PREVISÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES: ESTUDO DE CASO DOS VOOS DOMÉSTICOS DO AEROPORTO DE PETROLINA

Bruno Bezerra Bluhm
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50. 12280250 - São José dos Campos, SP – Brasil,
brunobluhm@aluno.ita.br

Daniel Alberto Pamplona
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50. 12280250 - São José dos Campos, SP – Brasil,
pamplonadefesa@gmail.com

Alessandro Vinícius Marques de Oliveira
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50. 12280250 - São José dos Campos, SP – Brasil,
alessandro@ita.br

RESUMO

Nas últimas décadas, tem-se aumentado a preocupação com as emissões de poluentes pelo transporte aéreo e os impactos causados na saúde humana. O objetivo do artigo é apresentar um modelo econométrico de previsão de emissões de poluentes gerados por voos domésticos, com estudo de caso o Aeroporto de Petrolina. Realizou-se um estudo de previsão de demanda com horizonte até o ano de 2020. Levou-se em consideração o número de voos e as emissões geradas nos ciclos de pouso e decolagem. Com os resultados, foi possível apresentar um modelo preditivo da quantidade de poluentes emitidos na atmosfera.

Palavras-chave: Emissões, Poluição atmosférica, Regressão linear, Modelo preditivo.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental tem se tornado crítica para a evolução da humanidade, principalmente se considerados os impactos da atividade humana sobre o ambiente, os quais foram exponencialmente intensificados pós-revolução industrial. Segundo Sachs (2014), a atividade humana tem se tornado um fator crítico em mudanças no ambiente devido à sua velocidade de crescimento.

Um exemplo de tal impacto pode ser notado nas emissões de gás carbônico (CO_2). Por cerca de 800 mil anos, as concentrações de CO_2 na atmosfera variam entre valores de 150 a 280 partes por milhão (ppm), aproximadamente, enquanto que, nos últimos 150 anos (período pós-revolução industrial) tal concentração passou de 280 ppm para 400 ppm. Os impactos deste aumento de concentração são sentidos em diversos âmbitos, por exemplo no efeito estufa, na acidificação de oceanos e até na saúde humana (SACHS, 2014).

Nas últimas décadas, tem-se aumentado a preocupação com as emissões de poluentes pelo transporte aéreo e os impactos causados na saúde humana. Devido à caracterização recente do estudo do impacto das atividades humanas sobre o ambiente, tal âmbito de conhecimento ainda detém um grande campo de descobertas e análises em aberto. O impacto da aviação civil sobre o meio ambiente ainda não está completamente claro. O presente trabalho busca auxiliar no entendimento de tal impacto, focando em trazer à tona quantidades de emissões de poluentes em um ambiente aeroportuário.

O objetivo do artigo é apresentar um modelo econométrico de previsão de emissões de poluentes gerados por voos domésticos, com estudo de caso o Aeroporto de Petrolina, Senador Nilo Coelho, no estado de Pernambuco.

O ganho acadêmico se dá através da utilização do estudo econométrico e da previsão de demanda de passageiros, estimando os impactos ambientais futuros, em particular a emissão de Co_2. Os resultados poderão servir de apoio aos administradores aeroportuários e autoridades no planejamento ambiental.

Este trabalho se divide em quatro seções além desta introdutória. A segunda seção trata da metodologia da pesquisa. A terceira seção trata da modelagem econométrica e previsão de demanda. A quarta seção fala dos resultados e análise e a quinta seção é a conclusão do trabalho.

2. METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa foca no cálculo de emissões de poluentes devidas aos voos domésticos do Aeroporto de Petrolina, havendo uma previsão de tais emissões para cenários futuros, obtidos através da modelagem econométrica. Tal modelagem é feita para se analisar a demanda aeroportuária e, a partir dela, é feito um estudo derivado quanto às emissões de poluentes.

2.1. REVISÃO DE LITERATURA

As emissões de poluentes causadas pela aviação civil é um assunto de interesse global, ganhando relevância nas últimas décadas, acompanhado da questão ambiental. Seu impacto ainda é alvo de estudos, por se apresentar como um campo científico de ampla abertura, no qual se tenta entender a magnitude do impacto da aviação no ambiente.

Os estudos acadêmicos sobre o assunto têm focado em grande parte na emissão do gás carbônico (CO_2). Grote, Williams e Preston (2014) analisam o impacto ambiental da aviação civil dado o alto consumo de petróleo utilizado. Com o aumento do uso do meio aéreo, aumenta-se naturalmente seu impacto como fonte de emissões do CO_2. Os autores estimam que globalmente, as empresas aéreas consomem mais de cinco milhões de barris de petróleo por dia. O constante aumento da utilização do avião como meio de transporte nas últimas décadas, fará do modal um importante contribuinte na emissão de poluentes. Como consequência, medidas devem ser tomadas para amenizar tal impacto, sendo que parte delas podem ser tomadas de maneira natural pelo mercado e outras não.

É perceptível que o impacto ambiental gerado pela aviação civil possa ser sentido tanto nas altitudes mais altas, por onde se localizam os voos durante sua etapa de cruzeiro, como também nas altitudes mais baixas, focando-se nos entornos de aeroportos.

Masiol e Harrison (2014) alertam para a importância de se estudar o impacto sobre as vizinhanças aeroportuárias, nos mais diversos âmbitos, incluindo o caso de poluição atmosférica. Para os autores, os estudos de impacto ambiental não devem focar apenas nas emissões dos motores, mas nas emissões das unidades de força auxiliar das aeronaves, das fontes auxiliares de potência no solo, dos equipamentos motorizados de apoio ao solo, aquecedores instalados no aeroporto, sistemas intermodais de transporte e o trânsito terrestre que conectam as cidades aos aeroportos.

Além de abordagens mais gerais sobre o assunto, percebe-se que a realidade de cada aeroporto pode ser estudada de maneira específica gerando, dessa forma, estudos de caso, tal qual este estudo. Nesse caso, há acessos a dados locais e pode-se estudar a variação deles ao longo do tempo, compreendendo-se melhor o impacto local do aeroporto, como é o caso de Schurmann et al. (2007), onde é analisado o Aeroporto de Zurique na Suíça.

2.2. CASO DE ESTUDO: O AEROPORTO DE PETROLINA

Petrolina é uma das cidades mais importantes, em termos econômicos, do interior do Nordeste, principalmente por sua localização privilegiada, às margens do Rio São Francisco, em pleno sertão nordestino. Dessa forma, por se localizar em uma região tipicamente caracterizada por secas, a possibilidade de irrigação propiciada pelas águas do rio permite a Petrolina um desenvolvimento agrário ímpar. A Figura 1 mostra o layout do aeroporto.

O aeroporto está diretamente ligado a tal desenvolvimento econômico gerado pelos avanços nas tecnologias de irrigação, sendo considerada, assim, sua importância como aeroporto regional.

O Aeroporto de Petrolina – Senador Nilo Coelho (designador ICAO – SBPE) possui uma pista de asfalto com extensão de 3.250 metros de comprimento por 45 metros de largura, sendo considerado a segunda maior pista da Região Nordeste, o que permite a operação de aeronaves de grande porte como o Boeing 747-400. O terminal de passageiros tem capacidade de receber 1 milhão de passageiros anuais. O pátio de estacionamento possui 16.406 m^2, com cinco posições de estacionamento para aviões de grande porte e 10 posições no total (INFRAERO, 2015).

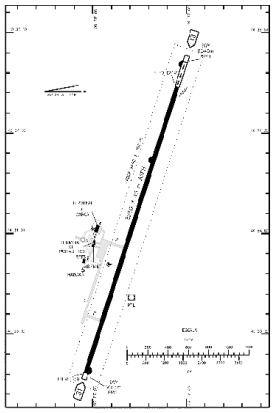


Figura 1: Layout do Aeroporto de Petrolina (DECEA, 2015)

Atualmente, são três companhias aéreas que operam com voos regulares: Gol Linhas Aéreas, Azul Linhas Aéreas e Avianca, totalizando sete voos diários, além de contar com um voo cargueiro semanal para a Europa (Luxemburgo). A crescente demanda dos últimos anos, pode ser traduzida em números, passando de 6.634 pousos e decolagens em 2010, para 7.396 no ano de 2013, ou de 254.185 passageiros em 2010 para 473.471 em 2013.

Com o intuito de estudar o movimento aeroportuário, será realizado a seguir o estudo econométrico e a previsão da demanda.

3. MODELAGEM ECONOMÉTRICA E PREVISÃO DE DEMANDA

A modelagem econométrica, neste estudo, é feita através de um estudo de previsão de demanda e de um estudo derivado. O modelo de demanda se define como, neste caso, uma modelagem via regressão linear, utilizando dados históricos do Aeroporto de Petrolina como base para tal modelo.

A regressão linear se dá como um modelo preditivo no qual são consideradas algumas métricas básicas (definidas como x_i) que servem, através de coeficientes lineares, para se determinar uma função desejada (definida como y).

Como exemplos de métricas utilizadas como base para tal modelo, encontram-se preços de passagens e PIB brasileiro, enquanto que para função a ser estimada, utiliza-se a métrica

número de passageiros domésticos. Quanto ao estudo derivado, os cenários de previsão de demanda são usados como base para se determinar o número de voos e, considerando o tipo usual de aeronave atuante no aeroporto, poder se calcular as emissões de poluentes através de tal grandeza.

No estudo atual, para se obter o resultado de emissões de poluentes causados pelos voos domésticos, primeiramente foram definidos os gases poluentes a serem considerados, em seguida foram analisados as aeronaves tipicamente operantes em tal aeroporto e a taxa de emissão de tais gases relativas a essas aeronaves, por voo.

Dessa forma, necessita-se do número de voos, obtidos graças a considerações e premissas quanto à ocupação média dos voos e a um modelo de previsão de número de passageiros, seguindo mais de um cenário possível. O modelo de previsão é obtido através de um modelo de regressão linear, a partir de dados históricos relativos ao aeroporto e a considerações sobre seu crescimento ao longo dos anos vindouros.

As principais fontes de dados são: INFRAERO (*Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária*), ANAC (*Agência de Aviação Civil*), Avianca S.A. e IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

3.1. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO

A Equação (1) a seguir apresenta o modelo econométrico utilizado no trabalho.

$$\boldsymbol{paxdomésticoslocais_t} = \beta_0 + \beta_1 pibm + \beta_2 pp + \beta_2 csvt + \beta_2 cg + \sum_k \gamma_k sazonalidademêsk + u_t \quad (1)$$

Onde:

paxdomésticoslocais$_t$: movimento de passageiros locais no Aeroporto de Petrolina;
pibm: Produto Interno Bruto da microrregião de Pernambuco;
pp: preço das passagens;
csvt: período em que ocorreu o *codeshare* Varig-TAM;
cg: crise global de 2008;
sazonalidade: controle de sazonalidade; e
u$_t$: variável de erro.

O estimador usado foi o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (*Ordinary Least Squares,* OLS). Tal estimador busca minimizar as diferenças, no caso quadráticas, entre o valor encontrado na reta de regressão e o valor real da função *y* considerada.

Em uma regressão multivariada, como no caso da regressão deste estudo, é comum que os parâmetros utilizados para explicar a variável em questão sejam relacionados entre si. Para se analisar tal relação entre os parâmetros existe o conceito de autocorrelação. Ela explica quão relacionados são os parâmetros e como um interfere no valor do outro. Além da análise da correlação, é feito um ajuste via procedimento *Newey-West*, com o intuito de se superar possíveis problemas gerados pela autocorrelação, pela heteroscedasticidade e os termos de erro do modelo, levando-se em consideração o fato de os dados serem apresentados na forma de séries temporais.

Quanto à análise de sensibilidade, é realizado teste RESET, *Regression Equation Specification Error Test*, com o intuito de se omitir distúrbios possivelmente causados por combinações não-lineares entre os parâmetros estimadores. A significância estatística das variáveis está mostrada na tabela de regressões na forma de asteriscos, sendo um parâmetro com asteriscos considerado mais significante.

3.2. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E ANÁLISE GRÁFICA DAS VARIÁVEIS

A Figura 2 indica a série temporal do número de passageiros no Aeroporto de Petrolina.



Figura 2: Série temporal do número de passageiros domésticos (Adaptado de INFRAERO, 2014)

Percebe-se o crescimento de passageiros nos últimos anos. Pode-se explicar pelo aumento do poder aquisitivo dos passageiros, que puderam

utilizar o avião como meio de transporte e o aumento de Petrolina e região como polo exportador de frutas e vinhos.

A Figura 3 indica a análise de correlação feita entre as variáveis consideradas no estudo.

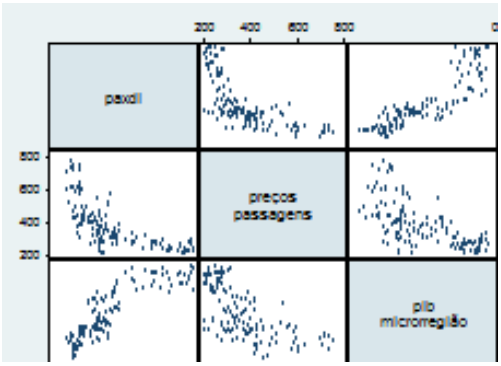


Figura 3: Análise de correlação

A análise de correlação mostrou a relação entre o número de passageiros e o preço das passagens aéreas, sendo inversamente proporcional. A medida que o preço diminui, o número de passageiros aumenta.

A medida que o nível de consumo aumenta, medido pelo PIB da microrregião, o número de passageiros também aumenta, estando diretamente ligados. A seguir serão analisados os resultados da regressão.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Para se interpretar os resultados de uma regressão, tem-se como principal objetivo analisar se ela consegue chegar a resultados satisfatórios no que se diz respeito a análise de uma grandeza com relação aos parâmetros levados em conta na regressão.

Dentre os parâmetros utilizados numa regressão, é necessário analisar se eles possuem significância estatística, que está diretamente relacionada com a teoria dos testes de hipótese, ou seja, se aqueles parâmetros realmente interferem na variável analisada ou se a interferência foi apenas casual.

Para tanto, analisa-se valores de significância, normalmente associados com a probabilidade dos valores estarem fora do intervalo de probabilidades considerados, e de acordo com a significância dos parâmetros, eles serão mais ou menos relevantes para a análise, podendo até serem descartados, no caso de baixa significância.

As significâncias são, na tabela de regressões, indicadas por asteriscos. Além disso, as elasticidades estimadas são apresentadas no ponto médio.

A Tabela 1 indica o modelo de regressão gerado assim como modelos de regressão alternativos para verificar se o modelo utilizado seria o melhor modelo que se adequaria ao estudo de demanda. Para a escolha do melhor modelo, foi utilizado o critério da significância estatística.

O modelo de regressão de número (4) foi escolhido como o modelo utilizado neste estudo, por ter apresentado os melhores níveis de significância estatística.

É perceptível que o modelo escolhido considerou como significante as variáveis PIB microrregião, preço das passagens, *codeshare* Varig-TAM, crise global de 2008 e a sazonalidade de alguns meses mais críticos. Os sinais dos coeficientes de tais variáveis apresentam-se como coerentes, considerando, por exemplo, uma relação positiva entre número de passageiros e PIB da microrregião e uma relação negativa entre número de passageiros e preços das passagens.

4.1. PREVISÃO DE DEMANDA E ANÁLISE NUMÉRICA DOS RESULTADOS

A previsão de demanda de passageiros para o Aeroporto de Petrolina é apresentada na Figura **5.** Em tal previsão, são considerados três cenários possíveis: pessimista, neutro e otimista. As premissas de cada cenário dizem respeito ao desempenho da economia brasileira nos anos futuros considerados, de maneira a se considerar maiores ou menores impactos sobre o transporte aéreo, dependendo da situação adotada.

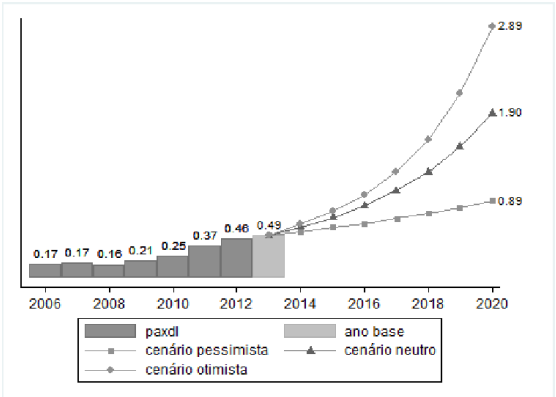


Figura 4: Série temporal do número de passageiros domésticos

Tabela 1: Modelos de regressão

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
pib brasileiro	-0,9792 [1,323]	1,2192 [1,529]	1,9751*** [0,615]		-0,6317 [0,699]	-0,3452 [0,727]	-0,0054 [0,815]
pib microrregião	0,2882 [0,815]	0,6003 [1,098]		1,4423*** [0,410]			
energ elétrica res	1,9081*** [0,410]				1,9195*** [0,425]	1,9477*** [0,464]	1,7852*** [0,519]
preços passagens	-0,2847** [0,111]	-0,4032*** [0,115]	-0,3675*** [0,129]	-0,4794*** [0,124]	-0,2670** [0,132]	-0,2399* [0,127]	-0,2885** [0,117]
codeshare Varig-Tam	-0,381 [0,023]	-0,0237 [0,029]	-0,0159 [0,019]	-0,0366** [0,015]	-0,0345** [0,017]	-0,0316* [0,017]	
crise global 08	-0,0036* [0,002]	-0,0062** [0,003]	-0,0059** [0,003]	-0,0061** [0,003]	-0,0034* [0,002]	-0,0048*** [0,001]	
novos segm cons 09	0,0357 [0,054]	0,0446 [0,072]	0,0530 [0,070]		0,0397 [0,053]		
mês – janeiro	-0,0136** [0,006]	0,0010 [0,007]	0,0011 [0,007]	-0,0002 [0,007]	-0,0137** [0,006]	-0,0120* [0,007]	-0,0100 [0,008]
mês – fevereiro	-0,0220*** [0,008]	-0,0063 [0,008]	-0,0062 [0,009]	-0,0080 [0,008]	-0,0221*** [0,008]	-0,0194** [0,009]	-0,0170* [0,009]
mês – março	-0,0132** [0,006]	-0,0035 [0,008]	-0,0035 [0,008]	-0,0048 [0,008]	-0,0132** [0,006]	-0,0115* [0,007]	-0,0115 [0,008]
mês - abril	-0,0165*** [0,006]	-0,0067 [0,007]	-0,0064 [0,007]	-0,0081 [0,007]	-0,0164*** [0,006]	-0,0150** [0,007]	-0,0152* [0,008]
mês - maio	-0,0032 [0,005]	-0,0065 [0,006]	-0,0060 [0,006]	-0,0075 [0,005]	-0,0029 [0,004]	-0,0026 [0,004]	-0,0031 [0,005]
mês - junho	0,0030 [0,004]	-0,0071 [0,006]	-0,0066 [0,006]	-0,0080 [0,005]	0,0033 [0,004]	0,0035 [0,004]	0,0024 [0,004]
mês - julho	0,0151*** [0,004]	0,0057 [0,007]	0,0055 [0,007]	0,0054 [0,007]	0,0152*** [0,005]	0,0162*** [0,004]	0,0158*** [0,004]
mês - agosto	0,0089* [0,005]	-0,0031 [0,007]	-0,0032 [0,007]	-0,0033 [0,006]	0,0089* [0,005]	0,0097** [0,004]	0,0089** [0,005]
mês - setembro	0,0022 [0,005]	-0,0030 [0,006]	-0,0029 [0,006]	-0,0041 [0,006]	0,0023 [0,005]	0,0042 [0,004]	0,0022 [0,004]
mês - outubro	0,0017 [0,004]	-0,0064 [0,005]	-0,0064 [0,005]	-0,0067 [0,005]	0,0017 [0,004]	0,0023 [0,004]	-0,0002 [0,004]
mês - novembro	-0,0031 [0,003]	-0,0089** [0,004]	-0,0090** [0,004]	-0,0087** [0,004]	-0,0031 [0,003]	-0,0031 [0,004]	-0,0054* [0,003]
R^2	0,9179	0,8783	0,8774	0,8762	0,9177	0,9159	0,9049
RMSE	0,1787	0,2166	0,2166	0,2177	0,1782	0,1793	0,1892
F	46,3376	19,7802	20,9014	21,0743	42,9862	44,8448	38,5105
F_pvalor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
RESET	1,3277	0,3697	0,5488	0,3024	1,3438	2,8999	2,4162
RESET_pvalor	0,2492	0,5432	0,4588	0,5824	0,2464	0,0886	0,1201

Tabela 3: Previsão de emissões anuais em toneladas, para cenários pessimista (p), neutro (n) e otimista(o)

Ano	CO_2	CH_4	N_20	NO_X	CO	NMVOC	SO_2	Combustível
2013	6540,98	0,10	0,26	28,11	13,54	1,02	2,04	2069,61
2020.p	17580,25	0,27	0,69	75,54	36,40	2,75	5,49	5562,50
2020.n	25020,58	0,39	0,98	107,51	51,80	3,91	7,82	7916,67
2020.o	28543,21	0,45	1,11	122,65	59,09	4,46	8,92	9031,25

A partir do número de passageiros estimado para o cenário futuro, pode-se calcular o número de voos domésticos anuais e, assim, realizar a previsão de emissões de poluentes. Para tanto, é feita uma análise dos voos atuais do aeroporto e do tipo de aeronave mais comumente operada.

Considerando os dados da ANAC, a aeronave típica em tal aeroporto é o Airbus A320. Para as operações regionais, a ocupação máxima desse avião é dada como de 162 passageiros, considerando a companhia de maior número de voos, Avianca.

Dessa forma, calcula-se a ocupação média para o ano de 2013 (59,19%), considerando cenários de ocupação média para o futuro, com possibilidades pessimista (55%), neutra (65%) e otimista (75%). Dessa forma, determina-se a previsão para o número de voos no ano de 2020.

Segundo IPCC (2006), as emissões das aeronaves da aviação civil são provenientes da queima do combustível, podendo ser querosene ou gasolina de aviação. As emissões dos motores são aproximadamente compostas de 70% de CO_2, um pouco menos de 30% de H_20 e um pouco menos de 1% cada para NO_x, CO, SO_x, NMVOC. Os motores modernos emitem baixos níveis de N_2O. Podem ocorrer emissões de CH_4 com a aeronave em regime neutro (*iddle*), porém os motores modernos pouco emitem esse tipo de gás.

Para fins de cálculos de poluentes, o IPCC (2006) divide as operações aeroportuárias em ciclo de pouso e decolagem (LTO *–landing / Take-off cycle)* e voo de cruzeiro. Aproximadamente, 10% das emissões das aeronaves, exceto hidrocarbonetos e CO, são produzidos quando a aeronave está no solo e durante o ciclo LTO. O ciclo LTO compreende as emissões realizadas durante a decolagem e aproximação para pouso abaixo de 3000 pés (aproximadamente 1000 metros) de altura. A Figura 5 mostra o ciclo LTO.

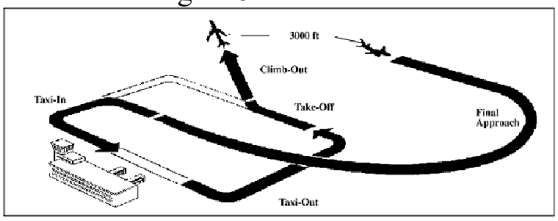


Figura 5: Ciclo de pouso e decolagem - LTO (IPCC, 2006)

Considerando os gases poluentes analisados como CO_2, CH_4, N_2O, NO_x, CO, NMVOCs e SO_2, são utilizados dados do IPCC para se determinar as emissões por voo, apresentas na Tabela 2.

Tabela 2: Emissões de poluentes em kg por ciclo de pouso e decolagem da aeronave A320 (IPCC, 2006)

CO_2	CO	CH_4	N_2O	NO_X	$NMVOC$	SO_2
2560	5,3	0,04	0,1	11,0	0,4	0,8

As emissões dependem do número de tipo de aeronaves que operam em um aeroporto; o tipo e grau de eficiência dos motores das aeronaves; o tipo de combustível utilizado; a duração do voo; o nível de potência; o tempo gasto em cada estágio do voo; e em menor grau, a altitude em que os gases são emitidos (IPCC, 2006).

O cenário de poluição considerado é o ambiente de entorno do aeroporto, tendo em vista, então, os procedimentos de pouso e decolagem, críticos no que diz respeito a consumo de combustível e, consequentemente, emissão de poluentes. O resultado da previsão de poluentes é apresentado na Tabela 3.

O crescimento da demanda aérea trará o aumento da emissão de poluentes. Em 2020, quando comparado a 2013, projeta-se um

aumento de CO_2, NO_x, CO, NMVOC, SO_2 e Combustível entre 169% a 336%; de CH_4 entre 170% a 350% e de N_2O entre 165% a 327%. Este aumento da poluição poderá trazer consequências para as pessoas que vivem no entorno aeroportuário.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo fazer uma previsão das emissões de poluentes dos voos domésticos para o aeroporto de Petrolina.

Foi feito um modelo de regressão linear para se prever o crescimento do número de passageiros no aeroporto, até o ano de 2020, seguindo três cenários de possibilidades. A partir de tal modelo preditivo e das características de emissão para a aeronave típica do aeroporto, pôde-se prever as emissões de gases poluentes para o ano de 2020.

Este trabalho, então, se agrega à literatura existente e crescente, a qual diz respeito aos impactos ambientais da aviação civil, além de ser um estudo de caso para um aeroporto regional brasileiro de crescente importância.

As limitações do trabalho se dão na adoção de uma aeronave típica, não havendo segmentação de emissões para outras aeronaves operantes. Além disso, a análise é restrita a voos domésticos, compreendendo- se, assim, o impacto da aviação de passageiros no que diz respeito às emissões locais, mas não do aeroporto como um todo, considerando a importância local dos voos de carga.

Como complementação deste trabalho, mostram-se como possibilidades viáveis estudos sobre a aviação cargueira em Petrolina. Portanto, estudos de outras formas de poluição, como a sonora, causadas pelos voos em tal aeroporto, além de estudos do impacto ambiental causado pelas emissões analisadas no presente trabalho, podendo ser apresentadas medidas de mitigação para tornar a aviação civil uma atividade mais sustentável, viabilizando sua continuidade de forma não nociva no futuro.

6. REFERÊNCIAS

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Carta de aeródromo – Aerporto de Petrolina.** 2015.

GROTE, Matt; WILLIAMS, Ian; PRESTON, John. Direct carbon dioxide emissions from civil aircraft. **Atmospheric Environment**, v. 95, p. 214-224, 2014.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Aeroporto de Petrolina.** 2015. Disponível em < http://www.infraero.gov.br/index.php/aeroportos/pernambuco/aeroporto-de-petrolina.html> . Acesso em 04 de maio de 2015.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Total de passageiros no Aeroporto de Petrolina.** 2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.** 2006. Disponível em http://www. ipcc-nggip. iges. or. jp./public/2006gl/index**..** Acesso em 04 de maio de 2015.

MASIOL, Mauro; HARRISON, Roy M. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: a review.**Atmospheric Environment**, v. 95, p. 409-455, 2014.

SACHS, Jeffrey D. **The age of sustainable development**. Columbia University Press, 2015.

SCHÜRMANN, Gregor et al. The impact of NOx, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 1, p. 103-118, 2007.