transporte na faixa de 37-120 assentos de fabricação nacional operados domesticamente vem crescendo bastante. Internacionalmente, o mercado na faixa de 60-120 assentos nos próximos 20 anos é expressivo, mas estará sendo disputado por novos entrantes.

Não é uma situação singular para a Embraer, pois ela disputou com outras empresas o mercado regional de aeronaves de 30-34 assentos. Posteriormente, novos entrantes chegaram ao mercado: o Dornier 328 e o Jetstream 41. Os novos entrantes foram capazes de fazer vendas significativas.

Em face do elevado preço do barril de petróleo, da redução do salário dos pilotos de aeronaves de grande porte e das equipes de terra (manutenção), há uma maior atratividade para aeronaves de maior capacidade. Certamente, a nova geração desse tipo de aeronaves deverá sofrer considerável redução do custo direto operacional, relativos ao CRJ-200 da Bombardier e às aeronaves da família 145, conforme discutido na seção referente às alternativas tecnológicas para a indústria. No entanto, especificamente com respeito à indústria brasileira, existem alguns desafios referentes à absorção destas inovações na cadeia produtiva.

5.1. Desafios e soluções tecnológicas

Nesta seção, iremos detalhar mais quais são os desafios e soluções tecnológicas enfrentadas pela cadeia produtiva do setor aeronáutico. Para isto, iremos nos basear fortemente nos relatórios da ABDI (2009) e Montoro e Migon (2009).

Segundo a ABDI, as pesquisas, laboratórios e formação da mão de obra no Centro Tecnológico da Aeronáutica e nas universidades paulistas foram, e continuam sendo, fundamentais para a consolidação do setor aeronáutico no Brasil e a manutenção da sua competitividade no mercado mundial.

Em termos de áreas de pesquisa, segundo Bernardes e Catharino (2011), existem 155 grupos de pesquisa sobre o setor aeronáutico, sendo 121 diretamente relacionados à Engenharia. Pelo lado de tecnologias específicas pesquisadas, as

principais são o Monitoramento e Diagnóstico de Saúde Estrutural e Sistemas Propulsivos.

Contudo, tal complexo de grupos de pesquisa ainda possui enormes carências, o que dificulta o seu poder de competição na vanguarda mundial das tecnologias aeronáuticas. Exemplos importantes estão em Castanho e Migon (2009, p. 176), que mostram que cerca de 60% das empresas do setor desconhecem a existência dos programas governamentais voltados à área tecnológica. Isso é um exemplo do tipo de dificuldades que se enfrentam quando se fala da interação entre o setor público e o setor privado na pesquisa. Ainda segundo estes autores, das empresas que conhecem tais programas os problemas são os seguintes:

- "Os custos para acessar esses programas são muito elevados.
- O tempo de financiamento é curto quando comparado com o estrangeiro.
- Falta de compreensão das agências de fomento em relação às características específicas do setor, levando a uma política pouco aderente às necessidades do segmento aeronáutico. Assim, [...] os programas governamentais brasileiros que tratam da questão tecnológica são muito distantes da realidade dessas empresas.
- Os fornecedores [...] carecem de um programa integrado (de planejamento) no governo federal.
- Falta de mecanismos de apoio às empresas de base tecnológica.
- A ausência de um canal direto entre as empresas e as agências de fomento dificulta a tomada de crédito por parte dessas empresas. Diferentemente dos grandes tomadores, que negociam diretamente com as instituições governamentais de financiamento, as MPMEs fornecedoras [...] não recebem esse tratamento.
- A exigência de que as empresas possuam Certidão Negativa de Débitos (CND) impossibilita a tomada de crédito pelas empresas por junto à Finep e ao BNDES.

  Montoro e Migon (2009, p. 177)."

Portanto, segundo ABDI (2010), a falta de um projeto para as empresas brasileiras ou para as instituições que geram externalidades dinâmicas para o setor aeronáutico, constituem óbices para a manutenção da competitividade futura ou a própria apropriação pela sociedade brasileira da tecnologia gerada pela Embraer.

Recorda-se que, ao contrário dos ambientes dos concorrentes internacionais, o setor aeronáutico no Brasil é pouco nacionalizado e pouco integrado ao sistema industrial e de serviços, mesmo considerando o extenso esforço de internacionalização da cadeia produtiva das empresas estrangeiras discutido anteriormente. Segundo Montoro e Migon (2009, p. 116), falando sobre os parceiros de risco da Embraer:

"A amostra pesquisada permitiu a identificação de descobertas e tendências significativas nas atividades dessas empresas no Brasil. A primeira delas refere-se ao limitado peso econômico e à densidade tecnológica de suas atividades no Brasil, na maior parte dos casos examinados. O indicador mais confiável da nacionalização das atividades dessas empresas no Brasil é o tamanho de sua força de trabalho. Como se observou, com exceção da Eleb, o volume de emprego dos parceiros de risco no Brasil é insignificante, mesmo em casos em que há operações industriais instaladas."

Além disso, a competição entre as linhas aéreas nos mercados nacionais e internacionais implica adoção de estratégias agressivas de preços, reduzindo as margens de lucro e forçando as integradoras a reduzir seus preços. Por sua vez, os equipamentos, os aviônicos e os investimentos em segurança exigem grandes investimentos e tornam caros os preços finais dos aviões, o que força as empresas fabricantes a adotarem políticas agressivas de redução de custo. Com isso, sobram poucos recursos para os gastos internos em PD&I, tornando essencial o fôlego financeiro das empresas, que pode ser aumentado com melhor acesso ao mercado de crédito e/ou com apoio direto governamental.

Como visto nas seções anteriores, cada vez mais a política de PD&I é um elemento chave para a competitividade das empresas do setor. Com isso, a necessidade de inteligência coletiva e PD&I global aumentam em importância.

Um desafio governamental a ser vencido é a efetivação de uma agenda (ou roadmap) para atingir os seus objetivos, como o modelo do Advisory Council for Aeronautical in Europe (ACARE).

A seguir, serão detalhados, de forma preliminar, quais são os desafios que precisam ser vencidos pela indústria em termos de competitividade. Mais adiante, nas seções 7 e 8, serão discutidas mais especificamente quais serão as recomendações de política.

5.1.1. Offsets de Tecnologia

Os gastos globais na área de defesa estão associados a mecanismos de compensação tecnológica. Esses mecanismos de offset injetam PD&I e são um excelente e poderoso mecanismo de indução da indústria aeronáutica.

Segundo a ABDI (2009), a estratégia tecnonacionalista da China é emblemática. Ela combina as expectativas internacionais de crescimento do seu mercado interno de transporte aéreo e as vantagens relacionadas aos baixos custos operacionais em seu território, de modo a atrair investimentos. Com o poder de barganha governamental das suas empresas nacionais aeronáuticas, a China adotou políticas informais de offset para transferência de tecnologia, capacidade produtiva e acesso a mercados globais. De outro lado, conferiu alta prioridade e investiu maciçamente na construção de infraestrutura e capacitação tecnológica em aeronáutica.

De uma forma geral, segundo o Bureau of Industry and Security[12], as políticas de investimento na China são explícitas quanto ao tipo de investimento estrangeiro que é "proibido", "permitido" ou "encorajado", sendo que o foco do último está diretamente sobre as tecnologias avançadas. Os investidores estrangeiros em tais indústrias possuem tratamento preferencial, tais como tratamento tributário preferencial, ainda que estejam sujeitos a regras que não são impostas aos concorrentes domésticos.

Outro exemplo interessante, dado por Pritchard e MacPherson (2004), não envolve diretamente a transferência de tecnologia. Neste caso, o *offset* inicialmente envolvia a produção japonesa de *flaps* para o Boeing 747 nos anos 60. Este foi o ponto de partida para a aquisição de conhecimentos na produção de asas, pois este foi apenas o primeiro de vários acordos similares ao longo dos anos. Finalmente, para a produção da aeronave de nova geração da Boeing, a empresa optou por subcontratar o processo de produção da asa inteira para três companhias japonesas. Tal processo deu ao Japão a capacidade necessária para a construção de estruturas aeronáuticas completas, servindo de base para o surgimento da Mitsubishi como potencial competidora no segmento de aeronaves leves.

---

[12] http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/techtransfer2prc.html

No caso brasileiro, o uso de *Offsets* teve início nos anos 70, com a escolha de aeronaves F-5E dos Estados Unidos, combinado com a transferência de tecnologia para a montagem de estabilizadores verticais por parte da Embraer, que acabaram por levar a aplicações diretas nos produtos nacionais (Xingu e Brasília). Durante os anos 80, esta política ficou adormecida e apenas nos anos 90, com a aquisição de aeronaves MD-11 pela Varig, em que a Embraer novamente foi beneficiada com acordos de produção de 300 conjuntos de flaps para a McDonell-Douglas[13]. Atualmente, o programa de reequipamento da força aérea prevê a aplicação destes mecanismos, cuja forma definitiva depende ainda da escolha do consórcio vencedor.

5.1.2. MPME e Clusters

A experiência internacional demonstra que a organização das indústrias e dos serviços organizados em sistemas produtivos regionais de inovação ou parques tecnológicos especializados em P&D produz inúmeros resultados positivos, como: especialização tecnológica e produtiva; economias de escala; e aprendizado dinâmico, com o aproveitamento de P&D colaborativa e a própria criação de uma marca tecnológica internacional.

Segundo Romero (2010), a ideia de clusters como fontes de aceleração de crescimento das empresas ali instaladas baseia-se em duas partes. A primeira delas é a noção do *cluster* como uma entidade capaz de, por si só, acelerar o desenvolvimento de empresas. A segunda, por sua vez, é a noção de conhecimento como derivado de um processo complexo de aprendizado, o qual demanda-insumos especializados. Neste sentido, a proximidade física das empresas geraria externalidades positivas às empresas envolvidas, gerando os resultados acima.

No segmento aeronáutico, a organização e o funcionamento de MPMEs (micro, pequenas e médias empresas) em sistemas produtivos inovadores, a exemplo do que foi feito em Toulouse (França), Seattle (Estados Unidos) e Montreal (Canadá), mostrou-se um caminho importante para a consolidação dessas indústrias. A história destes mesmos clusters indica que além da geração de externalidades, os clusters devem pensar também os passos seguintes ao crescimento, envolvendo a internacionalização e a inovação.

[13] Fonte: http://www.ifi.cta.br/desenvolvimento-industrial_offset_nocoes-gerais_historico.php

No entanto, as MPMEs nos clusters não ficam completamente independentes das empresas âncora dos mesmos. O que acontece nas economias mais desenvolvidas é que, com a forte presença de setores tecnológicos, há uma diversificação maior dos clientes destas MPMEs. No caso brasileiro, ainda há uma grande dependência da empresa âncora – a Embraer.

5.1.3. Infraestrutura aeroportuária

O crescimento do tráfego aéreo no Brasil está limitado pelos investimentos insuficientes em aeroportos e nos problemas do controle de tráfego aéreo. O transporte aéreo poderia ter no Brasil uma participação muito maior do que apresenta atualmente. Naturalmente, este é um fator limitante para a venda de aeronaves e equipamentos nacionais no mercado interno.

5.1.4. Compras públicas

O perfil dos produtos da principal integradora brasileira não foi acompanhado pela cadeia produtiva nacional, o que impediu que ela crescesse (tanto do ponto de vista estratégico quanto do volume de negócios) a um nível satisfatório de competitividade. O único exemplo de programa de encomendas do setor público que era do interesse da integradora e que buscava incentivar o crescimento da cadeia produtiva foi o Programa AMX, que contemplou o desenvolvimento e o estabelecimento de uma cadeia de fornecedores qualificados no Brasil.

5.1.5. Desafios em RH de engenharia

Os recursos humanos são flexíveis e de qualidade. Os profissionais formados no Brasil conseguem colocação em empresas estrangeiras (Airbus, Bombardier e Boeing, por exemplo). Em termos de quantidade de mão-de-obra, Bernardes e Catharino (2011) em 2005 existiam 24 cursos especializados em Engenharia Aeronáutica, sendo que 20 deles tinham sido criados no século XXI.

Ainda segundo Bernardes e Catharino (2011), iniciativas recentes na área de formação de técnicos para o setor aeronáutico são a criação de um curso em São José dos Campos sobre tecnologia de manufatura de aeronaves, assim como a

criação do centro de Capacitação Aeroespacial de Minas Gerais, para técnicos, pilotos e mecânicos.

Em termos de impacto sobre a atividade de pesquisa do estoque de capital humano especializado em indústria aeronáutica, ele é ainda pequeno. Segundo Bernardes e Catharino (2011), o número de patentes depositadas por residentes no Brasil referentes aos campos de engenharia não alcançava uma centena. O número equivalente no Canadá, apenas para a área de sensoriamento e monitoramento, alcançava uma centena.

Parte importante do enfrentamento destes desafios passa pelo sistema de universidades – públicas e privadas – brasileiras. Especificamente com respeito ao sistema de universidades brasileiras, o papel delas para a formação de recursos depende muito de como encaram o processo de transferência do conhecimento entre a Universidade e a Empresa[14].

Para o caso em que a Universidade se caracteriza como geradora estruturada de pesquisa de ponta, a transmissão de conhecimentos se dá por meio de formação de pessoal especializado e consultorias no desenvolvimento de tecnologia. Tais geradores estruturados de pesquisa de ponta transmitem esta tecnologia também por meio de *spin offs*, empresas originárias de pesquisas universitárias.

No caso em que temos a Universidade tendo a pesquisa não sistematizada, utilizando em grande medida o conhecimento gerado externamente nos centros de pesquisa de ponta, a transmissão de conhecimentos vai se dar também pela formação de recursos humanos e por meio de consultorias caracterizadas pela recombinação de soluções tecnológicas já existentes.

Como já visto na seção 5.1, do ponto de vista de geração de Recursos Humanos, existe uma quantidade adequada. No entanto, ainda existem desafios neste sentido, como por exemplo:

1. Mudança na estrutura de ensino superior no Brasil, muito concentrada em ciências humanas e pouco voltada para a engenharia e ciências exatas.

[14] Estamos aqui seguindo Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (2008).

2. Mudança nos currículos das escolas de engenharia[15], tornando-os mais próximos dos desafios dos próximos anos.
3. Fortalecimento dos programas de pós-graduação, saindo do paradigma de formação de docentes do ensino superior.

5.1.6. Cooperação entre os Grupos de Pesquisa e a Embraer

Um exemplo clássico de integração entre pesquisadores e empresa, diretamente relacionada com o setor aeronáutico e aeroespacial, é o cluster da Embraer. [16]

A criação do cluster de aeronaves da Embraer é em grande medida o resultado dos esforços governamentais na criação de uma infraestrutura científica e governamental com o objetivo de fornecer as competências necessárias para a indústria aeronáutica. O Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) e o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) são as principais instituições na área. O CTA, que é parte do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento do Ministério da Aeronáutica, consiste em quatro institutos: o ITA, o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), o Instituto de Estudos Avançados (IEA) e o Instituto de Fomento e Ligações Industriais, além de outros órgãos.

O CTA atualmente emprega mais de 4.000 pesquisadores em trabalhos de desenvolvimento para os sistemas de defesa, aeronáutica e defesa, em áreas de materiais avançados, física, química, eletrônica e ciência da computação.

Simulações computacionais, um túnel de vento e testes em solo e em vôo complementam a pesquisa básica. No sentido de enfatizar as ligações da pesquisa com a indústria, o CTA adquiriu competências em metrologia, qualidade, padronização, confiabilidade e gestão de P&D. Além disso, oferece cursos de graduação e pós-graduação, sendo que o INPE possui programas de pesquisa em satélites e subsistemas, incluindo testes e integração de controles.

A Embraer conta ainda com o Laboratório de Estruturas Leves, que está sendo construído para ser uma das âncoras do Parque Tecnológico de São José dos Campos. Este centro esta desenvolvendo uma fibra de carbono com resistência

---

[15] Um exemplo de discussão interessante sobre o assunto pode ser encontrado em http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CG0QFjAC&url=http%3A%2F%2Fmilproj.dc.umich.edu%2Fpublications%2Fengin_150th_address%2Fdownload%2FUM%2520Eng%2520Future.ppt&ei=JtejT9KRGIyc8gTgpOi2CQ&usg=AFQjCNHguJ4vqgLWmjDdJqsztVXNa96h0w

[16] O material aqui apresentado é originário de Cassiolato, Bernardes e Lastres (2002).

equivalente a de metal e ferro para ser produzida em escala comercial. A ideia é atrair outros setores para desenvolverem projetos no laboratório, como por exemplo, o setor automotivo, setor automotivo, petrolífero e energético.

A tabela abaixo mostra os grupos de pesquisas em tecnologias de baixo carbono ligados ao setor aeronáutico, esse levantamento foi feito no diretório dos grupos de pesquisa do CNPq (DGP) e no Censo 2010 do DGP.

Tabela 7 Grupos de pesquisa do setor aeronáutico - 2010

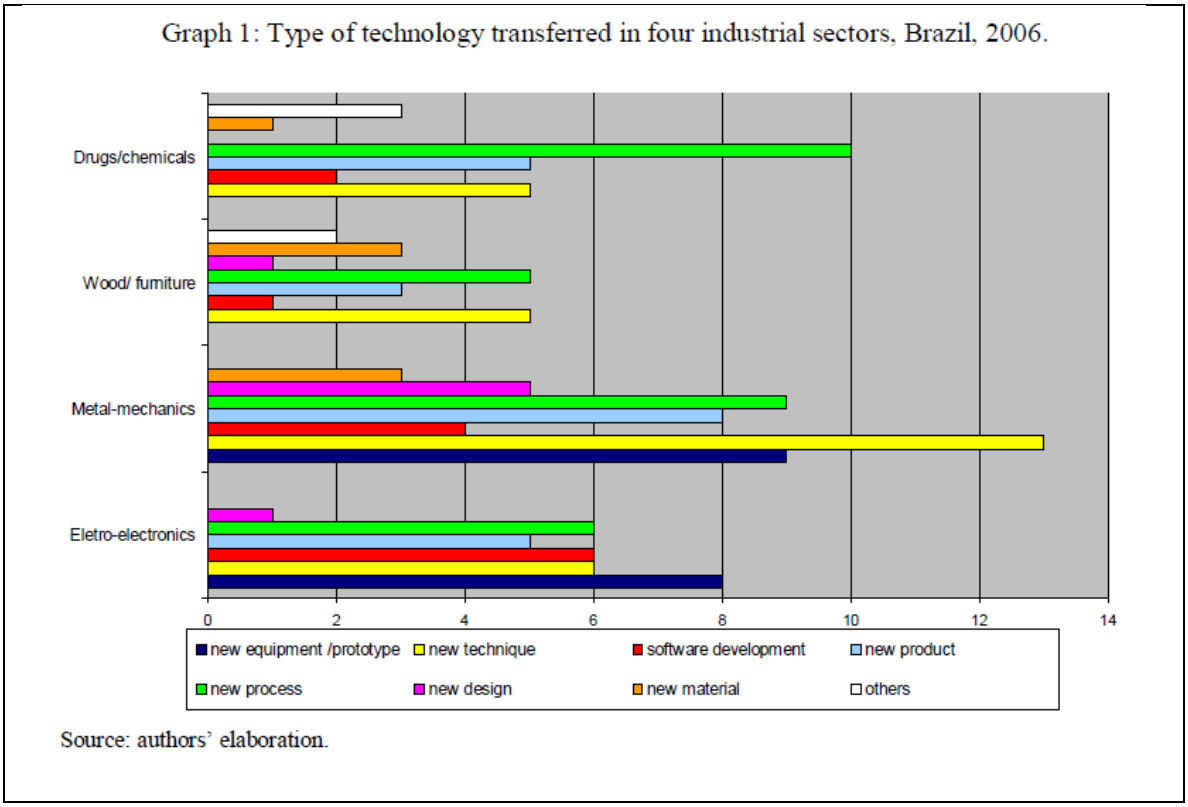
Área	Pesquisadores	Técnicos	Produção acadêmica	Produto tecnológico (2007-2010)	Desenvolvimento de software
Ciência da Computação	10	0	213	8	3
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11	0	290	5	0
Engenharia Elétrica	12	3	561	4	0
Engenharia Mecânica	49	2	2783	10	21
Engenharia Química	11	1	561	4	0
Física	42	6	2491	16	5
Química	73	6	4133	34	2
Total geral	208	18	11032	81	31

fonte: Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq

As áreas de Química e Engenharia mecânica são as que possuem número de pesquisadores e juntamente com a Física são responsáveis por 85% da produção acadêmica no setor aeronáutico. Todas as áreas que estão na tabela acima desenvolveram produtos tecnológicos, contribuindo de forma concreta para a integração entre a academia e setor privado. Além disso, a área de engenharia mecânica teve forte participação no desenvolvimento de softwares para o setor.

A figura a seguir, retirada de Bittencourt et. al (2008) também, mostra quais são as principais formas pelas quais ocorre a transferência de tecnologia:

Figura 5 - Transferência de Tecnologia - Quatro Setores



Fonte: Bittencourt et. al., (2008)

Podemos ver na figura acima que, para o setor de metal-mecânica, as principais formas de transferência de tecnologia são as novas técnicas e equipamentos e processos. No setor de eletro-eletrônicos, o mais importante são os novos equipamentos, seguido de desenvolvimento de software, novas técnicas e novos processos.

O que os resultados acima indicam é que existem fortes caminhos pelos quais os grupos de pesquisa se articulam com as empresas.

5.1.7. Barreiras ao Comércio Internacional

Uma vez que o transporte aéreo é uma atividade fortemente regulada em todos os principais mercados mundiais, a natureza das barreiras ao comércio internacional neste setor é bastante variada. Ademais, uma vez que o mercado em que as empresas do setor devem competir é claramente mundial, a capacidade de navegar

tais barreiras é importante. Além das tradicionais barreiras tarifárias, as barreiras ao comércio internacional incluem as seguintes medidas[17]:

- Pressão governamental sobre companhias aéreas domésticas para a preferência de compras de aeronaves de uma marca em particular;
- Exigências de contrapartidas das empresas em troca de importações de aeronaves;
- Restrições quantitativas às importações de aeronaves (quotas);
- Exigências de licenciamento doméstico de aeronaves para a importação;
- Uso de créditos à exportação e medidas governamentais de apoio a empresas instaladas nos países.

Note-se que o uso de todas estas medidas é regido em escala internacional pelo *Aircraft Agreement*[18], originalmente assinado na Rodada Uruguai do GATT e incorporado nos tratados constituintes da OMC – Organização Mundial do Comércio.

Ainda que o *Aircraft Agreement* tenha um foco pronunciado sobre as barreiras – tarifárias e não tarifárias – note-se que ainda hoje o comércio internacional de aeronaves é bastante regulamentado, tendo uma grande gama de barreiras essencialmente não tarifárias. Exemplos disso podem ser encontrados no *2011 National Trade Estimate Report on FOREIGN TRADE BARRIERS*[19], como por exemplo, sobre apoios governamentais:

"*In 2008, the Canadian federal government and the Quebec provincial government announced aid to the Bombardier aircraft company not to exceed C$350 million (federal) and C$117 million (provincial) to support research and development (R&D) related to the launch of a new class of Bombardier CSeries jets. Under this program, Bombardier received a contribution of C$39.6 million from the federal government in fiscal year 2009 (April 1-March 31) and C$36.9 million in fiscal year 2010. Bombardier is scheduled to receive a contribution of C$67 million in fiscal year 2011*." (página 53)

---

[17] Note-se, todavia, que nem todas são permitidas pelo arcabouço legal de regulação do comércio internacional, sendo expostas aqui apenas com o fim de comparação.
[18] Referência original no site http://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/air-79_e.htm (acesso em 10/9/2012)
[19] Disponível no site http://www.ustr.gov/webfm_send/2751 (acesso em 10/9/2012).

Sobre restrições às exportações de insumos:

"*China's export restraints affect U.S. and other foreign producers of a wide range of downstream products, such as steel, chemicals, hybrid and electric cars, energy efficient light bulbs, wind turbines, hard-disc drives, magnets, lasers, ceramics, semiconductor chips, refrigerants, medical imagery, aircraft, refined petroleum products, fiber optic cables and catalytic converters, among numerous others. The export restraints can create serious disadvantages for these foreign producers by artificially increasing China's export prices for the raw material inputs, which also drives up world prices*" (página 69)

Sobre licenciamento doméstico necessário para as importações:

"Japan's regulatory framework, coupled with infrastructure shortages, impedes the development of business aviation in Japan. Due to the lack of guidelines specific to business aviation, business aircraft are subject to the same regulations that apply to commercial airlines for safety, maintenance, and repair issues administered by the Japan Civil Aviation Bureau (JCAB) of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). This situation in turn raises the costs of qualification, operation, and maintenance of business aircraft to uneconomical levels. In addition to the regulatory environment, landing rights for business aircraft in Japan are difficult to obtain because of rules that hamper flexible scheduling, especially in the Tokyo area. These factors greatly limit business opportunities in this sector for sales of U.S. aircraft in Japan." (página 211)

Dada a variedade de barreiras não tarifárias, fica difícil sumarizá-las de forma consistente entre países, apenas restando apontar o fato que tais barreiras são importantes e generalizadas entre os países.

6. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas

6.1. Efeitos Locais das Emissões

Em termos de impactos ambientais, podemos fazer distinções entre os impactos de natureza eminentemente local, em torno de locais em que ocorrem as

operações de pouso e decolagem das aeronaves, e os impactos de natureza global, entre os quais se incluem a geração de gases de efeito estufa.

Do ponto de vista de efeitos ambientais locais, a principal preocupação da operação de aeronaves é o ruído. No entanto, muitos aeroportos já consideram a qualidade atmosférica como algo equivalente à poluição sonora. Em termos de qualidade atmosférica, os principais elementos poluidores são:

- Óxidos de Nitrogênio (NOx)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarbonetos não queimados (UHC)
- Material Particulado (PM)

Ainda que, comparadas a outras fontes de recursos, as emissões referentes ao transporte aéreo sejam relativamente pequenas, como grande parte das medidas destinadas à redução nas emissões destes poluentes não pode ser aplicada devido às restrições de peso e segurança, é de se esperar que a aviação seja responsável por uma parcela crescente destas emissões.

Historicamente, o poluente de mais difícil controle para a aviação são os óxidos de nitrogênio. A principal razão para esta dificuldade reside nas características físico-químicas do processo de queima de combustível, que dificultam reduções nas emissões. No entanto, medidas que reduzam o consumo de combustível, como a aerodinâmica melhorada da estrutura e melhoras na tecnologia do combustor, também acabam por reduzir as emissões deste tipo de poluente.

A confiança na evolução tecnológica do setor decorre do fato de que, ao longo dos últimos 35 anos, a queima de combustível por passageiro-km caiu mais de 60%. Mais da metade desta redução deve-se à melhora na tecnologia do conjunto propulsivo e o restante à melhora na aerodinâmica, no peso e nas operações (Lee, 2000). Evidentemente, a demanda por transporte aéreo cresceu bastante ao longo deste período, o que impediu que esta melhora nas emissões por passageiro/km se transformasse em menores emissões de poluentes.

Em termos de perspectivas tecnológicas mais concretas, a União Europeia tem projetos ambiciosos de redução de mais de 80% nas emissões de NOx até 2020, em relação aos níveis de 2000 (ACARE 2001). Além disso, oportunidades de economia

na emissão de NOx vêm de melhoras na operação dos aeroportos, com iniciativas tais como a operação de manobra da aeronave com apenas uma turbina, procedimentos modificados de decolagem e pouso, além de melhoras no sistema de gestão aeroportuária para a redução de atrasos em rota e em solo.

Outra questão de poluição local que vem ganhando mais relevância nos últimos anos é a do Material Particulado (PM). Os custos sanitários dele decorrentes são maiores inclusive que os do NOx, quando comparados em termos de tonelada emitida (EPA 1999a). O grande problema com relação às iniciativas de controle de poluição local por material particulado diz respeito à dificuldade em se medir as emissões de material particulado devidas diretamente ao transporte aéreo.

6.1.1. Efeitos Globais das Emissões

Já é reconhecido internacionalmente que as aeronaves emitem elementos químicos e produzem efeitos físicos – como trilhas de condensação – que afetam o clima. Além disso, estudos afirmam que a natureza do transporte aéreo é tal que, ainda que o montante de emissões seja relativamente reduzido, tais emissões possuem um efeito desproporcional sobre o aquecimento global em relação a emissões baseadas em terra. Segundo o IPCC, a aviação seria responsável por aproximadamente 3,5% dos efeitos climáticos devidos à ação humana em 1992, indicando um efeito de aproximadamente o dobro de emissões equivalentes localizadas em superfície.

Desde então, o entendimento dos processos pelos quais este efeito é tão maior melhorou bastante. Segundo um relatório da Royal Commission on Environmental Protection (RCEP) no Reino Unido, o efeito das trilhas de condensação sobre a geração de nuvens do tipo *cirrus* causa efeitos sobre o aquecimento global de três a quatro vezes maiores do que a emissão de CO2 (RCEP 2002). Caso o crescimento no transporte aéreo se mantenha dentro do previsto, mais de 5% da mudança climática devida ao comportamento humano em 2050 será atribuível ao transporte aéreo.

Uma vez que ainda não está absolutamente claro quais são os impactos da aviação no clima, as políticas mais adequadas para a mitigação dos efeitos ainda são incertas, principalmente as focadas na redução de consumo de combustível. No

entanto, como os efeitos sobre a qualidade local do ar e sobre o clima global dependem de um conjunto de tecnologias e operações interdependentes, ações com o objetivo de afetar apenas um dos aspectos podem afetar outras dimensões. Por exemplo, medidas de operação e tecnológicas com o objetivo de reduzir a geração de ruído podem resultar em maior queima de combustível.

Ainda que a redução na queima de combustível seja desejável e um dos focos nas iniciativas de redução de poluição, as projeções para a redução tendencial (ou seja, na ausência de mudanças tecnológicas mais marcadas) no consumo de combustíveis, da ordem de 2% ao ano (ICAO 2010 - Achieving Climate Change Goals for International Aviation.pdf), tendem a ter um efeito menor sobre as emissões de CO2, devido ao crescimento no número de passageiros nos próximos anos.

6.1.2. Balanço de Carbono: Transporte Aéreo

No presente texto, iremos tratar do balanço de carbono especificamente relacionado à queima de combustível no transporte aéreo, sem levar em consideração a parcela de carbono associada com a construção das aeronaves, por exemplo. Duas fontes interessantes sobre o assunto são Skone e Gerdes (1998) e Allen et al. (2010).

Em termos de ciclo de vida do produto, iremos considerar cinco estágios para a produção e consumo do combustível:

- Aquisição da Matéria-Prima
- Transporte e Armazenamento da Matéria-Prima
- Produção do Combustível Líquido
- Transporte e Abastecimento do Combustível
- Operação do Veículo

Impactos associados com o final da vida útil do produto não serão considerados, uma vez que o produto (combustível) é consumido na etapa de operação do veículo.

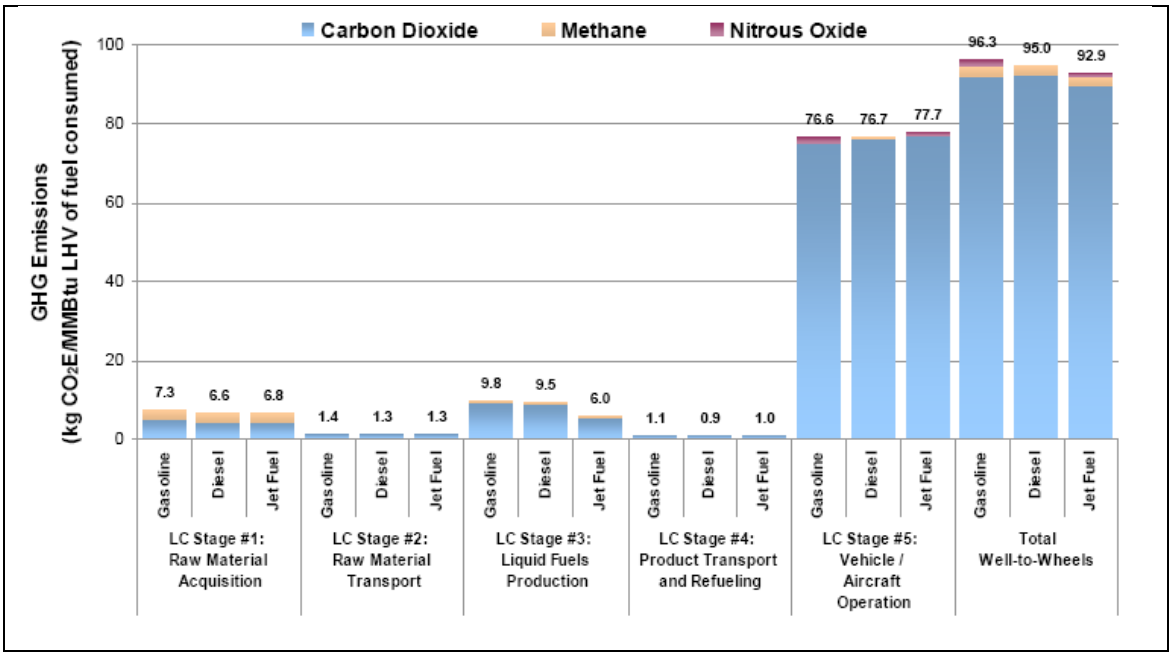
Muitas análises do uso de combustíveis aeronáuticos consideraram tais combustíveis como similares ao óleo diesel em termos de emissões de gases

geradores de efeito estufa, devido ao ponto de queima similar dos dois combustíveis. Usando o óleo diesel como ponto de partida, chega-se a uma emissão de 95 kg de CO2 por milhão de BTU[20], sendo que 81% (76 kg de CO2 por milhão de BTU na mesma base) disto seria diretamente relacionado com a combustão do combustível.

No entanto, usando diretamente a emissão de combustível aeronáutico, chegamos a uma emissão de 92,9 kg de CO2 por milhão de BTU, com 84% atribuído à combustão do combustível. A principal diferença entre as duas análises está na fase de produção e refino.

O gráfico a seguir, retirada de Skone e Gerdes (2008) mostra a emissão de CO2 com diferentes tipos de combustíveis.

Gráfico 5 - Emissão de CO2 - do Poço até a Roda (Well to Wheels)



Fonte: Skone e Gerdes (1998)

Em termos de imprecisão associada a estas estimativas, as principais fontes de variação estão associadas à qualidade do óleo cru e à forma pela qual o combustível aeronáutico é refinado.

[20] Usando como base 90g CO2/MJ.

Mais especificamente, Allen et al (2010)[21] reportam que uma equipe do MIT, usando dados similares, chega a uma estimativa de 87,5g de CO2/MJ, com a combustão respondendo por 73,2% deste total. Esta mesma equipe reporta que a incerteza associada à emissão de CO2 diretamente ligada com a queima de combustível é da ordem de 1%, mas existe uma variação grande associada com as etapas anteriores, da ordem de até 7%.

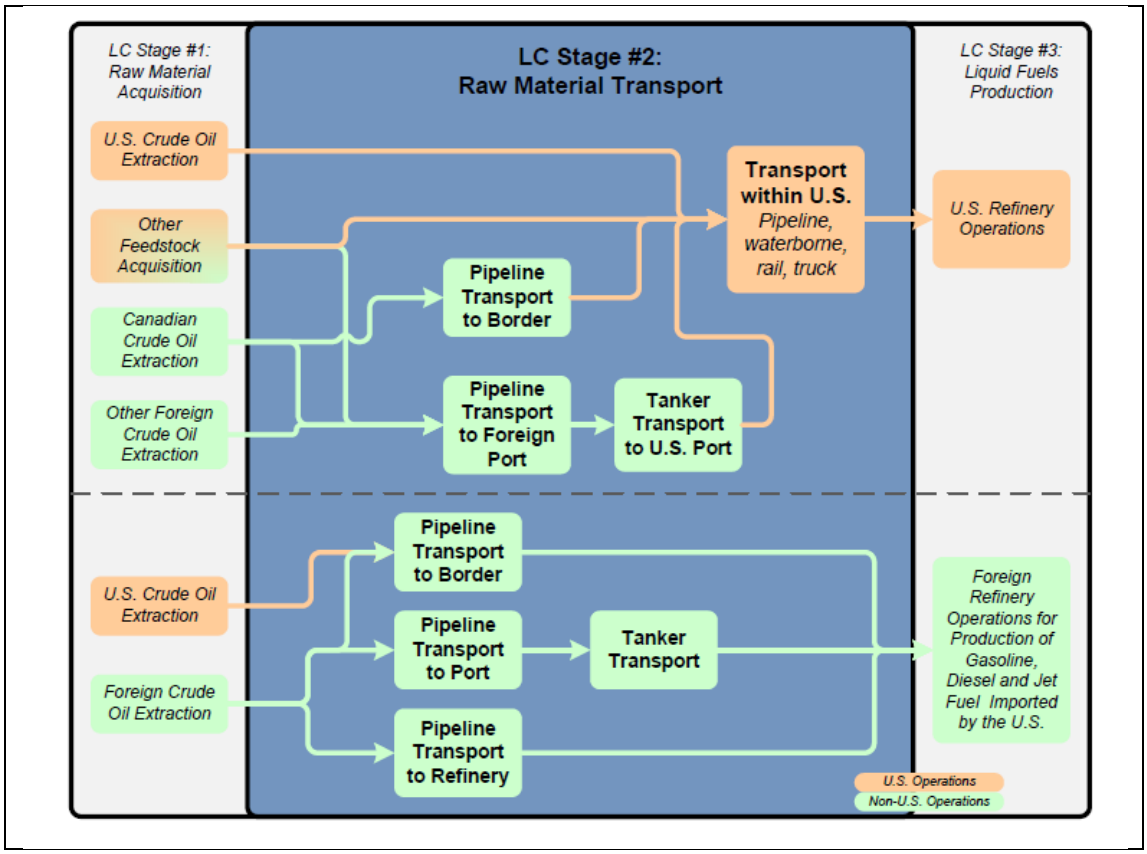
A principal razão pela qual a qualidade do óleo afeta o volume de emissões é que, a depender da qualidade do óleo, são necessárias várias etapas de pré-processamento do óleo até a produção do combustível aeronáutico.

No primeiro estágio, a extração de petróleo, a estimativa central do potencial de emissões nesta fase é de 6,8 kg de CO2 por milhão de BTU LHV, com um intervalo de confiança de 3kg de CO2 por milhão de BTU LHV. Tal intervalo, como já mencionado, decorre de diferenças no processo de extração do petróleo de diferentes fontes, em especial o valor das emissões de metano, que podem ser elevadas a depender da fonte do óleo cru.

A estimativa de emissões de CO2 para a segunda etapa foi baseada no trabalho de Skone e Gerdes[22], com base na seguinte estrutura de transporte:

[21] UDRI_FT_GHG_Final_Report_Jan_25_2010.pdf
[22] NETL LCA Petroleum-Based Fuels Nov 2008.pdf

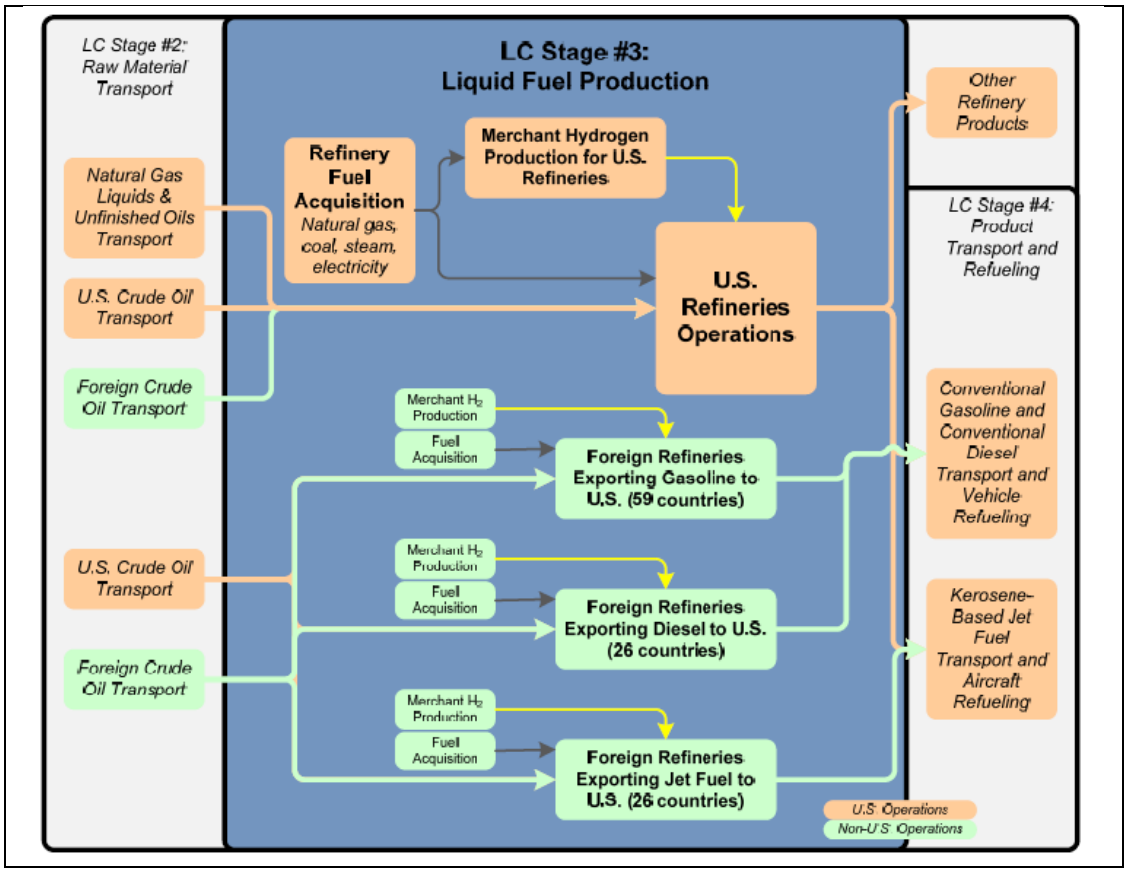
Figura 6 - Transporte da Matéria-Prima



Fonte: Skone e Gerdes (1998)

A fase seguinte, também segundo Skone e Gerdes (2008), baseia-se no seguinte processo esquemático. Aqui optou-se por detalhar mais as etapas do processo, uma vez que existem diferentes formas de transporte do material bruto à refinaria:

Figura 7 - Produção do combustível liquido[23]

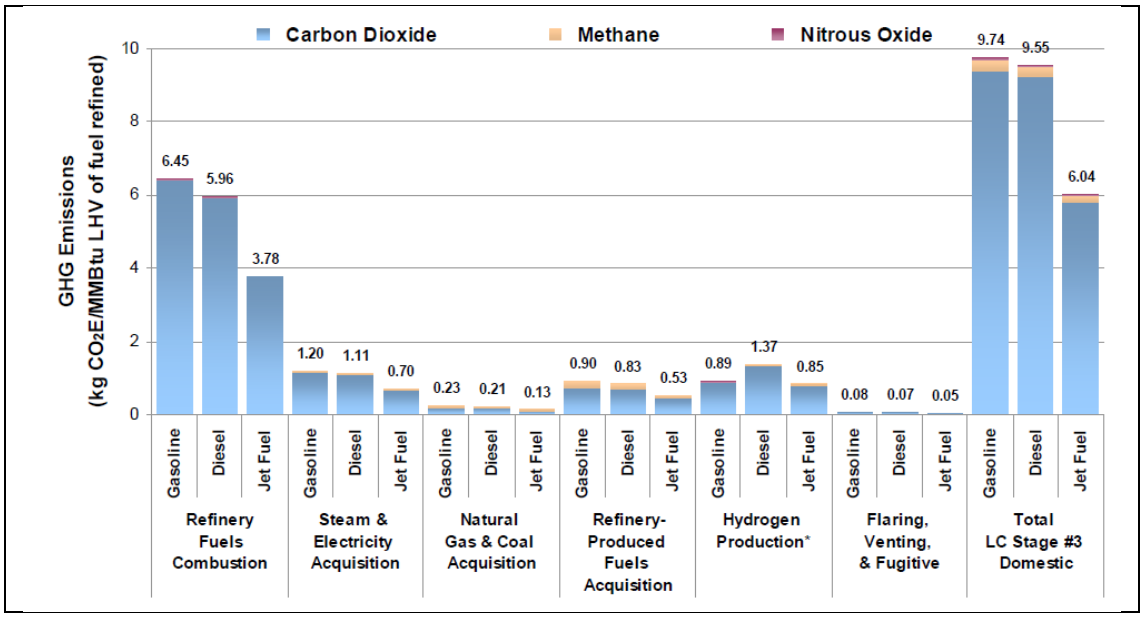


Fonte: Skone e Gerdes (1998)

A abertura deste valor agregado de 6 kg CO2/ milhão BTU LHV está na figura a seguir:

[23] Nota de Rodapé para detalhar que esta é uma figura que contempla todas as possíveis alternativas de transporte do petróleo.

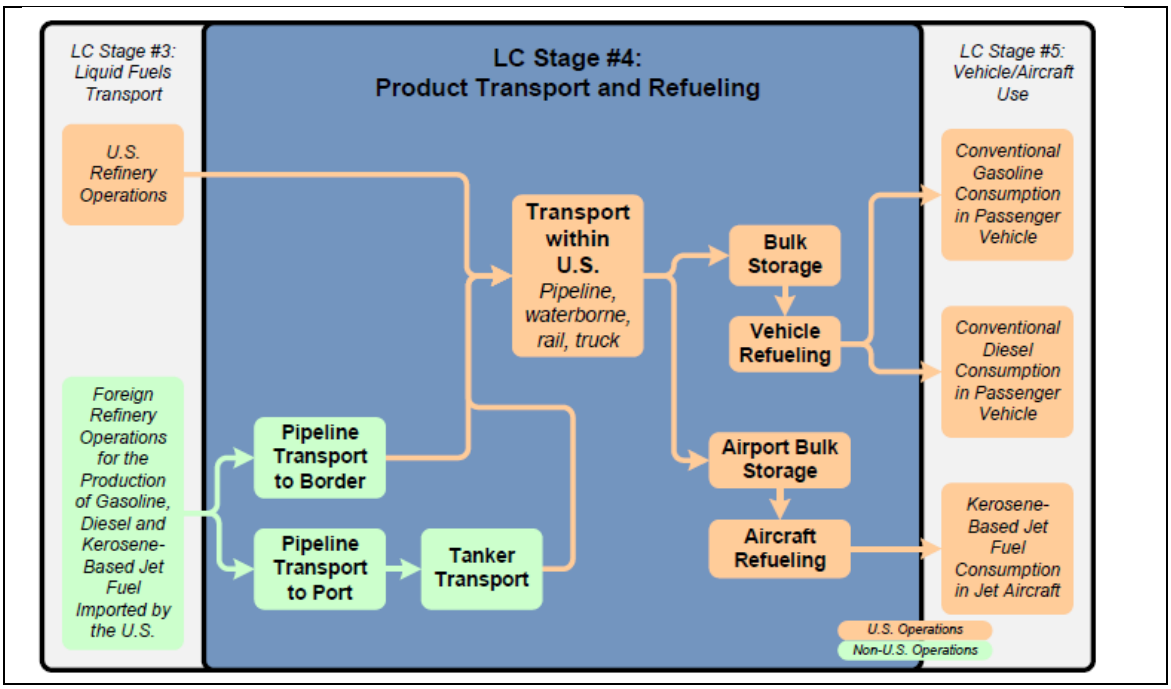
Gráfico 6 - Emissões de GHG na etapa de refino dos combustíveis



Fonte: Skone e Gerdes (1998)

A fase seguinte, de transporte e reabastecimento de veículos, começa quando o combustível líquido sai das refinarias e termina com o abastecimento do veículo ou aeronave. Esta fase é composta pelo transporte para o armazenamento a granel, o armazenamento a granel nos terminais ou no aeroporto, o transporte do combustível até a aeronave e a operação de reabastecimento. Graficamente, podemos representar estas etapas da seguinte forma:

Figura 8 - Transporte e reabastecimento de veículos



Fonte: Skone e Gerdes (1998)

Finalmente, o último estágio começa quando o reabastecimento da aeronave está completo e continua à medida que o combustível é queimado para a geração de energia. O principal foco da análise são as emissões criadas durante o processo de queima. Skone e Gerdes (2008) fornecem valores para as emissões de gases geradores de efeito estufa para diferentes tipos de veículos, conforme as tabelas a seguir mostram:

Tabela 8 - Emissão de Gases Geradores de Efeito Estufa - Automóveis

Característica	Unidade	Gasolina Convencional	Diesel Convencional
Eficiência de combustível	MPG	23,9	35,1
Uso total de combustível	Btu LHV/milha	4.866	3.737
Emissões:			
CO_2	Kg/milha	0,365	0,286
CH_4	Kg/milha	2,37E-05	2,99E-07
N_2O	Kg/milha	2,37E-05	6,53E-07
CO_2	kg/MMBtu[24] LHV	75	76,6
CH_4	kg/MMBtu LHV	4,90E-03	8,00E-05
N_2O	kg/MMBtu LHV	5,00E-03	1,70E-04

Fonte: Skone e Gerdes (1998)

Tabela 9 - Emissões de Gases Geradores de Efeito Estufa - Aeronaves

Fonte	Emissões (kg/MMBtu LHV)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Operações de Voo Média (LTO + Voos)	77,1	0,0005	0,002

Fonte: Skone e Gerdes (1998)

Evidentemente, os resultados calculados e mostrados em uma base por milha percorrida são dependentes da eficiência de combustível de cada classe de veículos e são sujeitos à variação. Finalmente, nesta etapa, as emissões são dadas por:

Tabela 10 - Emissões Gases Geradores de Efeito Estufa - Etapa de Combustão

Derivado de petróleo	Emissões (kg/MMBtu LHV)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Gasolina	75	4,88E-03	4,99E-03
Diesel	76,6	8,00E-05	1,75E-04

[24] MM = Milhão e M=Milhar

Derivado de petróleo	Emissões (kg/MMBtu LHV)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Querosone	77,1	5,00E-04	2,00E-03

Fonte: Skone e Gerdes (1998)

Comparativamente aos valores acima, desenvolvidos e calculados para o mercado americano, existem algumas diferenças no perfil de emissões no mercado brasileiro. Em termos de efeitos globais sobre a emissão de gases, a principal diferença deve estar na etapa de queima, com um maior peso dos ineficientes procedimentos de gestão aeroportuária brasileira.

6.2. Mudanças climáticas e regulação setorial

Existem muitos regulamentos que restringem as emissões aeronáuticas[25]. As fontes de emissão de gases geradores de efeito estufa são reguladas de forma independente por meio de regras específicas aos equipamentos, que por sua vez são atribuições de várias organizações. Por exemplo, os veículos de solo têm suas emissões reguladas no Brasil de acordo com o PROCONVE e nos EUA pela EPA (*Environmental Protection Agency*). Fontes estacionárias, como refrigeradores e geradores, também atendem a regulamentos específicos.

Especificamente com respeito aos equipamentos e processos aeronáuticos, uma vez que se espera que eles sejam operados em vários países, são sujeitos aos regulamentos de cada um deles. Por exemplo, a certificação da FAA (Departamento de Aviação Federal, na sigla em inglês) nos Estados Unidos é necessária para o uso de quase todos os equipamentos e processos aeronáuticos naquele país.

A FAA impõe mais de 60 padrões que precisam ser aplicados no desenho de motores aeronáuticos, materiais de construção, durabilidade, instrumentos e controle, além da segurança. Além disso, tais padrões precisam estar de acordo com os parâmetros impostos por outras agências – um exemplo é a *Fuel Venting and Exhaust Emission Requirements for Turbine Engine Powered Airplanes (FAR Part 34)*, que dá as diretrizes para o atendimento dos padrões de emissão impostos pela EPA.

[25] Uma fonte concisa destas regulações está em http://avstop.com/aviation_emissions/How_are_aviation_emissions_regulated.htm

No caso brasileiro, a regulação é atribuição da ANAC (Agência Nacional da Aviação Civil), responsável pelos RBAC (Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil). Em termos de certificação de tipo de aeronave, os regulamentos de engenharia, projeto e construção são os 21, 23, 25, 27, 29, 33 e 35, enquanto os regulamentos ambientais são os 34 e 36. Já os regulamentos operacionais – também importantes do ponto de vista de emissões – são os 91, 121 e 135. O processo de certificação de aeronaves no Brasil é longo e caro, durando aproximadamente quatro anos e com um custo de R$ 4 a R$ 5 milhões.

De um ponto de vista internacional, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) é um órgão afiliado às Nações Unidas que tem a responsabilidade de coordenar, planejar e auxiliar na implementação dos serviços de transporte aéreo pelo mundo. Tal órgão estabelece os padrões globais de emissão para motores aeronáutico, que acabam informando as regulações nacionais.

Além disso, a ICAO desde há muito tempo é o fórum principal para a avaliação do desempenho dos motores aeronáuticos do ponto de vista ambiental. A abordagem geral da ICAO para a avaliação de equipamentos propulsivos é de incentivar o progresso tecnológico, gradativamente elevando as exigências ambientais dos produtos já em atividade, ao invés de tentar forçar a evolução tecnológica por meio de padrões baseados em tecnologias ainda em teste. Esta abordagem faz sentido, uma vez que o peso da segurança de operação é muito grande, restringindo o espaço para experimentação.

Em termos das companhias aéreas, a principal entidade é a *International Air Transport Association* (IATA), que representa 230 companhias aéreas em 118 países e coordena os pontos de vista das companhias com relação ao aquecimento global. Atualmente, a IATA tem clara a necessidade de mitigação das emissões de carbono por meio dos *offsets* como uma das formas de reduzir as emissões de carbono. Estima-se que 90 milhões de toneladas de CO2 terão de ser eliminadas com o uso de mercados de carbono até 2025 para manter o mesmo consumo de 2020. Tal utilização custará aproximadamente US$ 7 bilhões por ano, para eliminar estas toneladas (é bom lembrar que os mecanismos de mercado não prescindem de gastos com iniciativas de redução de CO2).

Outra iniciativa importante da IATA foi a criação de diretrizes e ferramentas para o uso de mercados de carbono, permitindo uma medida mais precisa das necessidades de compensação de carbono.

Uma grande mudança regulatória em curso atualmente é a incorporação das companhias aéreas no esquema europeu de negociação de créditos de carbono (ETS). Em outubro de 2008, o Conselho da União Europeia – o terceiro órgão europeu envolvido na medida – decidiu que o transporte aéreo seria integrado no ETS.

De acordo com esta decisão, as companhias cujos voos decolam ou pousam na União Europeia (além da Islândia, Liechtenstein ou Noruega) a partir de 2012 terão de provar que adquiriram créditos de carbono em montante suficiente para cobrir as emissões de CO2 do voo.

As companhias aéreas europeias terão uma quota de créditos de carbono, permitindo um determinado volume de emissões de CO2. Caso uma companhia gere menos CO2 do que o permitido pela quota, ela poderá vender o excedente para companhias que geram mais do que a quota. Isto faz com que as emissões sejam utilizadas da forma mais eficiente, o que torna estes créditos mais eficientes do que impostos sobre a emissão de carbono. Note-se que as companhias aéreas também podem comprar os créditos de companhias fora do setor, o que faz este ser um sistema “semi-aberto”. Além disso, as companhias podem acumular os créditos excedentes ao longo do tempo.

O montante da quota vai ser determinado com base na razão entre a média de emissões anuais de CO2 entre 2004 e 2006 e o total de transporte aéreo realizado em 2010. 82% dos créditos serão fornecidos sem custo, 15% leiloados e o restante reservado para companhias entrantes ou de alto crescimento. Uma vez que o montante gerado por aquela razão é menor do que as companhias aéreas atualmente emitem, isto implica que elas necessariamente terão de ir ao mercado para adquirir o que falta, criando incentivos para economia na emissão de CO2.

As receitas com a venda dos 15%, além dos créditos adicionais eventualmente vendidos às companhias aéreas, serão revertidas ao país de origem das companhias aéreas. Para o caso de companhias aéreas de propriedade de

moradores da UE, mas localizadas fora da região, o mecanismo se aplica da mesma forma.

No entanto, este mecanismo encontrou resistências, especialmente entre as companhias aéreas norte-americanas. Elas entraram com uma ação junto à Corte de Justiça Europeia contra esta medida, argumentando que a inclusão do setor no ETS é uma violação da Convenção de Chicago[26] e o *Open Skies Agreement*[27] entre os EUA e a União Europeia.

Segundo o mecanismo, os voos que saem dos Estados Unidos têm que apresentar créditos de carbono também para as emissões ocorridas no espaço aéreo americano. Por exemplo, para um voo de San Diego para Londres, a companhia aérea teria de fornecer créditos de carbono para o voo completo, e não apenas para a parcela do voo realizada em espaço aéreo europeu.

No final de outubro de 2011, a Câmara dos Deputados norte-americana aprovou uma lei que proibia as companhias aéreas norte-americanas de participar no ETS. Além disso, outros países como a China pretendem retaliar com sanções. A Associação Europeia de Companhias Aéreas também foi contrária a esta estratégia, temendo ser a única vítima destas disputas entre nações, sofrendo com a imposição de taxas por parte dos outros países que não a União Europeia.

Este é um exemplo de um problema regulatório sério, que voltará a ser importante nos próximos anos. De acordo com o artigo 2.2 do Protocolo de Kyoto, as partes signatárias do documento são obrigadas a buscar iniciativas de redução de emissões de gases de efeito estufa no âmbito da ICAO.

Além disso, a Convenção de Chicago obriga que não apenas os países signatários do Protocolo de Kyoto terão de ser envolvidos no processo. Isto ocorre porque esta Convenção exige que quaisquer medidas impostas em um determinado país tenham de ser aplicadas uniformemente para todos os países signatários da mesma. Além disso, medidas colocadas em um país não podem ser aplicadas em outros países.

---

[26] Acordo internacional que reconhece a soberania que cada país possui sobre o espaço aéreo acima do seu território, assinado por mais de 190 países.

[27] Acordo que regulamentou a abertura do espaço aéreo das duas regiões em 2008, dando às companhias aéreas das duas jurisdições direitos iguais, com o objetivo de incentivar a competição nas rotas transatlânticas.

O principal obstáculo regulatório desta falta de harmonização entre a Convenção de Chicago e a ICAO está na adoção de medidas baseadas em mercado para a mitigação de emissões. Como mencionado anteriormente, a União Europeia tentou incluir a aviação internacional em seu esquema de negociação de créditos de carbono.

No entanto, para atender às cláusulas da Convenção de Chicago sobre igualdade de aplicação de medidas, a participação no mecanismo de negociação de créditos de carbono teria de ser estendida não apenas às empresas europeias, mas também às empresas do restante do mundo – inclusive as de países que não são signatários do Protocolo de Kyoto.

A harmonização dos dois diplomas legais é um desafio importante que precisa ser enfrentado nos próximos anos, uma vez que a adoção de mecanismos de mercado para a mitigação de emissões é essencial para que se consiga atingir as metas de redução de emissões previstas na seção sobre as perspectivas tecnológicas.

7. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil

7.1. Perspectivas tecnológicas e Impactos sobre o Setor

Conforme mencionado na seção 4, referente à dinâmica tecnológica setorial, segundo o ICAO, o setor tem uma estratégia baseada em quatro pilares para o alcance das metas de redução nas emissões de carbono até 2050. Destas quatro, a primeira, **tecnologia**, é a que tem maior potencial para a transformar a redução em realidade. Boa parte das inovações incrementais discutidas anteriormente estão incluídas nesta categoria.

A segunda e terceira categorias, as **melhoras na infraestrutura e operações**, também são medidas com alto potencial de concretização nos próximos anos. A implementação de técnicas mais eficientes de gestão de tráfego aéreo e de infraestrutura aeroportuária pode levar a reduções substanciais. No caso brasileiro, os investimentos em infraestrutura aeroportuária nos próximos anos também levarão a grandes reduções das emissões de gases de efeito estufa.

As três medidas anteriores, todavia, não são suficientes para reverter a tendência de aumento nas emissões de CO2 para as próximas décadas, a menos que tenhamos inovações radicais e biocombustíveis. Em termos de efeitos para os próximos anos, a figura a seguir, que reflete a tabela 19 do relatório de impactos setoriais, mostra quais são os cenários prováveis para variáveis econômicas selecionadas.

Tabela 11-Taxas de crescimento (%) da produção setorial brasileira em relação ao ano de 2010, cenários selecionados

	2020				2035				2050			
	BAU	BAU_Tec	Policy	Policy_Tec	BAU	BAU_Tec	Policy	Policy_Tec	BAU	BAU_Tec	Policy	Policy_Tec
CROP	2.09	2.26	2.10	2.12	2.37	2.34	2.27	2.25	2.82	2.79	2.53	2.50
LIVE	2.48	2.57	2.42	2.43	2.53	2.50	2.38	2.36	2.57	2.55	2.25	2.22
FOOD	2.47	2.55	2.41	2.42	2.48	2.45	2.33	2.31	2.48	2.46	2.20	2.18
CRP	3.08	3.37	3.21	3.25	3.17	3.13	3.17	3.14	3.10	3.06	3.06	3.00
STEEL	2.87	3.02	2.91	2.96	2.93	2.89	2.91	2.88	2.88	2.85	2.86	2.84
ALUM	2.76	3.34	2.86	3.08	2.84	2.80	2.74	2.72	2.81	2.78	2.66	2.61
CIME	2.84	2.96	2.88	2.93	2.84	2.80	2.79	2.76	2.84	2.81	2.80	2.77
OTHR	3.14	3.19	3.18	3.19	3.02	2.99	3.02	3.00	3.00	2.97	2.99	2.98
SERV	4.07	4.04	4.06	4.05	3.74	3.73	3.73	3.72	3.52	3.51	3.49	3.48
TRAN	3.63	3.99	3.33	3.66	3.41	3.51	2.94	3.04	3.20	3.29	2.68	2.77
COAL	2.15	2.36	1.71	2.02	2.08	1.98	1.20	1.11	1.87	1.83	0.78	0.67
OIL	4.92	3.12	4.07	3.87	2.98	2.91	2.97	2.81	2.07	2.03	1.93	1.81
GAS	4.29	4.54	3.81	4.26	4.15	4.15	3.32	3.34	3.88	3.88	2.66	2.70
ROIL	1.93	3.08	2.11	2.42	1.71	1.43	1.28	1.05	1.45	1.30	1.01	0.91
ELEC	2.36	2.53	2.30	2.42	2.16	2.16	1.98	1.98	2.04	2.04	1.77	1.76

Fonte: Resultados da Pesquisa.

O que os cenários dessa tabela mostram é que o setor de transporte, no curto prazo, tem uma taxa de crescimento bastante similar não importa qual dos cenários se considere. Por exemplo, até 2020 espera-se que a taxa de crescimento seja de 3,63% ao ano no cenário “Business As Usual” (BAU) e de 3,66% no cenário considerando medidas de política e avanços tecnológicos disruptivos (colunas 2020).

Apenas a partir de 2035 podemos notar uma divergência maior entre os cenários e, em 2050, podemos notar uma maior diferença, sendo que no cenário BAU teríamos uma taxa de crescimento de 3,20% ao ano e no cenário com medidas de política e inovações tecnológicas nós teríamos 2,77% ao ano (colunas 2050). Ou seja, os efeitos em termos de emprego e renda da transição para uma economia de Baixo Carbono devem ser sentidos no setor de transporte mais a partir de 2035 até 2050.

Podemos analisar os efeitos sobre o setor de outra forma também, com base no ponto de vista dos especialistas. O questionário em anexo, baseado nas

principais linhas de pesquisa, foi respondido por representantes das duas maiores empresas de transporte aéreo de passageiros do Brasil: TAM e Gol. Os resultados da pesquisa, assim como uma apreciação crítica dos mesmos e do questionário, estão no apêndice.

Em termos de perspectivas para os próximos anos, temos, do ponto de vista do representante da TAM, que os principais ganhos serão com base em melhorias incrementais de materiais e aerodinâmica. O representante da Gol, por sua vez, enfatiza o papel das melhorias nos procedimentos operacionais nos aeroportos.

A importância dos procedimentos aéreos também se mantém no médio prazo para o representante da Gol. No entanto, esta mesma empresa considera que os biocombustíveis começarão a ser importantes já em médio prazo, diferentemente do caso da TAM, que coloca maior ênfase nos novos desenhos de motores. Os pontos de vista das duas empresas, no longo prazo, apontam para uma predominância dos efeitos de novas tecnologias de motores e biocombustíveis também.

Em termos de envolvimento na fronteira do desenvolvimento, na parte de inovações disruptivas o Brasil possui uma certa vantagem na parte de biocombustíveis aeronáuticos. Como visto na seção 4, no caso Brasileiro, existem pesquisas tecnológicas nas seguintes linhas:

- Gaseificação – IPT. Espera-se que o começo de funcionamento de uma planta comercial para a gaseificação de biomassa seja a partir de 2020. A estratégia do IPT envolve a elaboração de um projeto para a construção de uma planta piloto de gaseificação de biomassa que, a partir de 2017, começará a funcionar no núcleo do IPT em Piracicaba. Espera-se que esta planta possa processar cerca de 400 mil toneladas anuais de bagaço e palha de cana-de açúcar.
- Reações Biológicas/Químicas – Amyris. Esta empresa já trabalha em uma planta piloto em Campinas e uma planta de demonstração. Esta planta de demonstração possui dois fermentadores de 5.000 litros e busca replicar as condições reais de produção.
- Hidrogenólise – Curcas. Esta empresa informou que está previsto para o ano de 2013 a instalação de uma unidade produtora de bioquerosene em Guaratinguetá/SP, junto à unidade industrial da Basf. Em termos de matéria-

prima, a empresa está pensando em utilizar o pinhão-manso, do Espírito Santo e de futuras plantações no Oeste e Norte do Paraná.

Nesta linha, o Brasil está próximo da fronteira tecnológica. No entanto, apesar de iniciativas integradas – tais como a ação da Amyris com a Azul para um avião movido a querosene gerado na planta desta empresa – ainda existem riscos.

Em primeiro lugar, ainda existem problemas na coordenação entre os diferentes agentes, institutos de pesquisa, donos da infra-estrutura aeroportuária, setor público e empresas de transporte aéreo. Para estas, ainda não existem muitos incentivos para o uso de biocombustível no transporte aéreo.

Além disso, o investimento ainda é bastante cheio de riscos – boa parte dos investimentos descritos anteriormente são ainda para o desenvolvimento de plantas piloto ou passagem para a fase de produção comercial, o que impõe riscos maiores do que simplesmente a operação de uma refinaria já estabelecida.

Outro ponto importante é a necessidade de integração ao longo da cadeia produtiva. Para que tenhamos uma capacidade de atendimento da demanda por biocombustíveis aeronáuticos, devemos ter que superar os limites à expansão de oferta, similares aos observados no caso do etanol combustível. Por exemplo, no Brasil, temos uma dificuldade com a biomassa de cana porque a produção deste material está encaixada em uma cadeia produtiva que tem por objetivo a produção e venda de dois produtos estratégicos para o mundo, o açúcar e o etanol (tanto como combustível automotivo quanto etanol industrial).

Ou seja, a produção de biocombustíveis para a aviação tem que levar em conta as peculiaridades destes dois outros mercados, o que torna essencial o desenvolvimento de uma estrutura de governança sólida e voltada para a competitividade e atendimento das demandas dos produtos que oferta, articulando toda a cadeia produtiva. Em especial, deve-se focar em garantir o fornecimento continuado dos produtos, conseguir o cumprimento de todos os direitos trabalhistas e amadurecer as relações internas e aumentar a confiança mútua de longo prazo ao longo da cadeia.

Um grande risco no desenvolvimento desta integração é o comportamento oportunista por parte de algumas empresas, visando o lucro de longo prazo e limitando o potencial para coordenação.

Os dois primeiros pontos são os mais perigosos em termos de ameaças a preeminência do Brasil no segmento de biocombustíveis aeronáuticos. Outro risco, de ordem mais regulatória, são as negociações no ICAO e nos órgãos encarregados de certificação de combustíveis.

7.2. Aspectos Regulatórios e Restrições

Como visto na seção 5.2.6, uma vez que o transporte aéreo é uma atividade fortemente regulada em todos os principais mercados mundiais, a natureza das barreiras ao comércio internacional neste setor é bastante variada, incluindo, além das tradicionais barreiras tarifárias, as seguintes medidas[28]:

- Pressão Governamental sobre companhias aéreas domésticas para a preferência de compras de aeronaves de uma marca em particular;
- Exigências de contrapartidas das empresas em troca de importações de aeronaves
- Restrições quantitativas às importações de aeronaves (quotas)
- Exigências de licenciamento doméstico de aeronaves para a importação
- Uso de créditos à exportação e medidas governamentais de apoio a empresas instaladas nos países.

Note-se que o uso de todas estas medidas é regido em escala internacional pelo *Aircraft Agreement*[29], originalmente assinado na Rodada Uruguai do GATT e incorporado nos tratados constituintes da OMC – Organização Mundial do Comércio.

Em termos de regulação internacional sobre baixo carbono, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) é um órgão afiliado às Nações Unidas que tem a responsabilidade de coordenar, planejar e auxiliar na implementação dos serviços de transporte aéreo pelo mundo. Tal órgão estabelece os padrões globais de emissão para motores aeronáutico, que acabam informando as regulações nacionais.

---

[28] Note-se, todavia, que nem todas são permitidas pelo arcabouço legal de regulação do Comércio Internacional, sendo expostas aqui apenas com o fim de comparação.

[29] Referência original no site http://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/air-79_e.htm (acesso em 10/9/2012)

Além disso, a ICAO desde há muito tempo é o fórum principal para a avaliação do desempenho dos motores aeronáuticos do ponto de vista ambiental. A abordagem geral da ICAO para a avaliação de equipamentos propulsivos é de incentivar o progresso tecnológico, gradativamente elevando as exigências ambientais dos produtos já em atividade, ao invés de tentar forçar a evolução tecnológica por meio de padrões baseados em tecnologias ainda em teste. Esta abordagem faz sentido, uma vez que o peso da segurança de operação é muito grande, restringindo o espaço para experimentação.

Uma grande mudança regulatória em curso atualmente é a incorporação das companhias aéreas no esquema europeu de negociação de créditos de carbono. Em outubro de 2008, o Conselho da União Europeia – o terceiro órgão europeu envolvido na medida – decidiu que o transporte aéreo seria integrado no ETS.

De acordo com esta decisão, as companhias cujos voos decolam ou pousam na União Europeia (além da Islândia, Liechtenstein ou Noruega) a partir de 2012 terão de provar que adquiriram créditos de carbono em montante suficiente para cobrir as emissões de CO2 do voo.

As companhias aéreas europeias terão uma quota de créditos de carbono, permitindo um determinado volume de emissões de CO2. Caso uma companhia gere menos CO2 do que o permitido pela quota, ela poderá vender o excedente para companhias que geram mais do que a quota. Isto faz com que as emissões sejam utilizadas da forma mais eficiente, o que torna estes créditos mais eficientes do que impostos sobre a emissão de carbono. Note-se que as companhias aéreas também podem comprar os créditos de companhias fora do setor, o que faz este ser um sistema “semi-aberto”. Além disso, as companhias podem acumular os créditos excedentes ao longo do tempo.

Este é um exemplo de um problema regulatório sério, que voltará a ser importante nos próximos anos. De acordo com o artigo 2.2 do Protocolo de Kyoto, as partes signatárias do documento são obrigadas a se buscar iniciativas de redução de emissões de gases de efeito estufa no âmbito da ICAO.

Além disso, a Convenção de Chicago obriga que não apenas os países signatários do Protocolo de Kyoto terão de ser envolvidos no processo, mas todos

os países. Isto ocorre porque esta Convenção exige que quaisquer medidas impostas em um determinado país tem de ser aplicada uniformemente para todos os países signatários da mesma. Além disso, medidas colocadas em um país não podem ser aplicadas em outros países.

7.3. Políticas Industriais, Tecnológicas e Ambientais

O foco desta seção está no sistema nacional de inovação e como este sistema nacional de inovação pode ser incentivado a responder às demandas da transição para uma economia de baixo carbono.

No entanto, é difícil falar do sistema nacional de inovação sem que possamos definir adequadamente no que consiste um sistema nacional de inovação. Desta forma, esta seção começa com uma discussão sobre o que seria um sistema nacional de inovação, para depois descrevermos brevemente o sistema brasileiro de inovação para, ao final, trabalharmos com iniciativas de política.[30]

Um dos temas que perpassam todos os estudos sobre inovação é a ideia que as inovações não ocorrem de forma independente dentro de empresas, existindo fatores organizacionais, institucionais e de infra-estrutura que afetam o comportamento das empresas. Considerados em conjunto, estes fatores podem ser considerados como um sistema, e as suas condições podem ter efeitos importantes sobre as decisões de inovação das empresas e sobre como esta inovação acontece.

As inovações acontecem dentro do setor privado e em organizações públicas, sendo que são afetadas por um sistema mais amplo em que as estruturas institucionais, administrativas e regulatórias interagem entre si e com as capacidades educacionais e científicas para modelar o ambiente de inovação. Evidentemente, o grau de desenvolvimento do sistema de inovação é altamente específico aos países e regiões, e inclusive por isto é necessário detalhar melhor quais são os elementos que compõem este ambiente de inovação.

O primeiro dos componentes do sistema nacional de inovação são as características institucionais, o conjunto de “regras do jogo” estabelecidas

[30] A principal fonte do material aqui apresentado está em BIS (2011).

formalmente ou por costumes estabelecidos que determinariam o que esperar na interação entre os agentes. Diferentes estruturas de “regras do jogo” levam a diferentes comportamentos econômicos e resultados.

Um exemplo de instituição relevante para a inovação são as regras de governança e controle corporativos. Diferentes estruturas institucionais no ambiente corporativo levam a diferenças importantes na forma pela qual as empresas alocam os seus recursos, o que é central à inovação. Sistemas de governança podem influenciar como são realizados os investimentos por parte dos gestores, assim como a forma pela qual os retornos são distribuídos na forma de salários, lucros retidos ou distribuídos.

Além da governança corporativa, outras áreas institucionais são a gestão e a operação das relações entre as empresas e os empregados, a valorização do empreendedorismo no país e o restante da legislação comercial e possuem implicações para a inovação.

A segunda parte do sistema de inovação engloba as regras administrativas e de política pública do país. Entre elas, devemos realçar os arranjos específicos e poderes dos ministérios e agências responsáveis pela inovação. Nesta parte observamos enormes diferenças entre os países em áreas como padrões contábeis, ambientes regulatórios do mercado de trabalho, saúde e meio ambiente.

Os recursos humanos são uma parte essencial dos sistemas de inovação, e constituem o terceiro pilar do sistema nacional de inovação. Capacitações formais são cada vez mais importantes em termos de inovação, e mão de obra muito especializada é cada vez mais móvel internacionalmente, podendo ser trazida a diferentes países para atender a demandas específicas. Isto direcionou atenção para o sistema escolar e de universidades como parte integrante do sistema de inovação. A própria estrutura institucional do sistema de educação e de universidades também é importante, porque determina como as universidades se financiam, a pesquisa é organizada e como as atribuições de ensino e pesquisa são distribuídas.

O último dos pilares do sistema de inovação são as infraestruturas físicas e de conhecimento de um país. Por exemplo, as tecnologias de informação e de comunicação dependem de investimentos bastante elevados de infraestrutura, tanto de banda larga quanto de eletricidade.

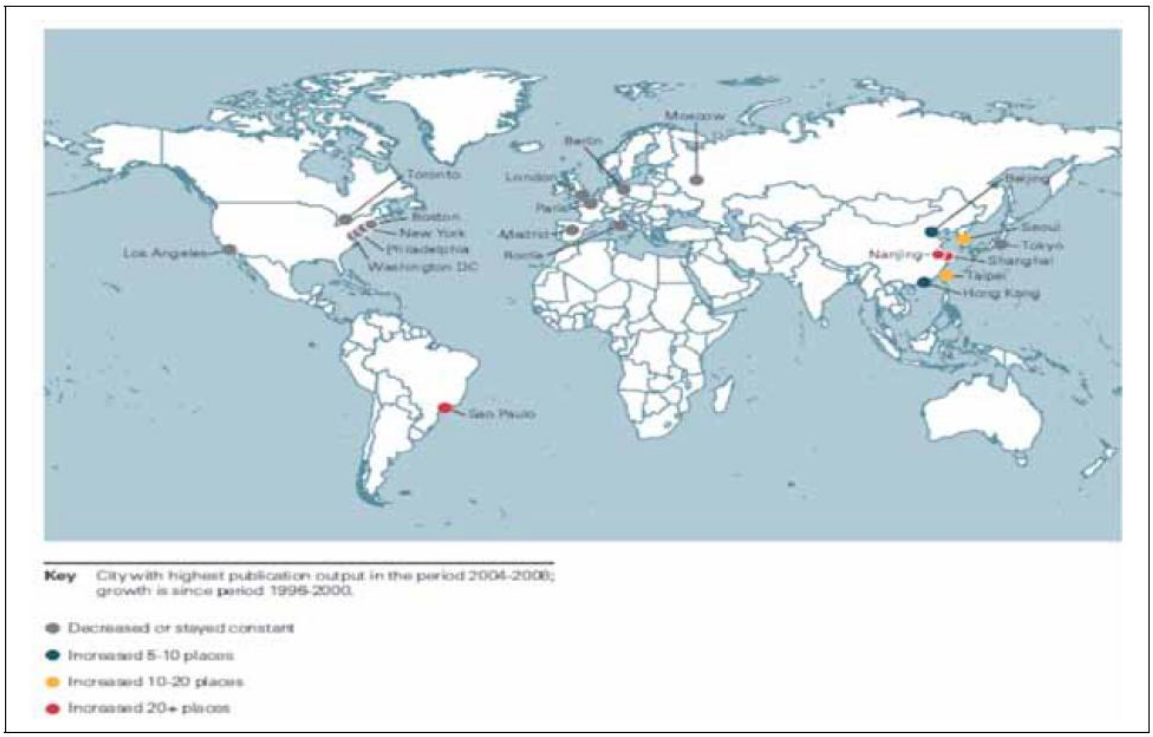
Por outro lado, muitas inovações tecnológicas importantes possuem elos fortes com a estrutura de conhecimento de universidades e instituições de pesquisa. Inovações de produto e de processo, e os seus desenvolvimentos subsequentes, só ocorrem com infraestruturas como padrões e organismos de padronização, assim como a ciência incorporada nas medidas e publicações revistas por pares.

7.4. O Sistema de Inovação Brasileiro

Iremos discutir brevemente quais são as características do sistema de inovação brasileiro e como ele se integra com os outros sistemas de inovação ao longo do mundo. Em termos de base científica, como mencionado na seção 5.2.5, Os profissionais formados no Brasil conseguem colocação em empresas estrangeiras (Airbus, Bombardier e Boeing, por exemplo). Em termos de quantidade de mão-de-obra, Bernardes e Catharino (2011) em 2005 existiam 24 cursos especializados em Engenharia Aeronáutica, sendo que 20 deles tinham sido criados no século XXI.

Em termos de pesquisa, ainda que sejamos proporcionalmente pouco importantes, a figura a seguir mostra o importante crescimento em termos de publicações científicas:

Figura 9 - Evolução no número de citações científicas

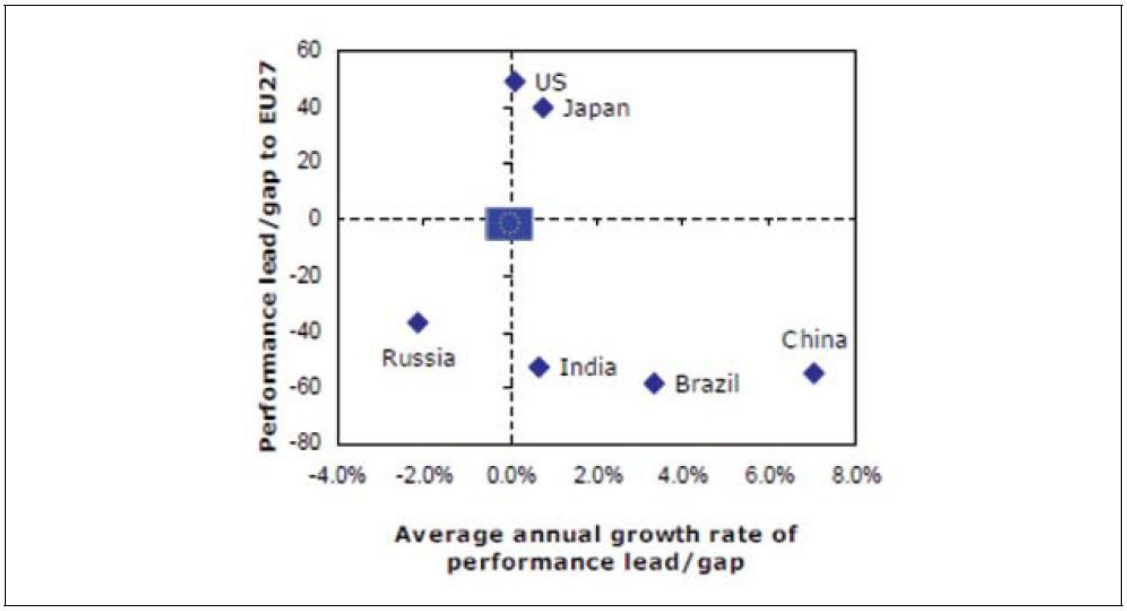


Por outro lado, o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento é mais baixo no setor em relação aos países mais desenvolvidos. Conforme dados da tabela 1 da seção 5 do relatório, o investimento em P&D do setor no Brasil vem caindo, de aproximadamente 4% para aproximadamente 2%. Os países da Europa, Itália, Alemanha e França, gastam mais de 9%. Mesmo que consideremos a diferença entre as definições de setores industriais pelas classificações dos diferentes países, a diferença é importante. Note-se, todavia, que isso também se deve ao maior nível de investimento em P&D em todos os setores da economia. Isto também faz com que o volume de investimentos em ativos intangíveis seja bem mais baixo do que o observado em países desenvolvidos.

Em termos de condições de financiamento, o Brasil se mostra como um caso intermediário em relação aos países desenvolvidos. Por exemplo, como mostra ABDI (2009b), temos mais de 2,5% do PIB em investimentos alocados no Brasil por parte de empresas de Private Equity e Venture Capital. Da mesma forma, a importância dos bancos de desenvolvimento no Brasil indica que a limitação de crédito é um problema menos importante do que em outros países da América Latina, por exemplo.

Todos estes fatores contribuem para que o Brasil tenha potencial para se tornar um centro de inovação global, à medida que o país vai diminuindo a distância em relação aos países mais desenvolvidos, como mostra a figura a seguir:

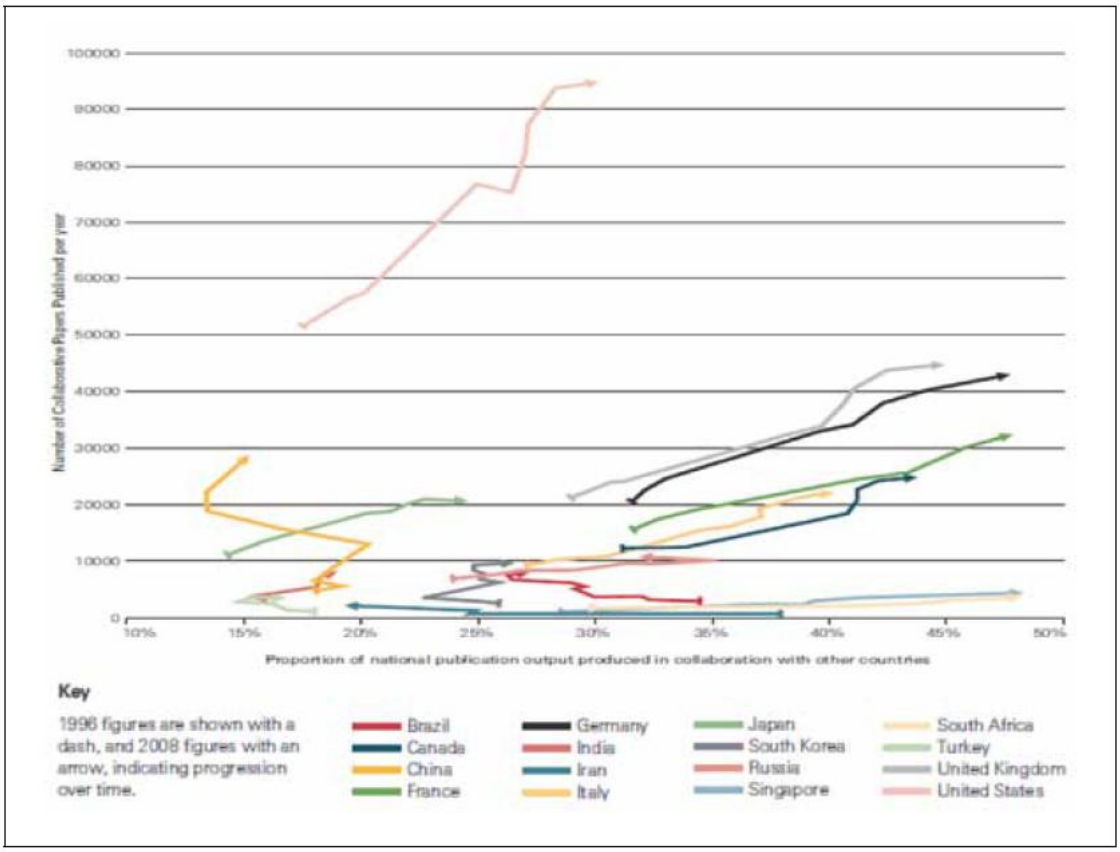
Figura 10 - Crescimento em desempenho e gap em relação à UE



Fonte: BIS (2011)

Uma característica chave desta nova polarização está no crescimento da colaboração científica internacional, facilitada por redes internacionais. Motivada pela troca de conhecimentos, técnicas e ideias científicas e liderada pelos próprios cientistas, o desenvolvimento destas redes está mudando o foco da ciência para o nível global, aumentando os benefícios da colaboração. Na figura a seguir, podemos ver a evolução da ciência Brasileira em termos de colaboração internacional e importância em termos mundiais da produção nacional.

Figura 11 - Crescimento no número de artigos e proporção em co-autoria



Fonte: BIS (2011).

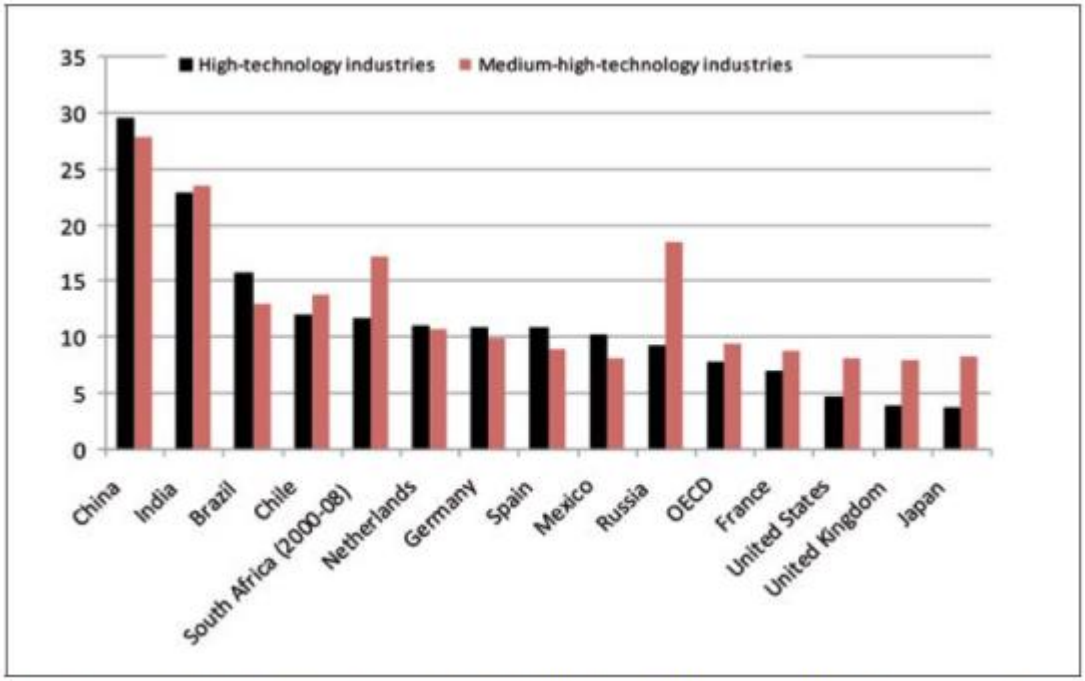
A figura acima enfatiza a posição de liderança norte-americana no que diz respeito à produção de artigos em colaboração, assim como a emergência de novos centros como a China, Índia, Brasil, Coréia do Sul, bem como uma maior conexão internacional dos centros. Um ponto a se notar é que a China conseguiu aumentar a sua produção de artigos em colaboração mais de cinco vezes ao longo do período.

A colaboração internacional não acontece apenas por meio da academia; a inovação também força cada vez mais as empresas a compartilhar os custos, buscar experiência complementar, ganhar acesso rápido a tecnologias e conhecimentos diferentes, colaborando assim em redes que se estendem por várias economias.

Além de colaboração entre as empresas, boa parte da internacionalização das inovações acontece por meio das atividades internacionais de P&D das empresas. À medida que os países emergentes passam a ser atraentes em termos de localização, as companhias também começam a investir em Pesquisa e Desenvolvimento nestes países. Mesmo que o grosso desta internacionalização ainda seja direcionada aos Estados Unidos, Japão e Europa, o crescimento da

participação de países como a China, Coréia do Sul ou Brasil ao longo dos últimos anos tem sido impressionante. Podemos notar este ponto na figura a seguir, que mostra o crescimento das exportações de manufaturas de alta tecnologia entre 1998 e 2008:

Figura 12 - Exportações de Alta e Média Tecnologia



Source: OECD (2008) The Internationalisation of Business R&D: Evidence, Impacts and Implications *(OECD: Paris)*

Fonte: BIS (2011).

Em resumo, o que temos no Brasil é um ambiente de inovação que, com base no seu tamanho e crescimento, possui elementos importantes que fazem com que seja visto como chave para algumas iniciativas de inovação. Neste sentido, ele está mais bem posicionado para lidar com a transição para a Economia do Baixo Carbono do que outros países da América Latina.

Evidentemente, até pelo próprio grau de desenvolvimento do país, o Brasil ainda apresenta importantes diferenças com relação a países desenvolvidos como, por exemplo, o caso Norte-Americano discutido no apêndice. Além disso, apesar de em alguns casos (mais notadamente a FAPESP) em que existem iniciativas em várias esferas governamentais para o desenvolvimento de ciência e tecnologia, o grau de integração entre as diferentes esferas governamentais para a inovação ainda é baixo em comparação àquele país. Justamente por isso, ainda são necessárias

medidas de política. A seguir, iremos detalhar qual seria um arcabouço de política para o setor.

8. Arcabouço de Política – Transição para uma Economia de Baixo Carbono

O desenvolvimento de um sistema de inovação adequado para a transição para uma economia de baixo carbono tem muitas implicações de política. Nesta seção iremos discutir quais seriam as motivações para política e, a seguir, ações específicas ao sistema de inovação.

De uma forma geral, falhas de mercado são as principais circunstâncias que incitam a ação de política governamental. Nesta seção iremos detalhar quatro formas específicas de falhas de mercado.

Externalidades. Este é um conceito bastante documentado na literatura sobre inovação e surgem de forma mais clara quando as características da inovação – tanto em termos de resultados quanto em termos de insumos – são tais que dificultam o estabelecimento de direitos de propriedade.

Em alguns casos, os negócios não são capazes de se apropriar dos benefícios completos resultantes dos seus investimentos, o que leva a um grau de inovação menor do que o socialmente ótimo. Neste caso, o apoio público pode ser importante para a geração de investimentos no nível socialmente ótimo. O conhecimento produzido pelas universidades e institutos de pesquisa públicos é um bem público que contribui de forma importante para os esforços nacionais de inovação. Especificamente no caso de tecnologias de baixo carbono para o setor aeronáutico, o desenvolvimento de tecnologias para a formação de querosene por meio de biomassa no IPT, discutido em seção anterior, seria um bom exemplo deste tipo de bem público. Uma ênfase especial deve ser dada à pesquisa pré-competitiva (ou seja, aquela realizada com relação nos estágios anteriores ao desenvolvimento de plantas piloto), pois esta tem um menor grau de apropriabilidade.

Outra forma de apoio público à P&D, por meio de direcionamento de créditos tributários, é utilizada em empresas prestadoras de serviços públicos e também é usada em muitos países desenvolvidos.

Note-se, todavia, que as externalidades também podem ser resolvidas por meio da criação de direitos de propriedade que podem ser negociados em novos mercados. Um exemplo deste tipo de inovação é o mercado de créditos de carbono.

O segundo dos problemas é composto pelas **assimetrias informacionais**. Tais problemas são especialmente agudos no caso de mercados financeiros. Neste caso, fornecedores de financiamento podem ter dificuldade em conseguir todas as informações sobre a inovação e as probabilidades de sucesso.

Além disso, alguns negócios, especialmente pequenas e médias empresas, podem enfrentar restrições no fornecimento de pequenos volumes de capital de risco para empreendimentos de tecnologia ou não encontrar ativos financeiros adequados para o financiamento por meio de participação acionária no início de um empreendimento. Existem muitas questões informacionais que podem impedir negócios específicos de investir em inovação, particularmente quando temos longos intervalos de tempo antes dos retornos acontecerem.

Adicionalmente, se a ação governamental for necessária para criar tais mercados ou se o governo é um grande consumidor neste mercado, a incerteza sobre a ação governamental pode levar a problemas informacionais adicionais. Isso é especialmente importante nos mercados com características de bem público tais como mercados de bens e serviços ambientais, alguns serviços de saúde e educação.

O terceiro dos problemas é a existência de **deficiências institucionais**, quando as regras existentes inibem ou previnem o investimento em inovação. Os direitos de propriedades imperfeitos ou mal definidos, padrões ou regulação, regimes de competição com elevados custos de entrada ou de mudança para novas tecnologias podem criar barreiras específicas à inovação. Além disso, ambientes inadequados de governança corporativa também podem ser especialmente daninhos à inovação.

O próximo dos problemas são as **Falhas de Coordenação**, quando o sistema de inovação não possui organização suficiente para reunir, compartilhar e analisar as informações relativas às oportunidades de inovação. Por exemplo, em muitos mercados de alta tecnologia é necessária a criação de novas parcerias envolvendo o

desenvolvedor de tecnologia e todos os elementos ao longo da cadeia de fornecimento.

Além disso, os investimentos em infraestrutura são especialmente complexos nesta dimensão, pois requerem uma combinação de instituições e organismos do setor privado e público e, do ponto de vista privado, este conjunto de instituições podem parecer fragmentado e de difícil navegação. Ações com o objetivo de incentivar a colaboração e a transferência de tecnologia entre empresas ou instituições científicas ou ainda entre instituições científicas e organizações públicas podem ter efeitos importantes sobre a inovação.

Falhas de coordenação são especialmente ruins quando se adota uma abordagem sistêmica para a inovação, quando elas são chamadas de falhas do sistema.

Estas chamadas **falhas de sistema** dificilmente são resolvidas sem a ação governamental. Um dos caminhos de política governamental mais bem sucedidos para a resolução destas falhas de sistema é por meio do fortalecimento de interdependências complexas.

O primeiro passo neste fortalecimento é a identificação dos elos pelos quais se dá esta inter-relação. Eles podem ser econômicos, envolver a transmissão de conhecimento, o uso compartilhado de infraestruturas, assim por diante. As conexões precisas não podem ser especificadas antecipadamente, e frequentemente necessitam de uma investigação empírica detalhada para ocorrer.

No entanto, os componentes do sistema precisam trabalhar de uma forma coerente (mais ou menos na mesma direção, com objetivos mais ou menos comparáveis) em direção do desenvolvimento e uso de novas tecnologias que sejam o objeto do processo de inovação. Em situações em que as instituições, infra-estruturas ou conexões entre as empresas são bem estabelecidas dentro de um ambiente tecnológico conhecido, esta coordenação pode ser relativamente fácil.

Todavia, quando uma nova tecnologia tem uma natureza disruptiva, a coordenação pode ser muito difícil. Algumas inovações, tais como as envolvidas com a transição para uma economia de baixo carbono, são radicais com respeito a procedimentos estabelecidos, capacidades de engenharia ou bases de conhecimento – elas envolvem grandes descontinuidades e choques aos sistemas existentes.

Uma abordagem importante para se resolver as falhas do sistema sugere de maneira clara que **a identificação de falhas de coordenação, o desenho de instrumentos de política para superá-las e o desenvolvimento de atores relevantes podem ser uma motivação importante para a política pública.**

Mais especificamente, uma política baseada nos pontos a seguir tem um excelente papel em termos de incentivar e assegurar o desenvolvimento de biocombustíveis:

1. Incentivar a pesquisa em novas fontes de matérias-primas e processos de refinamento das mesmas em direção a querosene aeronáutica. Esta medida é importante tendo em vista o caráter de bem público das inovações discutido anteriormente. Um cuidado adicional deve ser que este incentivo não deve ser discriminatório em termos de tecnologia. Em especial:
    a. Incentivo à criação de consórcios envolvendo mais de uma instituição de pesquisa, empresas privadas e agências governamentais para o desenvolvimento de tecnologias.
    b. Incentivo aos grupos de pesquisa existentes (tanto no setor privado quanto público).
2. Reduzir o risco percebido com os investimentos – públicos e privados – com a produção de combustíveis aeronáuticos. Note-se que neste ponto o foco é sobre o risco de investimento propriamente dito – riscos regulatórios e de demanda serão focados depois. Existem vários mecanismos para a redução de risco de investimento, desde o incentivo a parcerias de longo prazo, até mecanismos financeiros de diversificação de risco. A importância deste ponto reside na questão de falha de mercado de assimetria de informações mencionada anteriormente.
3. Fornecer incentivos para as companhias aéreas consumirem em quantidade os biocombustíveis em um momento inicial da produção – mitigando o risco de demanda associada com o investimento nesta tecnologia.
4. Trabalhar para um compromisso global de sustentabilidade internacional, enfrentando questões como as de conflito potencial entre as medidas do Protocolo de Kyoto e a Convenção de Chicago no âmbito da ICAO. Uma iniciativa importante neste sentido é envolver as instituições de pesquisa para mapear e reconhecer padrões de diferentes organismos para incentivar a

sustentabilidade no setor aéreo. Este trabalho tem por objetivo mitigar o risco regulatório associado com o investimento nesta tecnologia.

5. Estabelecer coalizões englobando todas as partes da cadeia de suprimentos do setor. Esta medida tem por objetivo mitigar os riscos associados com o suprimento de matérias-primas, considerando o problema potencial de biomassa de cana-de-açúcar mencionado anteriormente.

Em termos de apostas tecnológicas, é natural que o Brasil aproveite esta vantagem na produção de biocombustíveis. Ou seja, em termos de tecnologias disruptivas, este seria mais importante do que investimentos em desenhos alternativos de turbinas aeronáuticas, por exemplo. No entanto, a transição da tecnologia para o fornecimento em larga escala ainda possui alguns pontos obscuros – como, por exemplo, qual seria a fonte de biomassa a ser utilizada. Desta forma, uma política que evitasse a escolha de tecnologias específicas, privilegiando algumas tecnologias em detrimento de outras, seria desejável.

Em termos de objetivos desejáveis para o Brasil, podemos elencar os seguintes:

- Criação de uma indústria nacional de biocombustíveis aeronáuticos, importante para o uso no transporte aéreo nacional e internacional.
- Manutenção da importância da EMBRAER no mercado em que ela se encontra
- Aumento no transporte aéreo com a incorporação das classes C e D com um aumento pequeno de CO2

9. Bibliografia

ACARE, Strategic Research Agenda 1-Volume 2, Section 3. "The Challenge of the Environment," ACARE Report, October 2002. Disponível em: http://www.acare4europe.org/docs/es volume1-2/volume2-03-environment.pdf

Advisory Council for Aeronautical Research in Europe, **"European Aeronautics – A Vision for 2020",** Janeiro, 2001, disponível em http://ec.europa.eu/research/growth/aeronautics2020/pdf/aeronautics2020_en.pdf (acesso em 29/07/2012)

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL Estudo prospectivo areonáutico: relatório geral. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, - Brasília: Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2009. Série Cadernos da indústria ABDI, v.XII.

_____ A Indústria de Private Equity e Venture Capital – 2º Censo Brasileiro. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, - Brasília: Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2009b. 420pp

Allen, David T., Murphy, C., Rosselot, K. S., Watson, S., Miller, J., Ingham, J. e Corbett, W. "**Characterizing the Greenhouse Gas Footprints of Aviation Fuels from Fischer-Tropsch Processing"**, Relatório Final University of Dayton Research Institute - Agreement No. RSC09006- Account No. 2919890002 - Prime Agreement No. F33615-03-2-2347 awarded to The University of Texas at Austin, Center for Energy and Environmental Resources. Disponível em http://www.utexas.edu/research/ceer/biofuel/pdf/UDRI_FT_GHG_Final_Report_Jan_25_2010.pdf (Acessado em 29/7/2012).

BERNARDES, R. e CATHARINO, M **Relatório Setorial – Avaliação do Fundo Setorial para o Setor Aeronáutico** (CT Aero). 2010.

BIS – DEPARTMENT FOR BUSINESS INOVATION & SKILLS (2011) **Innovation and Research Strategy for Growth**. BIS Economics Papers nº 15.

BITTENCOURT, P.F., RAPINI, M. S., BRITTO, J. N. P., PÓVOA, L.M.C.,e ANTUNES, P.C.(2008) **Patterns of Universities-Firms Interaction in Brazil in four industrial sectors.** Paper presented at the VI Globelics Conference.

CASSIOLATO, J. E., BERNARDES, R. e LASTRES, H. (2002) **Transfer of technology for Successful Integration into the Global Economy: A case study of Embraer in Brazil.** UNCTAD/ITE/IPC/Misc. 20.

CGEE (2010) **Biocombustiveis aeronauticos: progressos e desafios** – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

CHARLES RIVER ASSOCIATES **Innovation in Aerospace and Defense.** Disponível em http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.crai.com%2FuploadedFiles%2FPublications%2Finnovation-in-aerospace-and-defense.pdf&ei=KQaGT_K4JtGhtweG7ZHRBw&usg=AFQjCNHrW37Go3XJMz7YB4aQD_2XMkB4WQ

Clearwater Corporate Finance LLP **"Aerospace Global Report 2011"** Disponível em http://www.imap.com/imap/media/resources/Aerospace_8_1FED752787A1E.pdf

Davenport, T. (1993) ***Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*****,** Harvard Business School Press, Boston

FAA **Aerospace Forecasts 2011-2031**. Disponível em http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/aviation_forecasts/aerospace_forecasts/2011-2031/

GOUVELLO, C. Setor de Transportes: Cenários de Referência e de Baixo Carbono. In: CHRISTOPHE DE GOUVELLO. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil.** Washington: Banco Mundial, 2010. Cap. 5, p. 110-132.

Lee, J. J., Lukachko, S. P., Waitz, I. A., and Schafer, A., "Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost and Emissions," **Annual Review of Energy and the Environment**, Volume 26, 2001.

IBGE. **Pesquisa de Inovação Tecnológica:** 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

ICAO, **ICAO ENVIRONMENT REPORT 2010.** Disponível online em: http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/EnvReport10.aspx

ICAO (2010) **"Achieving Climate Change Goals for International Aviation"** (Apresentação disponível em http://www.icao.int/Newsroom/Presentation%20Slides/Achieving%20Climate%20Change%20Goals%20for%20International%20Aviation.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change, **"Special Report on Aviation and the Global Atmosphere"**, edited by J.E. Penner, D.H. Lister, D.J. Griggs, D.J. Dokken, and M. McFarland, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1999

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION:** HIGHLIGHTS. Paris, 2011.

King, N. and Anderson, N. (2002), ***Managing Innovation and Change: A Critical Guide for Organizations (2nd Ed)***, Thomson, London.

McCollum, David L, Gould, Gregory and Greene, David L, (2010), **Greenhouse Gas Emissions from Aviation and Marine Transportation: Mitigation Potential and Policies,** Institute of Transportation Studies, Working Paper Series, Institute of Transportation Studies, UC Davis.

Moshe Givoni & Piet Rietveld, 2006. **"Choice of Aircraft Size - Explanations and Implications"**, Tinbergen Institute Discussion Papers 06-113/3, Tinbergen Institute.

Mowery, David. (1987) Alliance Politics and Economics: Multinational Joint Ventures in Commercial Aircraft.

MONTORO, GCF e MIGON,MN (2009) **Cadeia produtiva aeronáutica brasileira: oportunidades e desafios**, 552p. Rio de Janeiro: BNDES, 2009.

Neiva Embraer, 2008, **"Aeronave Ipanema - Vantagens do Motor a Álcool"**, disponível em: http://www.aeroneiva.com.br/pt-BR/Aeronave-Ipanema/Vantagens/Paginas/Conheca-as-Vantagens.aspx, acessado em 29/07/2012.

OLIVEIRA LIMA, Jorge Cláudio Cavalcante de et al. **A CADEIA AERONÁUTICA BRASILEIRA E O DESAFIO DA INOVAÇÃO.**Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2103.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2005.

PISANO, G., & SHIH, W. **Restoring American competitiveness**. Harvard Business Review, 87, 3–14, 2009.

PRITCHARD, D. e MACPHERSON, A. Outsourcing US commercial aircraft technology and innovation: implications for the industry's long term design and build capability. CANADA – UNITED STATES TRADE CENTER OCCASIONAL PAPER NO. 29. 2004.

PLATZER, M. D. **"U. S. Aerospace Manufacturing: Industry Overview and Prospects" CRS Reports for Congress**, Disponível em http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R40967.pdf

Royal Commission on Environmental Pollution, "**The Environmental Effects of Civil Aircraft in Flight"**, Londres, Reino Unido, 2002, disponível em http://www.aef.org.uk/uploads/RCEP_Env__Effects_of_Aircraft__in__Flight_1.pdf (acesso em (29/07/2012)

REDE DE TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO. P&D e Inovação para Micro e Pequenas Empresas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CGMQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.redetec.org.br%2Fpublique%2Ftemplates%2Fhtm%2Fredetec%2Fimg%2Flivro_pd.pdf&ei=u-qjT_b-J4SE8ATdv_23CQ&usg=AFQjCNFjJuAaDB-CRHVhcsH8sUCqF0N5dg . 2009.

ROMERO, J.M. The development of Aerospace Clusters in Mexico. Globelics Working Paper Series nº 2010-03.

Skone, Timothy J., and Kristin Gerdes. **"Development of Baseline Data and Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Petroleum-Based Fuels."** *US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Office of Systems, Analysis and Planning.* November 26, 2008. http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/NETL%20LCA%20Petroleum-Based%20Fuels%20Nov%202008.pdf (Acesso em 29/07/2012).

SWAFEA (2011) **Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy in Aviation – Final Report.** Disponível em http://www.swafea.eu/LinkClick.aspx?fileticket=llISmYPFNxY%3d&tabid=77 (Acessado em 29/7/2012)

US Department of Commerce – International Trade Administration **"The U.S. Jet Transport Industry Competition, Regulation, and Global Market Factors Affecting U.S. Producers"**. Disponível em http://trade.gov/static/aero_rpt_jet_transport.pdf

U.S. EPA, " Evaluation of Air Pollutant Emissions from **Subsonic Commercial Jet Aircraft, Final Report,**" Engine Programs and Compliance Division, Office

of Mobile Sources, Ann Arbor, MI, elaborado para EPA por ICF Consulting Group, Abril 1999, EPA-420-R-99-013.

USITC **"Competitive Assessment of the U. S. Large Civil Aircraft Aerostructures Industry".** Disponível em http://www.usitc.gov/publications/332/PUB3433.PDF

USITC **"The Changing Structure of the Global Large Civil Aircraft Industry and Market: Implications for the Competitiveness of the U. S. Industry"** Disponível em http://www.usitc.gov/publications/332/pub3143.pdf

Weitz, I., Townsend, J.,Cutcher-Gershenfield, J., Greitzer, E. e Kerrebrock, J. (2004) ***Aviation and the Environment: A National Vision.*** **Report to the United States Congress.** Disponível em http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/congrept_aviation_envirn.pdf (Acesso em 29/07/2012).

Apêndice 1: Questionário - Setor Aeronáutico

O presente questionário tem por objetivo coletar apreciações por parte de participantes da indústria das tecnologias detalhadas na seção 4 do relatório, assim como ter uma idéia sobre o timing destas inovações.

A fim de avaliar as perspectivas para o setor aeronáutico brasileiro em relação às tecnológicas de baixo carbono no curto, médio e longo prazo. Foi elaborado um questionário com 23 perguntas sobre as principais inovações tecnológicas do setor. As perguntas consideram temas que se mostraram pertinentes ao longo da pesquisa e que representam as principais inovações dentro de um contexto de economia do baixo carbono. O questionário foi enviado a diversos representantes do setor, captando a visão das companhias aéreas comerciais (TAM e Gol), das companhias aéreas de carga (Total Cargo) e de fabricantes de aeronaves (EMBRAER).

Linha de desenvolvimento da aeronáutica

No curto prazo, os participantes não esperam grande inovações no desenvolvimento de aeronaves com relação às tecnologias de baixo carbono. A maioria das respostas apontou para o aumento da eficiência energética, e no uso de matérias mais leves e melhoria aerodinâmica dos aviões. No médio prazo, os entrevistados esperam um aprimoramento dos motores e na sua adaptação para o uso de biocombustíveis, o que reduziria as emissões. No longo prazo, eles acreditam que os biocombustíveis serão competitivos e vão ganhar espaço dos combustíveis fosseis.

Dentre as linhas desenvolvimento tecnológico para o setor aeronáutico, foram consideradas prioritárias a mudança nas matérias primas utilizadas, o investimento em tecnologias que tornem o processo produtivo mais eficiente do ponto de vista energético e a ampliação da reciclagem de matérias e a posterior utilização de resíduos.

Outro ponto levantado pelos entrevistados foi a falta de investimento em centros de pesquisas privados ou governamentais para desenvolver novas tecnologias no país. Dentre as medidas que o governo pode tomar para fomentar a economia de baixo carbono, foi citado o investimento em educação de modo a aumentar o número de pesquisadores e o incentivar a pesquisa pura e aplicada.

Possíveis medidas de políticas que tem o objetivo de reduzir a emissão de carbono

No questionário, os entrevistados puderam escolher entre três políticas para redução da emissão de carbono que achassem importantes considerando o impacto da medida e a probabilidade destas serem levadas a cabo, as medidas são: Maior eficiência na gestão de rotas aeronáuticas, maior eficiência na gestão de aeronaves em solo e maior eficiência nos pousos/decolagens.

No curto prazo os entrevistados apontaram a maior eficiência na gestão de rotas aeronáuticas como uma política viável para mitigar os impactos das emissões. A médio e longo prazo foram apontadas a melhora na gestão de aeronaves em solo e maior eficiência nos pousos e decolagens.

Viabilidade dos combustíveis sintéticos.

Os entrevistados acreditam que essa tecnologia conseguirá contribuir para a redução da emissão de poluentes, porém será viável apenas no longo prazo. Dentre os fatores apontados para a dificuldade da difusão desse tipo de combustível estão o seu alto custo e as modificações que precisam ser feitas nas aeronaves para que elas estejam adaptadas a esse novo combustível.

Viabilidade dos biocombustíveis.

O biocombustível é visto como uma tecnologia viável e que representa uma boa oportunidade para o país. Esse combustível já foi colocado em testes pelas companhias aeras que inclusive estão utilizando em voos regulares. Esse combustível enfrenta algumas barreiras para sua difusão no Brasil como o alto custo decorrente da cadeia produtiva ser mais extensa do que a de combustíveis fosseis, além da falta de regulamentação por parte da ANP para o uso de biocombustíveis em aeronaves.

Viabilidade dos novos desenhos de turbinas.

Novos desenhos de turbinas que buscam reduzir a emissões de carbono estão em desenvolvimento nas fabricantes de aviões. Algumas dessas tecnologias já estão em nível de protótipo como “Geared *Turbofans*” e a “*Advanced Direct Drive Turbofans*” e devem estar disponíveis no curto prazo. Outras como a “*Open Rotor Turbofans*” ainda estão no estágio de bancada e não possuem ainda um protótipo, só vai estar disponível á médio prazo. A seguir, temos o instrumento de pesquisa propriamente dito:

Instrumento de Pesquisa

Bom dia, meu nome é Claudio Ribeiro de Lucinda, e estou trabalhando em uma pesquisa conjunta da Universidade de São Paulo e do BNDES acerca da Economia do Baixo Carbono. Dentro desta pesquisa, é especialmente importante conversar com profissionais dos setores automotivo e aeronáutico de forma a conseguir impressões da indústria e da academia sobre as perspectivas tecnológicas e de política nos respectivos setores. Esta é a principal razão pela qual estamos realizando esta entrevista. Gostaria de fazer algumas perguntas.

1) Em primeiro lugar, gostaria de saber um pouco mais de você. Qual é a sua presente posição profissional e há quanto tempo trabalha na área?
2) Quais, em sua opinião, são as principais linhas pelas quais a tecnologia AERONÁUTICA irá se desenvolver nos próximos 3 anos no sentido de redução de emissões de carbono?
3) Quais, em sua opinião, são as principais linhas pelas quais a tecnologia AERONÁUTICA irá se desenvolver nos próximos 10 anos no sentido de redução de emissões de carbono?
4) Quais, em sua opinião, são as principais linhas pelas quais a tecnologia AERONÁUTICA irá se desenvolver nos próximos 35 anos no sentido de redução de emissões de carbono?
5) A seguir, temos uma lista de possíveis medidas de política que tem o objetivo de reduzir a emissão de carbono. Qual destas você acredita que sejam mais importantes para a redução do carbono nos próximos 3 anos? (Considere os impactos da medida e a probabilidade desta medida ser levada a cabo).
    a. Maior Eficiência na Gestão de Rotas Aeronáuticas
    b. Maior Eficiência na Gestão de Aeronaves em Solo
    c. Maior Eficiência nos Pousos/Decolagens
6) A seguir, temos uma lista de possíveis medidas de política que tem o objetivo de reduzir a emissão de carbono. Qual destas você acredita que sejam mais importantes para a redução do carbono nos próximos 10 anos? (Considere os impactos da medida e a probabilidade desta medida ser levada a cabo).
    a. Maior Eficiência na Gestão de Rotas Aeronáuticas
    b. Maior Eficiência na Gestão de Aeronaves em Solo
    c. Maior Eficiência nos Pousos/Decolagens

7) A seguir, temos uma lista de possíveis medidas de política que tem o objetivo de reduzir a emissão de carbono. Qual destas você acredita que sejam mais importantes para a redução do carbono nos próximos 35 anos? (Considere os impactos da medida e a probabilidade desta medida ser levada a cabo).
    a. Maior Eficiência na Gestão de Rotas Aeronáuticas
    b. Maior Eficiência na Gestão de Aeronaves em Solo
    c. Maior Eficiência nos Pousos/Decolagens
8) Dentre as possíveis trajetórias tecnológicas para a redução de carbono, uma opção muito mencionada na literatura é a de Combustíveis Sintéticos. Qual sua opinião sobre a viabilidade desta tecnologia? O que limitaria sua difusão? O que a incentivaria?
9) De zero a dez – sendo dez "extremamente provável" e zero "muito improvável" – qual seria sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Sintéticos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2015?
10) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Sintéticos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2022?
11) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Sintéticos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2050?
12) Dentre as possíveis trajetórias tecnológicas para a redução de carbono, uma opção muito mencionada na literatura é a de Combustíveis Bio-Orgânicos. Qual sua opinião sobre a viabilidade desta tecnologia? O que limitaria sua difusão? O que a incentivaria?
13) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Bio-Orgânicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2015?
14) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Bio-Orgânicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2022?
15) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Bio-Orgânicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2050?
16) Dentre as possíveis trajetórias tecnológicas para a redução de carbono, uma opção muito mencionada na literatura é a de Combustíveis Criogênicos[31]. Qual sua opinião sobre a viabilidade desta tecnologia? O que limitaria sua difusão? O que a incentivaria?

[31] Por exemplo, Gás Natural e Combustíveis Sólidos para Foguetes.

17) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Criogênicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2015?
18) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Criogênicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2022?
19) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Combustíveis Criogênicos serem importantes na redução de emissões de carbono em 2050?
20) Dentre as possíveis trajetórias tecnológicas para a redução de carbono, uma opção muito mencionada na literatura é a de Novos Desenhos de Turbinas[32]. Qual sua opinião sobre a viabilidade desta tecnologia? O que limitaria sua difusão? O que a incentivaria?
21) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Novos Desenhos de Turbinas serem importantes na redução de emissões de carbono em 2015?
22) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Novos Desenhos de Turbinas serem importantes na redução de emissões de carbono em 2022?
23) De zero a dez, qual é sua nota sobre a possibilidade de Novos Desenhos de Turbinas serem importantes na redução de emissões de carbono em 2050?

[32] Como por exemplo, a GENx da GE e a linha PurePower® Pratt & Whitney.

Apêndice 2: O Sistema de Inovação Norte-Americano

O tamanho do mercado norte-americano fornece uma grande vantagem ao sistema de inovação daquele país, pois permite que os negócios inovadores daquele país floresçam, entregando elevados retornos a partir de inovações de marketing ou de tecnologia. Mas é de se notar que o governo daquele país tem um papel chave em modelar o processo de inovação.

Durante a guerra fria, observou-se um grande nível de investimento por parte do Governo Federal americano em apoio de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento em indústrias e universidades, especialmente nas áreas relacionadas à defesa, ciências da vida e energia. Com isto, ele forneceu um forte impulso ao desenvolvimento de novas tecnologias no setor aeroespacial, TI e software. Estes desenvolvimentos acabaram catalisando o investimento privado para o desenvolvimento de tecnologias com aplicações comerciais.

A DARPA – *Defence Advanced Research Projects Agency*, criada em 1958, foi importante no fortaleimento destes spillovers por meio do desenvolvimento de iniciativas tecnológicas, fornecendo financiamentos, capacidades e técnicas de gestão às empresas, além de fornecer um trabalho de intermediação entre a universidade, negócios e o setor público. O orçamento desta agência é de USD 3 bilhões/ano e financia apenas iniciativas desafiadoras nas áreas de ciências da vida, ciências físicas e engenharia.

O financiamento de pesquisa fornecido pelo governo federal norte-americano é distribuído por vários ministérios (chamados de departamentos), tais como o Departamento de Defesa, de Energia, além das agências como a *National Science Foundation* e os *National Institutes of Health* (NIH). Este último conta com um orçamento anual de USD 32 bilhões e é a maior destas agências.

Em termos de incentivo às empresas, temos o *Small Business Investment Company Program* (SBIC), que foi criado pela agência *Small Business Administration* para cobrir a distância entre as necessidades de capital dos empreendedores e fontes tradicionais de financiamento. O programa investe capital de longo prazo em empresas de capital fechado e geridas pelos donos.

Nas últimas décadas, o governo norte-americano começou a lançar programas mais descentralizados, envolvendo mais de um órgão da administração daquele país. Tais programas tem por objetivo fortalecer as capacidades civis por meio do subsídio e promoção de pesquisa conjunta, encorajando a colaboração entre as universidades norte-americanas e a indústria.

No final da década de 80 do século passado, programas como o *National Center for Manufacturing Sciences* (NCMS), o consórcio de semicondutores SEMATECH, o programa *Advanced Technology Program* (ATP) do Departamento de Comércio e os Centros de Pesquisa em Engenharia da NSF representavam uma nova política de tecnologia e dependiam de financiamento expandido do setor privado.

O SBIR – *Small Business Innovation Research Program* exigia que os departamentos e agências com orçamento de compras muito grandes utilizassem 2,5% dos seus gastos de pesquisa para apoiar iniciativas de pequenas empresas. Os recursos deste projeto totalizam por volta de USD 2 bilhões/ano e são complementados por iniciativas similares em termos estaduais.

Atualmente, o sistema de inovação norte-americano possui algumas características marcantes:

1. Integração dos sistemas de inovação entre os diferentes departamentos de governo. Isto inclui mecanismo de apoio para a pesquisa e trabalho de prova de conceito, assim como apoio para o desenvolvimento de produto e organizações públicas agindo como um consumidor importante para produtos e serviços inovadores.
2. Financiamento público para a realização de pesquisa de longo prazo inovadora, juntamente com as universidades e empresas. Tais programas tiveram um papel importante no desenvolvimento e comercialização de grandes inovações, como as telecomunicações e a internet. Um caminho para o aumento do financiamento destes programas é por meio de colaborações internacionais.
3. Uma base de pesquisa excepcionalmente forte, por meio do apoio de agências federais e ministérios, tais como o Departamento de Energia e o NIH, que fornecem um caminho para se chegar em um produto

comercializável e ajudam a reduzir o risco de inovação, fornecendo um grande incentivo para que as universidades comercializem inovações.

4. Uma base grande de companhias que são investidoras em P&D e em formas mais amplas de inovação, desde empresas de TI como a IBM, Microsoft e a Cisco, assim como empresas aeroespaciais e de defesa como a Boeing. Grandes companhias em setores que não necessariamente são de tecnologia também são grandes consumidores de produtos inovadores, como a Wal-Mart, cujos investimentos em gestão de cadeia de suprimentos e logística afetaram bastante o crescimento da produtividade norte-americana.
5. Uma grande tolerância ao fracasso empresarial e uma cultura empreendedora dinâmica, ligada a clusters fortes. A combinação de capital de risco disponível, investidores anho e outras formas de investimento público e privado combinado com programas de *mentoring*, facilitam novos negócios e crescimento rápido em setores de alta tecnologia. O papel importante de novos e pequenos negócios na comercialização de inovações parece ser único entre as maiores economias
6. Um programa bem sucedido de financiamento para pequenas empresas (SBIC). Para cada dólar que uma empresa cadastrada neste programa levanta por um investidor privado, o governo fornece dois dólares de financiamento (dívida), até um limite de USD 150 mi. Isto atraiu cerca de 840 milhões de dólares em capital privado nos anos de 2010 e 2011. Desde o seu início, o programa SBIC ajudou a financiar milhares de pequenos negócios, incluindo a Costco, Amgen, Staples, Apple, AOL, FedEx, Intel, etc.