ESTIMATIVAS DOS CUSTOS DAS EMISSÕES DE CO_2 PROVENIENTE DO TRANSPORTE AÉREO: ESTUDO DE CASO DAS ROTAS ENTRE OS ESTADOS DO RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO

Rafael de Araújo Almeida
Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), Brasil
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-903, São José dos Campos, SP.
raaralmeida@gmail.com

Marcelo Carvalho Cabral de Vasconcellos
Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Brasil
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP.
marceloccv@gmail.com

Rogéria de Arantes Gomes Eller
Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Brasil
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP.
rogeria@ita.br

RESUMO

A aviação é responsável por, aproximadamente, 3% do consumo de combustível fóssil e 12% da emissão de CO2 relacionados com transporte. Por isso a preocupação com as emissões de poluentes são atuais e motivam ações no sentido de reduzir ou compensar a emissão de gases na atmosfera, sendo que o sistema de crédito de carbono é uma delas. A fim de permitir a estimativa do custo das emissões de carbono o trabalho propôs uma metodologia que considerasse, no cálculo de consumo de combustível, procedimentos de saída e chegada, rotas, horário do movimento, densidade do tráfego, modelo de aeronave e ações do ATC. A metodologia foi aplicada ao trecho Rio-São Paulo, onde foi possível identificar que em horários de pico o consumo médio chega a ser até 15% superior a horários fora do pico, e o total de emissões para um dia de operações resultaria em um custo de US$ 17,897.00.

Palavras-chave: emissão de carbono; consumo de combustível; trecho Rio-São Paulo; externalidade.

1. INTRODUÇÃO

A aviação é responsável por, aproximadamente, 3% do consumo de combustível fóssil e 12% da emissão de CO2 relacionados com transporte (Simone, Stettler, & Barrett, 2013), enquanto Simões e Schaffer (2005) afirmam que 3,5% das emissões mundiais de gás carbônico são provenientes do transporte aéreo. Dessa forma, aumenta-se a importância dada aos impactos ambientais decorrentes desse setor. A emissão de poluentes e os ruídos proporcionados pela operação das aeronaves são os principais impactos gerados pela aviação, no entanto a dispersão das emissões pode causar impactos globais e não apenas locais.

Outros estudos também apontam a relação entre as emissões atmosféricas com problemas sociais, como problemas de respiratórios. Williams (2002) apontou que a redução nas emissões poderia aumentar a qualidade de vida da população, podendo, inclusive, aumentar a produtividade das empresas devido a menor ausência de funcionários ocasionada por problemas de saúde.

Os impactos ambiental e social gerados pelo setor aéreo na sociedade e que não é custeado pelo setor é denominado, em Teoria Econômica, de "externalidade", ou seja, um subproduto de um bem ou atividade que afeta alguém não imediatamente envolvido na transação. Para minimizar os custos desse subproduto à sociedade é necessário criar tarifas sobre o subproduto, tal como a proposta do sistema de crédito de carbono, que visa quantificar monetariamente o carbono emitido.

Existe um custo de emissões de poluentes, que é um custo de poluentes para o usuário (custo interno) mais o custo de poluentes para toda a população causado por esse usuário (custo externo), ou seja, um usuário gera um aumento de poluentes na atmosfera, que afeta cada indivíduo da sociedade. Para minimizar essa externalidade aplica-se uma tarifa para forçar os usuários a sentir este componente, ou seja, "internalizar" o custo externo de poluição gerado pelo usuário.

A aplicação de taxas sobre o transporte aéreo proveniente da emissão de poluentes pode, no entanto, impactar na rentabilidade e lucro das companhias aéreas. O aumento nos preços das passagens, em caso de transferir as taxas para os passageiros, poderia acarretar numa redução na demanda e, consequentemente, aumentar a emissão por passageiro, além de reduzir a receitas das empresas (Kwan & Rutherford, 2015). Caso contrário, se a empresa se responsabilizar por esses custos, o lucro poderá diminuir, podendo gerar impactos financeiros nas empresas.

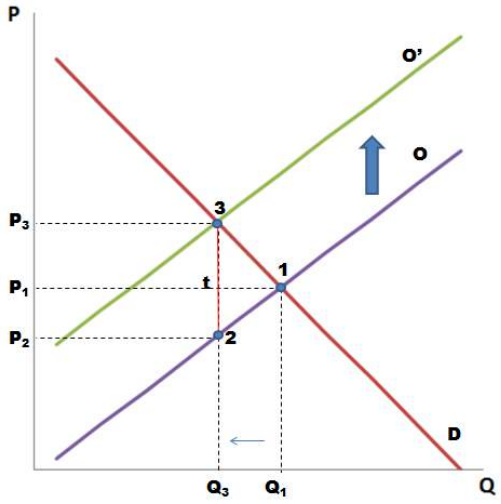


Figura 1: Efeito da tarifa sobre produtores ou oferta de um determinado bem. Fonte: (Almeida & Oliveira, 2013)

A Figura 1 indica o efeito dessa cobrança sobre produtores ou oferta de um determinado bem. A curva de oferta, representada pela letra "O", indica o custo marginal privado, ou seja, sem nenhum custo adicional por externalidades. Desconsiderando a externalidade o equilíbrio seria o ponto "1" com a quantidade Q1 ao preço P1, mas como há a curva de custo marginal social (O), que inclui os custos de externalidade, o ponto "1" torna-se ineficiente pois há excesso de oferta. Pode-se

corrigir a ineficiência devido à externalidade negativa através da tarifa (t), que é igual à diferença entre o custo marginal social e o custo marginal privado. Quando o imposto é aplicado desloca-se a curva de oferta para esquerda. Com esse cenário, o novo ponto de equilíbrio é "3" com a quantidade Q3 ao custo P3, onde a quantidade é menor e o preço é maior do que a situação antes do imposto.

A fim de valorar a emissão de carbono é necessário obter o consumo de combustível, que está diretamente relacionável com aquele. Por isso, muitos estudos são realizados com o objetivo de calcular o consumo de combustível, apesar de não levarem em consideração os procedimentos exatos de saída e aproximação dos aeroportos, nem as rotas utilizadas pelas aeronaves, como, por exemplo: a calculadora de emissões de carbono da *International Civil Aviation Organization* – ICAO (ICAO), o inventário do código de emissões da aviação (Simone, Stettler, & Barrett, 2013) e uma proposta de nova calculadora de emissões de carbono (Souza, 2010).

Em vista da carência desse tipo de avaliação, este estudo propõe-se analisar o consumo de combustível nos trechos que ligam os principais aeroportos do Estado do Rio de Janeiro e de São Paulo, dado que apresenta o "*city pair*" (par origem-destino) mais movimentado da América Latina e do Caribe (ALTA, 2016). Na presente análise foi observado o comportamento devido aos aeroportos em questão, seu tráfego e o horário do movimento, estimando assim o sistema de crédito de carbono. Para tal estudo foi utilizado o simulador em tempo acelerado *Total Airspace and Airport Modeler* (TAAM).

Além dos procedimentos padrões de cada saída (*Standard Instrument Departure* – SID) e chegada (*Standard Terminal Arrival* – STAR) de cada aeroporto, existem outros fatores, tais como horário, aeroporto e aeronave, que também não são analisados pelos estudos citados.

Este artigo é divido em cinco seções: a primeira introduziu o problema abordado no trabalho e a proposta da pesquisa; a segunda seção apresenta uma breve contextualização da área estudada. A terceira seção aborda a metodologia adotada nesta análise; a quarta, por sua vez, traz os resultados e as análises obtidos por meio de simulações. Por fim, a quinta seção apresenta as principais conclusões e contribuições do artigo para o problema apresentado.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

O trecho Rio-São Paulo foi escolhido por ser o trecho mais movimentado da América Latina e do Caribe, com cerca de 14 milhões de assentos oferecidos em 2015 (ALTA, 2016). Os aeroportos utilizados durante o estudo foram: Aeroporto de São Paulo/Congonhas (SBSP), Aeroporto Internacional de Guarulhos – Governador André Franco Montoro (SBGR), Aeroporto Internacional de Campinas - Viracopos (SBKP), Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão – Antônio Carlos Jobim (SBGL) e Aeroporto do Rio de Janeiro -Santos Dumont (SBRJ). Esses aeroportos estão entre os 6 mais representativos em termos de movimento de aeronaves, tendo, apenas em 2015, mais de 930.000 movimentos (DECEA, 2016).

A Tabela 1 apresenta a distância em quilômetros dos *city pairs* do trecho Rio-São Paulo, a primeira coluna apresenta os 2 principais aeroportos do Rio de Janeiro (SBGL – Galeão e SBRJ – Santos Dumont) e a primeira linha apresenta os 3 principais de São Paulo (SBGR – Guarulhos, SBSP – Congonhas e SBKP – Campinas). O *city pair* é representado por um aeroporto da 1ª coluna e outro da 1ª linha e vice-versa, por exemplo o par SBRJ – SBSP possui 366 km de distância. Verifica-se ainda que a média entre as distâncias é de 369 km. Essa distância é calculada através da trigonometria esférica.

Tabela 1: Distância entre city pairs em km

	SBGR	**SBSP**	**SBKP**
SBGL	337	360	399
SBRJ	344	366	407

A Tabela 2 traz os dados demográficos das cidades onde os aeroportos estão localizados. São Paulo é a cidade de maior população com, aproximadamente, 12,0 milhões de habitantes. Em segundo lugar está o Rio de Janeiro com, aproximadamente, 6,5 milhões de habitantes.

Tabela 2: Características demográficas das cidades. Fonte: (IBGE)

Cidade	Área (km²)	População (000)
São Paulo	1.521	12.038
Guarulhos	318	1.337
Campinas	794	1.173
Rio de Janeiro	1.200	6.498

A quantidade de voos realizados nos 5 aeroportos em um dia é de 2.557 movimentos, na média (DECEA, 2016). Dentre tais movimentos estão inclusos todos os voos que ocorreram no dia, com tanto que um desses aeródromos esteja entre o par origem-destino. Mais especificamente o trecho Rio-São Paulo apresentam 10,5%, aproximadamente, sobre o total de todos os voos desses aeroportos, ou seja, 268 movimentos na ponte aérea Rio-São Paulo por dia, em média.

De acordo com a Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo (SIGLA), entre os anos de 2006 e 2015 o consumo de querosene de aviação (QAV) no estado de São Paulo aumentou de 2 milhões de m³ para 3 milhões de m³, ou seja, um aumento de 50% de nesse período. Esse dado colabora para destacar a necessidade de análise do impacto ambiental gerado pelo setor de transporte aéreo.

Em vista desse cenário e a proposta de quantificar o impacto proveniente das emissões de poluentes, a teoria econômica denomina de "externalidade" a ação econômica que tem por finalidade cobrar dos usuários o custo real de viagem que eles geram, ou seja, um subproduto de um bem ou atividade que afeta alguém não imediatamente envolvido na transação.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de amenizar ou compensar o impacto das emissões atmosféricas geradas pelo setor aéreo, estão sendo estudadas e criadas diferentes metodologias para a quantificação desses poluentes como uma forma de taxação ambiental, como por exemplo, a cobrança da taxa de carbono (European Commission). Um dos métodos utilizados para calcular o valor da taxa de carbono, ou sistema de crédito de carbono, inclusive com cotação de permissão de emissão, é amplamente utilizada na União Europeia.

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) o custo social de carbono obtido por diferentes estudos totalizou US$ 43 por tonelada de carbono, ou, de acordo com a formação molecular do Dióxido de Carbono (CO_2), onde 27,27% da massa é proveniente do átomo de carbono, o custo por tonelada de CO_2 é de US$ 11. Dessa forma, no presente estudo será utilizado esse valor para quantificar o valor das emissões no trecho entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

Dessa forma, para calcular essa tarifa é necessário estimar o consumo de combustível da aviação, que, por sua vez, apresenta diversos fatores que estão relacionados, como, por exemplo:

- Procedimentos de pouso e decolagem de cada aeroporto – os procedimentos de SID e STAR impactam diretamente o consumo de combustível de maneiras diferentes para cada aeroporto, devido a restrições que a aeronave deve cumprir assim como a distância do procedimento;
- Aeroporto – o aeroporto interfere devido sua capacidade, de maneira geral, além do perfil de operações no aeródromo durante um dia;
- Aeronave e motor – cada aeronave e motor possuem um perfil de desempenho e, consequentemente, diferentes tipos de consumo;

- Ações de controle – essas ações são afetadas devido a circulação geral de aeronaves no espaço aéreo num dado momento, por exemplo, em caso de um elevado fluxo para um mesmo aeródromo faz-se necessário ações de sequenciamento (esperas, redução, vetoração, etc). Essas ações alteram o tempo de voo e, por conseguinte, o consumo. Logo em hora de pico do aeroporto é esperado um consumo maior para as aeronaves programadas para aquele horário.
- Rotas – a rota utilizada é relevante pois a distância voada é diferente daquela entre o simples cálculo de distância entre aeroportos. A aeronave utiliza aerovias, que não são necessariamente linhas retas até o destino, podendo depender ainda da tecnologia embarcada de cada equipamento.

É importante destacar que dentre os fatores não abordados com detalhes ou considerados nesse estudo, temos o o *load factor* (taxa de ocupação de aeronave), direção e intensidade do vento e configuração de solo de cada aeroporto.

3.1. Simulação

A fim de realizar estudos por meio de ferramentas de simulações é necessário, primeiramente, obter, analisar e tratar dados confiáveis. É importante verificar se os dados que serão utilizados no modelo são consistentes. Dessa forma, forma obtidos informações em órgãos oficiais, juntamente com o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), sobre os horários de voo, disponibilizados através do TATIC, obtido a partir das anotações das torres de controle dos aeroportos estudados.

A ferramenta utilizada para realizar as simulações e obter as estimativas de queima de combustível foi o TAAM (*Total Airspace and Airport Modeller*). O TAAM é um simulador em tempo acelerado capaz de modelar o espaço aéreo e aeroportos, reproduzindo o movimento das aeronaves do portão de embarque de um aeroporto a outro. Cada atividade realizada pela aeronave mantém características específicas que levam em consideração o desempenho de cada equipamento. O banco de dados de desempenho das aeronaves foi o BADA (*Base of Aircraft Data*), desenvolvida pela EUROCONTROL.

As premissas do simulador são: massa inicial de decolagem considerada é a máxima para cada aeronave; redução do peso de combustível durante as etapas do voo. A falta de banco de dados e de informações relativas à intensidade e direção de vento fez com que, durante a elaboração desse estudo, esse parâmetro fosse desconsiderado.

O dia analisado no estudo foi 19 de fevereiro de 2013, por ser um dia de semana padrão, cujo os movimentos foram obtidos a partir dos dados disponibilizados pelo SGTC (Sistema de Gerenciamento de Torre de Controle). As rotas e os procedimentos de pouso (SID), decolagem (STAR) e de aproximação por instrumento (IAC) foram os que se encontravam em vigor no mês de maio de 2013, obtidos, por sua vez, através do sítio eletrônico do AISWEB (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2013).

De acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), o fator conversão entre massa de Querosene de Aviação (QAV) e emissão de carbono é de 3,157 kg de CO_2 por kg de QAV (ICAO). Destaca-se ainda que o gás carbônico representa cerca de 72% dos produtos gerados na combustão do QAV (Souza, 2010), sendo, portanto, bastante representativo na queima do combustível de aviação, tornando-se a melhor métrica para se analisar os impactos ambientais causados pelo setor aéreo. É importante destacar, porém que além desse poluente o combustível de aviação também é responsável pela emissão de material particulado, óxido de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), composto organizo volátil e outros gases ligado ao efeito estufa, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (ANAC, 2014).

É importante destaca-se que durante a elaboração desse estudo foi considerado o efeito do vento sobre a aeronave de forma simplificada devido à ausência de dados. O consumo de combustível de uma aeronave sem a presença de vento representa 99,4% do consumo total com interferência do vento (Simone, Stettler, & Barrett, 2013).

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados de consumo de combustível e emissão de CO_2 para o trecho Rio-São Paulo são apresentados na Tabela 3, sendo estes divididos por etapas do voo, que são decolagem (DEP), procedimento de saída (SID), rota (ROUTE), procedimento de chegada (STAR), pouso (ARR) e o total do voo. A Tabela 3 mostra ainda o consumo de combustível considerando a interferência de vento conforme descrito na seção 2.

Verifica-se que o consumo é maior durante os procedimentos de saída (SID) e de chegada (STAR), com 61,7% e 20,8%, respectivamente, devido, principalmente, ao maior peso da aeronave durante a saída, somado a baixas altitudes da aeronave quando comparada as de cruzeiro e, consequentemente, maior arrasto. Outro fator que influencia o alto percentual da contribuição durante as etapas decolagem e pouso é a proximidade dos aeroportos, ou seja, a aeronave permanece um tempo menor em rota do que para realizar tais procedimentos.

Tabela 3: Resultado geral de consumo e emissão por etapa

	DEP	SID	ROUTE	STAR	ARR	TOTAL
Consumo de combustível (kg)	40.005	316.054	47.276	106.548	2.379	512.262
Consumo aplicando vento (kg)	40.246	317.962	47.561	107.191	2.393	515.354
Porcentagem (%)	7,8	61,7	9,2	20,8	0,5	100
Emissão de CO_2 (kg)	127.058	1.003.805	150.151	338.402	7.556	1.626.973

As emissões de CO_2 em um dia de operação e somente para voos do trecho Rio-São Paulo totalizam, aproximadamente, 1.627 toneladas, sendo 61,7%, ou 1.004 toneladas, emitidas apenas durante o procedimento de etapa da saída (SID). Diante desse cenário, chegou-se à conclusão que o custo diário referente à quantidade de CO_2 emitido apenas pelos voos entre os cinco principais aeroportos dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro totaliza US$ 17,897.00.

Entretanto, é importante destacar que a contribuição das emissões por aeroporto na região da Terminal de aproximação dos aeródromos é calculada somando o consumo das etapas de decolagem (DEP) e durante a saída (SID), para movimentos de saída, e o consumo das etapas de pouso (ARR) e de chegada (STAR), para movimentos de chegada no aeroporto em questão. Esse resultado é apresentado na Tabela 4, onde são expostos o consumo de combustível e as emissões de CO_2, em quilos, para aeronaves decolando e pousando, assim como o total.

Tabela 4: Resultado do consumo de combustível e emissões de CO_2 por aeroporto

	CONSUMO (kg)			EMISSÕES (kg)		
AEROPORTO	**SAIDA**	**CHEGADA**	**TOTAL**	**SAIDA**	**CHEGADA**	**TOTAL**
SBGL	67.736	18.114	85.850	213.844	57.185	271.029
SBRJ	121.379	34.089	155.468	383.194	107.617	490.812
Rio de Janeiro	**189.116**	**52.202**	**241.318**	**597.038**	**164.802**	**761.841**
SBGR	34.791	11.307	46.098	109.834	35.696	145.530
SBSP	96.724	35.307	132.031	305.359	111.464	416.822
SBKP	37.577	10.769	48.346	118.632	33.997	152.629
São Paulo	**169.093**	**57.382**	**226.475**	**533.825**	**181.156**	**714.981**

Percebe-se que a contribuição dos aeroportos da cidade do Rio de Janeiro (Galeão e Santos Dumont) é superior as de do São Paulo (São Paulo, Guarulhos e Campinas), 762 e 715 toneladas, respectivamente. A maior participação na emissão de poluentes pela cidade do Rio de Janeiro pode ser atribuída ao fato de que os procedimentos de saída possuem mais restrições a serem cumpridas devido à imposição do relevo da cidade. É possível observar que 90,7% das emissões nessas rotas

estão relacionadas apenas à saída e chegada. Diante disso, considerando uma taxação apenas em cima desses valores, totalizaria US$ 16.245,3 por dia.

A Tabela 5 apresenta alguns parâmetros relevantes quanto a participação das emissões de CO_2 por cidade. O índice de 635 kg de CO_2/km² para a cidade do Rio de Janeiro (RJ) contra 271 kg de CO_2/km² para a região de São Paulo, Guarulhos e Campinas, isso se deve ao fato da área do Rio de Janeiro ser 55% menor do que a da Região de São Paulo, no entanto com o mesmo tráfego. O mesmo raciocínio ocorre na relação de emissão por quantidade de habitantes, em que o Rio de Janeiro apresenta 0,12 kg de CO_2/habitante e São Paulo 0,05 kg de CO_2/habitante. Vale ressaltar que esses índices representam a emissão de um dia de operação apenas para os voos interligando os aeroportos do Rio de Janeiro e São Paulo.

No entanto, essa relação poderia ser mais bem avaliada através da emissão de CO_2 no entorno do aeródromo, que representa uma fração do consumo da SID e da STAR, assim como a área e os moradores da região. Isso porque a dispersão dos gases dá-se de maneira diferente conforme a altitude, ou seja, em cada fração de etapa do voo os gases são dispersos de maneiras distintas.

Tabela 5: Relações de emissão de CO_2 e as cidades

	kg de CO_2 /km²	**kg de CO_2 /hab**
SBRJ, SBGL	635	0,12
SBSP, SBKP, SBGR	271	0,05

Um fator que influencia diretamente o consumo de combustível é o tipo de equipamento voado, devendo-se ao fato da sua capacidade e desempenho. A Figura 2 apresenta a o consumo médio e sua variação para as quatro principais aeronaves que realizam as rotas estudadas, com pelo menos 20 voos por dia.

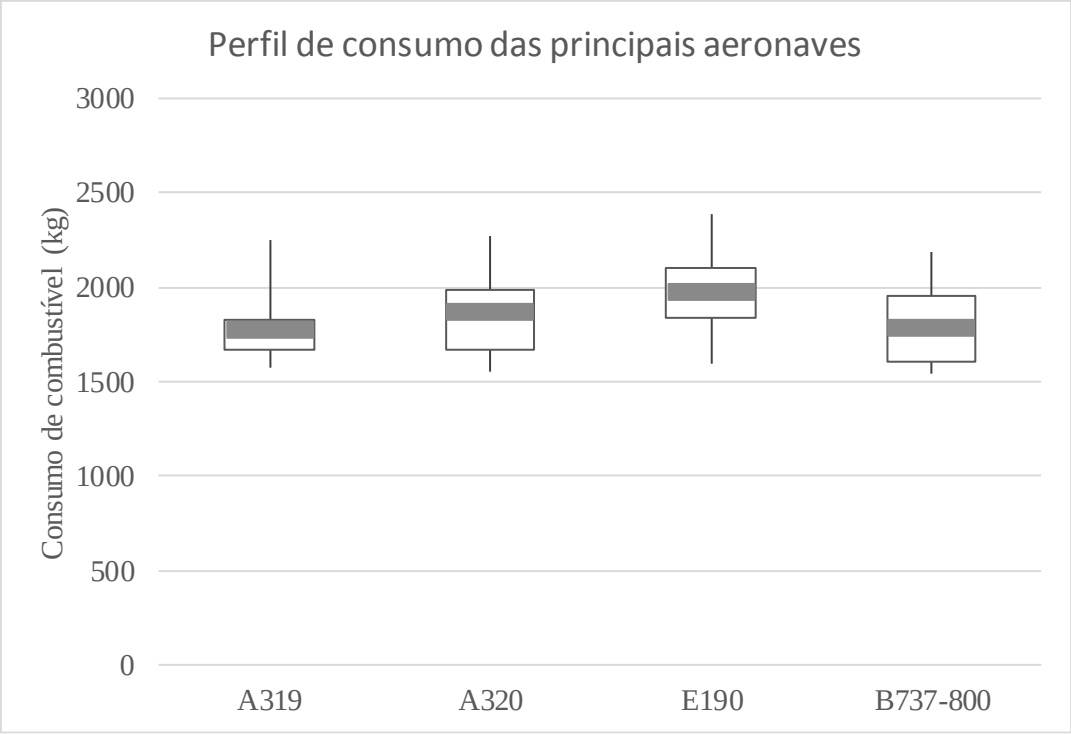


Figura 2: Variação do consumo de combustível pelas principais aeronaves do trecho

Por realizarem diferentes trajetórias, com etapas maiores, o modelo E190 apresentou maior consumo quando comparados com os outros, porém, o consumo médio por milha por trecho apresentou uma variação máxima de 2,46%, mostrando que o consumo de combustível para

diferentes modelos é praticamente constante A Tabela 6 apresenta o consumo esses valores para os quatros modelos estudados.

Tabela 6: Consumo médio por modelo de aeronave

Modelo	Consumo Médio (kg/NM)
A320	7,661
B737	7,562
A319	7,749
E190	7,671

Um dos objetivos da pesquisa era identificar o perfil do fluxo de movimento nos aeroportos, pontuando assim os horários de pico a fim de verificar se foram necessárias ações de sequenciamento, como redução de velocidade, vetoração[1] e esperas, e, portanto, avaliar o impacto no consumo de combustível e das emissões atmosféricas. A Figura 3 apresenta o perfil horário de operações em um dia de movimento no trecho Rio-São Paulo, verificando que os horários de pico estão entre às 06h e às 09h e entre 18h e 19h.

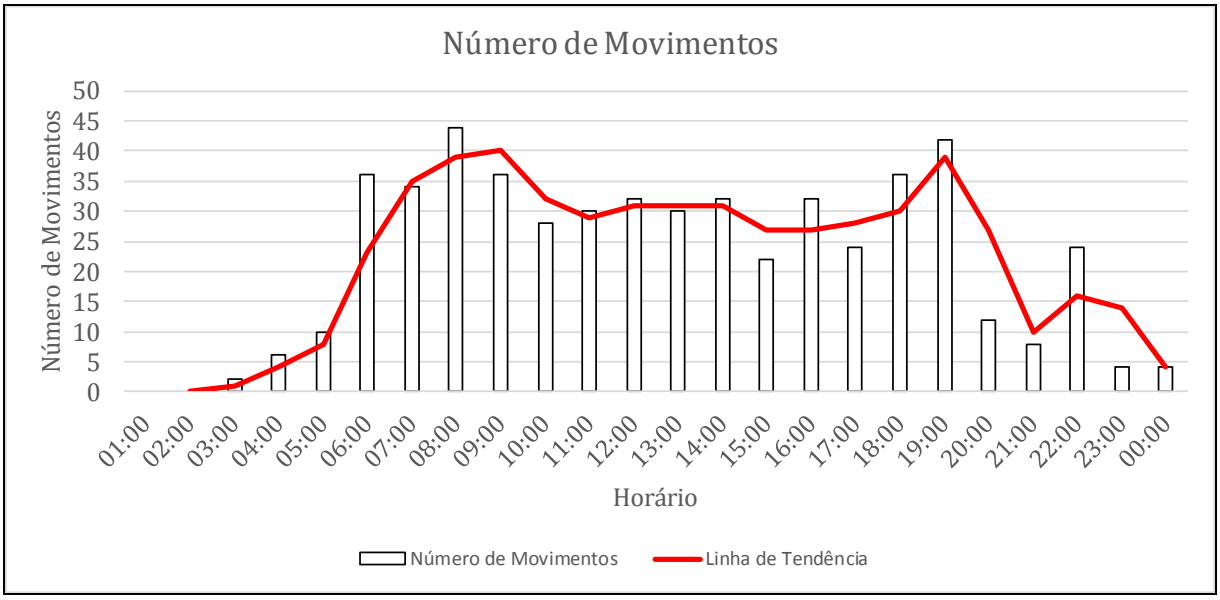


Figura 3: Movimento diário de aeronaves no trecho Rio-São Paulo. Fonte: elaborado pelo autor.

Após a análise do perfil de perfil horário, observamos o consumo médio de combustível apenas para as aeronaves de médio porte, por representar, aproximadamente, 94% do número total de aeronaves nesses aeroportos, conforme apresentado na Figura 4.

Nesse caso somente é considerado o horário do pouso devido ao fato de que é nesse procedimento que podem ocorrer as ações de sequenciamento, e, consequentemente, que podem causar atrasos nos horários previstos e aumento no consumo de combustível. Pode-se perceber que os picos de consumo estão atrelados aos horários de maior movimento de aeronaves, ou descocados em hora, o que pode ser causado pelo atraso em rota proveniente do congestionamento causado pelo excesso de aeronaves. Percebe-se também que o consumo médio no horário de pico pode ser até 15% superior ao consumo médio fora desse horário.

[1] Orientação para a navegação de aeronaves baseada no fornecimento de rumos específicos e altitudes.

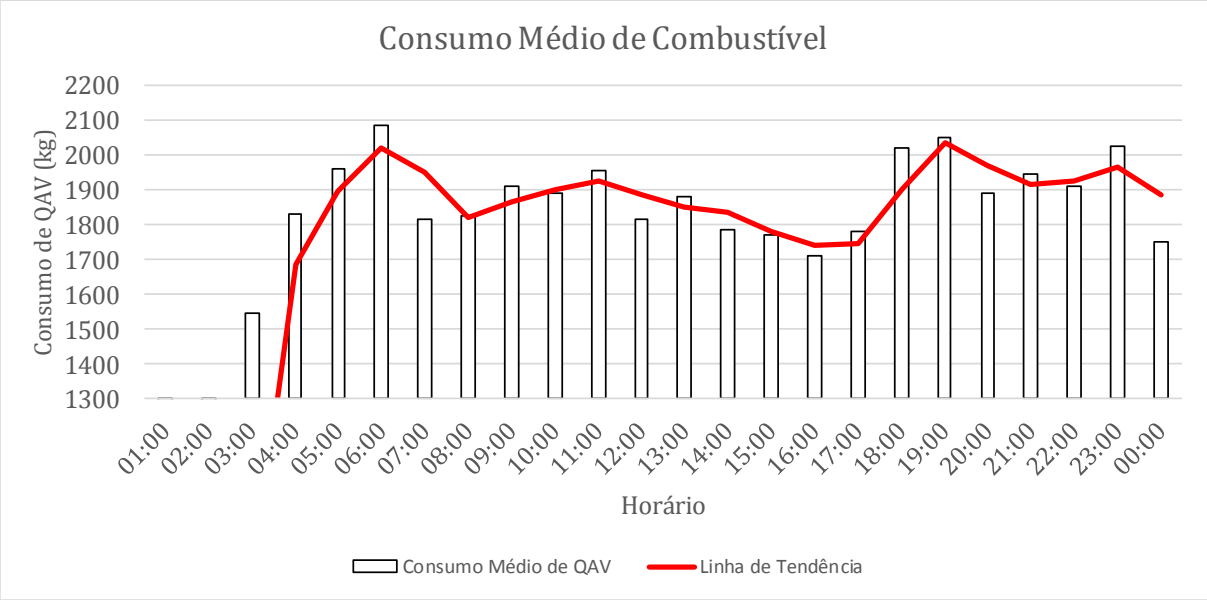


Figura 4: consumo médio de combustível para aeronaves de médio porte. Fonte: elaborado pelo autor.

5. CONCLUSÕES

A preocupação com as emissões de poluentes são atuais e motivam ações no sentido de reduzir a emissão de gases na atmosfera. Por isso surge a necessidade de uma metodologia para quantificar a emissão de CO_2 pelas aeronaves, possibilitando definir de maneira precisa a contribuição daquele voo no sistema. Uma dessas ações é o sistema de crédito de carbono, que tem se tornado uma tendência para a aviação a fim de compensar o impacto global das emissões do setor.

Os estudos na área e as diversas calculadoras de emissão de carbono atualmente em uso apresentam modelos simplistas e gerais. Por isso, o presente trabalho propôs uma avaliação que pudesse identificar a influência de determinados fatores sobre o consumo de combustível e, consequentemente, sobre as emissões de CO_2, como os procedimentos de saída e chegada, rotas, densidade do tráfego e ações do ATC (*Air Traffic Control*). Esse modelo permite diferenciar o valor das tarifas por aeroporto, trecho e horário do voo, de modo a permitir a internalização dos custos externos do carbono de forma mais justa, podendo também ser utilizado como uma ferramenta para o controle da demanda em horários de pico.

O resultado da simulação mostrou que o consumo de combustível para os trechos entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo é de, aproximadamente, 515 toneladas de QAV por dia, totalizando 1.627 toneladas em emissões de CO_2. Assim, o custo relativo as emissões atmosféricas provenientes da queima do combustível das aeronaves nas rotas interligando apenas os cinco principais aeroportos dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro foi de US$ 17.897,00, destes 90,7% ou US$ 16.245,30 durante os procedimentos de pouso e decolagem.

A análise também mostrou que durante os horários de pico o consumo de combustível é superior à média, chegando, em alguns casos, a 15% a mais do que o horário com menor demanda, o que implica em maior quantidade de emissões e, portanto, justificando uma taxação ambiental para as companhias aéreas que operam nesses horários. A mesma não poderia ser aplicada para diferentes modelos de aeronave, visto que o consumo é praticamente constante para os modelos em maior escala.

6. REFERÊNCIAS

Almeida, R. A., & Oliveira, A. V. (2013). Sistema de tarifação de congestionamento: estudo de caso de Londres. *Revista dos Transportes Públicos, Ano 35, 1º quadrimestre de 2013*(133).

ALTA. (2016). *Latin America & Caribbean: Capacity Analysis.* Associación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo.
ANAC. (2014). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas na Aviação Civil.*
DECEA. (2013). *Cartas Aeronáuticas*. Fonte: Serviço de Informação Aeronáutica - AIS: http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas
DECEA. (2016). *Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2015.* CGNA, Rio de Janeiro.
European Commission. (s.d.). Acesso em 02 de setembro de 2016, disponível em Climate Action: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/
IBGE. (s.d.). *Cidades@*. Acesso em 02 de setembro de 2016, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php
ICAO. (s.d.). *Carbon Emissions Calculator*. Acesso em 02 de setembro de 2016, disponível em Internacional Civil Aviation Organization: http://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx
IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
Kwan, I., & Rutherford, D. (2015). Transatlantic Airline Fuel Efficiency Ranking, 2014. *International Coundil on Clean Transportation*.
Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. (s.d.). *Querosene de Aviação*. Acesso em 02 de setembro de 2016, disponível em Secretaria de Energia: http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/index.html
Simões, A. F., & Schaeffer, R. (2005). The Brazilian Air transportation Sector in the Context of Global Climate Change: CO2 Emissions and Mitigation Alternatives. *Energy Conversion and Management, 46*, 501-513.
Simone, N. W., Stettler, M. E., & Barrett, S. R. (2013). Rapid estimation of global civil aviation emissions with uncertainty quantification. *Transportation Research Part D 25*, pp. 33-41.
Souza, G. M. (2010). *Proposta de Metodologia para Inventário de Emissões de Poluentes pelas Aeronaves.* Trabalho de Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Aeronáutica, São José dos Campos.
Williams, R. C. (2002). Environmental Tax Interactions when Pollution Affects Health or Productivity. *Journal of Environmental Economics and Management, 44*, 261-270.