

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

FERNANDA GONÇALVES SOUZA LEITE

LETÍCIA CAROLINE SANTIAGO DA SILVA MARTINS

**ANÁLISE DA POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS EM
COMUNIDADES PRÓXIMAS AOS TERMINAIS
AEROPORTUÁRIOS**

TAUBATÉ

2017

FERNANDA GONÇALVES SOUZA LEITE
LETÍCIA CAROLINE SANTIAGO DA SILVA MARTINS

ANÁLISE DA POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS EM
COMUNIDADES PRÓXIMAS AOS TERMINAIS
AEROPORTUÁRIOS

Trabalho de graduação apresentado para obtenção do Certificado de Bacharel pelo Curso de Engenharia Aeronáutica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador:
Prof. Msc. Paulo de Tarso de Moraes Lobo
Co-orientador:
Prof. Msc. Pedro Marcelo Alves Ferreira
Pinto

Área de concentração: poluição aeronáutica

TAUBATÉ

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

L533a Leite, Fernanda Gonçalves Souza
Análise da poluição e seus impactos em comunidades próximas aos terminais aeroportuários. / Fernanda Gonçalves Souza Leite, Letícia Caroline Santiago da Silva Martins. - 2017.

49f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me Paulo de Tarso de Moraes Lobo.
Coorientador: Prof. Me Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Poluição. 2. Aeronáutica. 3. Ruídos. 4. Aeroportos. 5. Motores. I. Título.

**FERNANDA GONÇALVES SOUZA LEITE
LETÍCIA CAROLINE SANTIAGO DA SILVA MARTINS**

**ANÁLISE DA POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS EM
COMUNIDADES PRÓXIMAS AOS TERMINAIS
AEROPORTUÁRIOS**

Trabalho de graduação apresentado para obtenção do Certificado de Bacharel pelo Curso de Engenharia Aeronáutica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: poluição aeronáutica

Data: 19/10/2017

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Paulo de Tarso de Moraes Lobo

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Msc. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter nos dado forças e nos guiado pelo nosso caminho até aqui.

A Universidade e seu corpo docente por ter nos acompanhado e nos transmitido conhecimentos durante todos os anos do curso.

Ao nosso orientador Paulo de Tarso e co-orientador Pedro Marcelo Ferreira pelo apoio, pelas correções e pela aviação deste trabalho.

Aos nossos companheiros de classe, os que estiveram juntos em todos os cinco anos, os que saíram em algum momento e os que entraram no meio do curso, por todos os momentos que dividimos durante a caminhada ao tão aguardado certificado.

Aos nossos pais, por todo o apoio e por serem nossos suportes durante todos os momentos difíceis da vida, pelo apoio quando pensamos que não seremos capazes e por nos mostrar que somos muito mais do que capazes.

E por fim e não menos importante, uma a outra por termos sempre chegado a um acordo para o bom desenvolvimento do trabalho, por termos vivido de forma harmoniosa e sem conflitos durante este ano decisivo.

RESUMO

A atividade aeronáutica tem uma contribuição considerável na poluição, tanto na parte comercial como na área militar. A área da aeronáutica, principalmente comercial, contribui atualmente com 2,5% da poluição global, devido ao aumento da demanda de voos entre grandes centros, onde tornam o deslocamento bem mais fácil, gerando maior número de aeronaves voando. Portanto, segundo os órgãos ambientais, a aeronáutica terá papel importante no que se refere à poluição dentro dos próximos 10 (dez) anos, saltando dos atuais 2,5% passando a 25%, maior que muitos centros poluidores. Este trabalho tem por objetivo efetuar um levantamento de dados de poluições ambientais em torno de aeroportos, para que se possa analisar melhorias eficientes na diminuição desta poluição.

Palavras-chave: Poluição; Aeronáutica; Ruídos; Aeroportos; Motores; Aeronaves.

ABSTRACT

The aeronautical activity has a considerable contribution in the smog, both in the commercial and military areas. The aeronautics area, mainly commercial, currently contributes with 2,5% of global pollution, due to increase of flight demand between large centers, where make a lot displacement easy, generating large number aircraft flying. Therefore, according to environmental agencies, the aeronautics will have the important role regarding to smog within the next 10 (ten) years, jumping from the current 2,5% for the 25%, higher than many polluting centers. This work has for objective carry out a survey of environmental data surroundings in airports, so that can analyze improvements efficient at pollution decrease.

Keywords: Smog; Aeronautic; Noises; Airports; Engine; Aircrafts.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - NCA para ambientes externos, em dB(A)	26
Tabela 2 - Pousos e Decolagens do SBGR.....	29
Tabela 3 - Pousos e Decolagens do SBCF	29
Tabela 4 - Pousos e Decolagens do SBRF	30
Tabela 5 - Fatores de conversão, correção e emissão de combustíveis utilizados no Método “Top-Down”	32
Tabela 6 - Consumo de energia do setor de transporte aéreo	39
Tabela 7 - Consumo de combustível	39
Tabela 8 - Quantidade de carbono emitida	39
Tabela 9 - Quantidade de dióxido de carbono proveniente das emissões	40
Tabela 10 - Emissão por aeroporto para voos nacionais e internacionais, usando gasolina.	40
Tabela 11 - Emissão por aeroporto para voos nacionais e internacionais, usando querosene.....	41
Tabela 12 - Medições de som dB(A) durante o sobrevoo	42
Tabela 13 - Níveis de exposição sonora	42
Tabela 14 - Nível de pressão sonora dia-noite	43
Tabela 15 - Nível de ruído nos receptores críticos levantados, nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN.....	44
Tabela 16 - Análise comparativa entre resultados.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do crescimento da emissão de dióxido de carbono (CO ₂) por parte da aviação	25
Figura 2 - Mapa de localização do sítio aeroportuário	34
Figura 3 - Uso real do solo no entorno do Aeroporto de Guarulhos	34
Figura 4 - Curvas de ruído na métrica DNL do Aeroporto de Guarulhos	35

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas e Técnicas
- ANTAQ** – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
- AVIANCA** – Aerovias Nacionales de Colombia S/A
- BEN** – Balanço Energético Nacional
- CBFT** – Companhia Brasileira de Florestas Tropicais
- CO** – Monóxido de Carbono
- CO₂** – Dióxido de Carbono
- DECEA** – Departamento de Controle do Espaço Aéreo
- DLR** – Deutsche Luft-Reederei GmbH
- DNL** – Nível de Som Médio Dia-Noite (Day-Night Average Sound Level, em ingles)
- CONACS** – Conferências Nacionais de Aviação Comercial
- FAA** – Federal Aviation Administration
- GEE** – Gases de Efeito Estufa
- IATA** – International Air Transport Association
- ICAO** – International Civil Aviation Organization
- INM** – Integrated Noise Model
- IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change
- L_{eq}** - Nível de Som Estável Equivalente (Equivalent Steady Sound Level, em inglês)
- NAMA** – Ações de Mitigação Nacionalmente Adequadas (Nationally Appropriated Mitigation Actions, em inglês)
- NCA** – Níveis de Critério de Avaliação
- NO_x** – Óxidos de Nitrogênio
- NPD** – Noise/Power/Distance
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- PBMC** – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
- PCI** – Poder Calorífico Inferior
- PCS** – Poder Calorífico Superior
- PNA** – Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
- SEL** – Nível de Exposição Sonora (Sound Exposure Level, em inglês)
- SCADTA** – Sociedade Colombiano-Alemã de Transportes Aéreos
- SUBSTA** – Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico

UHC – Hidrocarbonetos não queimados

UNEP – United Nations Environment Programme

VARIG – Viação Aérea Rio-Grandense S/A

VASP – Viação Aérea São Paulo

WMO – World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Aviação.....	16
2.1.1. Aviação Mundial	16
2.1.2. Aviação no Brasil	17
2.2. Órgãos Ambientais	19
2.2.1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	19
2.2.2. PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas	20
2.3. Aeroportos	21
2.4. Poluição.....	22
2.4.1. Gases Poluentes	22
2.4.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NO _x).....	23
2.4.1.2. Material Particulado (MP)	24
2.4.1.3. Dióxido de Carbono (CO ₂).....	24
2.4.1. Ruídos	25
3.1. Locais de estudo	28
3.1.1. Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos	28
3.1.2. Aeroporto Internacional de Belo Horizonte – Confins.....	29
3.1.3. Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre.....	30
3.2. Como foram obtidos os resultados para as análises	30
3.2.1. Emissão de poluente – CO ₂	30
3.2.2. Ruídos Aeronáuticos	32
3.2.2.1. Sound Exposure Level (SEL) – Nível de Exposição Sonora	35
3.2.2.2. Equivalent Steady Sound Level (L _{eq}) – Nível de Som Estável Equivalente .	36
3.2.2.3. Day-Night Average Sound Level (L _{dn} ou DNL) – Nível de Som Médio Dia-Noite	38

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1. Emissão de poluente – CO ₂	39
4.2. Ruídos	41
4.2.1 Resultados do software INM.....	43
5. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

O aumento da exploração do transporte aéreo deu-se após a Segunda Guerra Mundial, quando foi observado que este tipo de transporte realizaria as atividades de entregas necessárias, sejam cargas ou passageiros, em um tempo muito mais rápido que os outros transportes. A atividade aérea no Brasil se iniciou por volta do ano de 1920, com duas empresas estrangeiras, a Compagnie Générale Aéropostale e a Condor Syndikat. Alguns anos depois, em 1927, foi criada uma nacional, a VARIG e posteriormente, em 1933, foi criada a VASP. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o cenário começou a aumentar com a presença de mais empresas nacionais e também empresas estrangeiras. O país passou por um período onde teve dificuldades com o setor tendo momentos de crises que duraram até a implantação do Plano Real em 1994 quando finalmente conseguiu atingir um considerável crescimento.

Desde os tempos de pós Segunda Guerra, as atividades do setor de transporte aéreo têm estado sempre em constante crescimento, bem como, nos tempos atuais devido à globalização. Para que se possa abrigar não somente as companhias como também, pousos e decolagens de aviões são necessários aeroportos. Estes juntos com a atividade aeronáutica geram um desenvolvimento social e econômico para a cidade, o estado e até mesmo o país. Porém devido à enorme utilização do transporte aéreo, foram aumentando os problemas não só para a população nos arredores dos aeroportos, como também, afetando a camada de ozônio. Apesar de este tipo de transporte contribuir muito para a redução de distância e tempo, seus números em relação à poluição com os demais setores industriais, tem uma contribuição em torno de 2,5% (dois e meio por cento), porém, pode ter um aumento considerável daqui a uma década passando a 25% (vinte e cinco por cento). Portanto, com o aumento da demanda, prevista a curto espaço de tempo, as emissões resultantes neste processo serão consideráveis. Além das emissões de gases poluentes, há também a contribuição sonora, ou seja, ruído.

Desde 1944 durante a Convenção de Aviação Civil Internacional (também conhecida como Convenção de Chicago), foram instituídas as primeiras medidas com relação à poluição.

Com a chegada da primeira geração de aeronaves, o principal combustível utilizado era o querosene. Sua queima dá origem a diversos poluentes perigosos,

como por exemplo, monóxido e o dióxido de carbono (CO e CO₂), os hidrocarbonetos gasosos e os óxidos de nitrogênio (NO_x), promovendo assim então, uma contribuição para o aquecimento global. Já o aumento da poluição por ruídos, deu-se um aumento considerável após a chegada dos motores a jato, em 1939.

No decorrer dos anos, como consequência, o avanço tecnológico, veio a desenvolver novos motores priorizando a eficiência e a diminuição da emissão de poluentes. Atualmente, os motores têm a capacidade de emitir até 20 vezes menos CO, CO₂ e hidrocarbonetos não queimados (UHC), comparado a modelos fabricados na década dos anos 1970. Em relação à emissão de NO_x, é uma questão complexa, pois o nitrogênio e o oxigênio estão presentes no ar e se misturam devido à alta temperatura das câmaras de combustão dos motores. Além dos investimentos feitos para reduzir a emissão de poluentes, também se investiu para reduzir o ruído dos motores a jato, e obtiveram um grande sucesso. Os aviões de hoje, saem da cadeia de produção em torno de 50% mais silenciosos do que há 20 anos.

Diante isto, a presente monografia tem por objetivo realizar estudos relacionados à poluição por gases e ruídos causada pelo setor de transporte aéreo e como esta tem afetado o ambiente e a população ao redor dos aeroportos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aviação

Desde os tempos pré-históricos, havia no ser humano o desejo de voar. Mas foi apenas no século XX com Alberto Santos-Dumont que o ser humano conseguiu realizar este feito. Com sua aeronave, o 14-Bis, Santos-Dumont, após várias tentativas com dirigíveis, conseguiu a façanha de colocar para voar uma aeronave mais pesada que o ar, tornando-se assim o pioneiro a ter um voo registrado pela Federação Aeronáutica Internacional. Foi em 23 de outubro de 1906, em Paris na França, que Santos-Dumont percorreu a distância de 220 metros em 12 segundos, seis metros acima do solo (GODEFROID, 1993).

2.1.1. Aviação Mundial

Durante a Primeira Guerra Mundial o exército da Alemanha necessitava realizar o transporte de malas postais através de seus aviões militares, já que os serviços postais haviam sido interrompidos. Foi nesse ponto onde foram criadas as primeiras rotas regulares. Devido a este evento, o qual atingiu um cenário mundial, o transporte aéreo conseguiu se alavancar. Com o acontecimento da Segunda Guerra Mundial, a aviação teve uma ampla difusão. É possível relacionar que a indústria aeronáutica se estabeleceu e se fortaleceu nas duas grandes guerras do século XX (SIMÕES, 2003).

A aviação comercial surgiu no fim da década de 1910, com a criação de uma empresa alemã chamada Deutsche Luft-Reederei GmbH (DLR). Esta empresa foi a responsável pela inauguração da primeira rota comercial do mundo, que ligava Berlim a Weimar, na Alemanha. A empresa DLR tinha o apoio da empresa Junkers, uma empresa alemã fabricante de aviões (SIMÕES, 2003). Esta empresa Junkers em conjunto com outra empresa fabricante, a Sablating, começou a criar empresas e novas linhas aéreas no interior da Alemanha. Nesse mesmo período foram criadas algumas outras companhias pela Europa como a Latécoère, na França e a holandesa KLM (AIRWAYS, 2001). Nesta época as companhias eram subsidiadas pelos governos, estes que tinham interesses militares no desenvolvimento da

indústria aeronáutica. Estas companhias transportavam basicamente malas postais, malas diplomáticas (SIMÕES, 2003).

No início da década de 1920, o transporte aéreo já carregava passageiros em 17 países europeus, na África, na Austrália e na América do Sul. Já nos EUA, havia o serviço regular de correio desde 1918, que por vezes transportavam alguns passageiros, onde estes viajavam sentados em pilhas de malas postais. A primeira companhia aérea das Américas foi fundada na Colômbia, em 1919, chamada Sociedade Colombiano-Alemã de Transportes Aéreos (SCADTA), que em 1939 passou a se chamar Aerovias Nacionales de Colombia S/A (AVIANCA) (SIMÕES, 2003).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, várias empresas aéreas foram criadas pelo mundo. O crescimento do número de empresas se deu de forma rápida acabou estabelecendo novas rotas aéreas e o aumento das linhas já estabelecidas (CHANT, 1975).

A maioria empresas aéreas estatais na América Latina e na Europa foram organizadas a partir da fusão de várias companhias privadas que passavam por dificuldades financeiras no momento de crescimento pós-guerra (DAVIES, 1984).

2.1.2. Aviação no Brasil

Foi em 1924 que as primeiras rotas comerciais foram estabelecidas no Brasil, expandidas das rotas internacionais operadas pelas primeiras companhias aéreas que surgiram na Europa e nos Estados Unidos na década de 1920. Foi com a Compagnie Générale Aéropostale, uma empresa francesa de serviços postais, que surgiram os primeiros projetos de implantar uma rota aérea no Brasil e seu objetivo era que prolongasse uma linha aérea partindo da África que fosse até a América do Sul (DAVIES, 1984).

No ano seguinte a criação das primeiras rotas comerciais, surgiu a primeira legislação brasileira sobre o transporte aéreo e com ela surgiram algumas empresas aéreas no Brasil. O setor foi dominado basicamente por duas empresas, a francesa Compagnie Générale Aéropostale e a subsidiária da Lufthansa, a Condor Syndikat. Em 1927 foi fundada por um alemão naturalizado brasileiro, a Viação Aérea Rio-Grandense S/A (VARIG). Em 1929, a subsidiária da Pan American Airways, a chamada Panair do Brasil foi autorizada a operar linhas internacionais no Brasil. Em

1933, foi criada por um grupo de empresários brasileiros, a Viação Aérea São Paulo (VASP), esta que operava linhas entre São Paulo, Ribeirão Preto, Uberaba, São Carlos e Rio Preto (CASTRO E LAMY, 1993).

No período pós Segunda Guerra, com a ideia de fundir várias empresas privadas que estavam prestes a falir, no Brasil ocorreu a incorporação da Aerovias, que foi a primeira companhia brasileira a operar rotas para os Estados Unidos (CASTRO, 1983). Em 1959 as três grandes companhias da época – VARIG, Cruzeiro e VASP – se uniram e fizeram um acordo para operar um conjunto um trecho que ligava Rio de Janeiro e São Paulo, dando origem a Ponte-Aérea (CASTRO e LAMY, 1993).

Em 1965 a maior companhia aérea brasileira da década de 1950 foi dissolvida, com isso a VARIG assumiu as rotas internacionais desta empresa, tornando-se assim a única companhia doméstica operando rotas internacionais em longo curso (SIMÕES, 2003).

Na década de 1960, a aviação comercial brasileira alcançou uma crise econômica de graves proporções. Devido a isso as empresas aéreas e o governo se juntaram para que pudesse estudar medidas que garantissem a continuidade dos serviços de transporte aéreo. As reuniões, chamadas Conferências Nacionais de Aviação Comercial (CONACS), aconteceram na década de 1960 e eles decidiram que conduziram uma política de fusão de empresas para que se reduzisse o número máximo para duas explorando o transporte internacional e três explorando o transporte doméstico (DAC, 2003a) (SIMÕES, 2003). Iniciou-se assim o regime onde o governo intervia nas decisões da empresa.

Iniciou-se na década de 1960 a segunda fase da evolução política governamental para a aviação civil, com a aquisição dos primeiros aviões turbo-hélice e jatos para a aviação civil brasileira (SIMÕES, 2003).

Devido a essas aeronaves maiores e mais modernas as empresas se viram forçadas a fazerem mudanças em suas linhas aéreas optando por cobrir apenas cidades onde houvesse maior expressão econômica. Assim de um total de 355 cidades servidas por linhas aéreas em 1958, somente 92 continuavam a ter o serviço em 1975 (CASTRO e LAMY, 1993).

2.2. Órgãos Ambientais

Os órgãos ambientais são responsáveis pela análise e emissão das licenças ambientais para um empreendimento ou atividade. A CBFT (Companhia Brasileira de Florestas Tropicais) oferece assessoria especializada em processos junto aos órgãos ambientais estaduais, federais e prefeituras onde o licenciamento ambiental é municipalizado.

2.2.1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

O IPCC foi criado em 1988 pela World Meteorological Organization (WMO) e pelo United Nations Environment Programme (UNEP). O painel é um órgão científico sob os cuidados das Nações Unidas (ONU) e tem por finalidade fazer avaliações periódicas da base científica das mudanças climáticas, seus impactos e riscos futuros, e opções de adaptação e mitigação. As avaliações fornecem uma base científica para que os governos de todos os níveis desenvolvam políticas relacionadas às condições climáticas e estejam sujeitas a negociações da Conferência do Clima da ONU. As avaliações são relevantes para as políticas, mas não são regulamentares, podem apresentar projeções de futuras mudanças climáticas com base em diferentes cenários e os riscos que a mudança climática coloca, e discutir as implicações das opções de resposta, mas não dizem aos políticos quais as ações a serem tomadas. (IPCC, 2013)

O IPCC representa uma oportunidade única de fornecer informações científicas rigorosas e equilibradas aos decisores, devido à sua natureza científica e intergovernamental. A participação no IPCC está aberta a todos os países membros da WMO e da ONU. Até 2013 eram 195 membros participantes. O Painel, composto por representantes membros dos Estados, reúnem-se em sessões plenárias para tomar decisões importantes. O gabinete do IPCC, eleito pelos membros dos governos, orienta sobre os aspectos científicos e técnicos do trabalho e os aconselha sobre gerenciamento e questões estratégicas relacionadas. (IPCC, 2013)

As avaliações do IPCC são escritas por centenas de cientistas líderes que oferecem seu tempo e experiência para coordenar os principais autores e serem os principais autores dos relatórios. Eles recrutaram centenas de outros especialistas

como autores contribuintes para fornecer conhecimentos complementares em áreas específicas (IPCC, 2013).

2.2.2. PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

Órgão científico nacional, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), foi baseado no IPCC. Instituído em 2009, o seu objetivo é fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas relevantes para o Brasil. Avaliação estas sobre os impactos, a vulnerabilidades e ações de adaptação e mitigação. As informações científicas são sistematizadas por meio de um processo objetivo, aberto e transparente de organização das informações produzidas pela comunidade científica sobre as vertentes ambientais, sociais e econômicas das mudanças climáticas. Assim, o Painel poderá subsidiar o processo de formulação de políticas públicas e tomada de decisão para o enfrentamento dos desafios representados por estas mudanças, servindo também como fonte de informações de referência para a sociedade (PMBC, 2011).

O PBMC está inserido nas atividades de implementação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, principalmente por seu eixo de Pesquisa e Desenvolvimento, mas também apoia as demais atividades relacionadas aos eixos de Mitigação, Adaptação e Disseminação do Conhecimento (PMBC, 2011).

Os Relatórios de Avaliação Nacional fornecem elementos preciosos para a implementação de políticas no Brasil, como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Os relatórios técnicos podem ainda subsidiar o país no desenvolvimento de metodologias nacionalmente apropriadas de monitoramento de emissões e no desenvolvimento de um sistema próprio de monitoramento, auxiliando na verificação da redução de emissões e do alcance das metas dos Planos setoriais de mitigação e da Política Nacional sobre Mudanças Climáticas, como na elaboração de um Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) (PMBC, 2011).

Bem como no IPCC, o PBMC também produz relatórios especiais, especialmente quando solicitado por conferências ou convenções ambientais, como subsidiar o Brasil no âmbito das discussões do Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (SUBSTA) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, como também políticas ambientais e sobre mudança do clima (PMBC, 2011).

O PBMC apoia o governo brasileiro com a disponibilização de uma análise integrada das informações sobre mudança do clima, que representa uma sinalização de áreas e temas prioritários para o Brasil, como a identificação das Ações de Mitigação Nacionalmente Adequadas (NAMA, sigla em inglês) a partir do conhecimento sobre as melhores práticas de redução de emissões setoriais para o Brasil e novas tecnologias para redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (PBMC, 2011).

2.3. Aeroportos

Pode-se definir aeroporto como uma área com a infraestrutura e os serviços necessários para o atendimento de aterrissagens e decolagens de aviões (Ashford et al., 1996, p.7). Também pode ser referido como base aérea, quando o aeroporto está designado a servir primariamente aviões militares.

Aeroporto podem ocupar grandes espaços, chegando por vezes a ocupar mais de 120 km². Grandes centros aeroportuários podem empregar diretamente mais de 20 mil pessoas, movimentar centenas de aeronaves, manejar centenas de toneladas de carga aérea e várias dezenas de milhares de passageiros num único dia de operação.

Os aeroportos acabam sendo grandes responsáveis no impacto ao meio ambiente, desde o processo de construção ao de operação. Foi com o crescimento da aviação civil e o início da operação das aeronaves a jato, no fim da década de 1960, que as autoridades começaram a se preocupar com os danos causados ao meio ambiente.

A fim de cumprir com o aumento de demandas que tem crescido cada vez mais, os aeroportos acabam tendo que passar por constantes adaptações em suas instalações. Com as readequações necessárias para que ocorra um crescimento da área dos aeroportos, são gerados impactos ao meio ambiente.

No Brasil a responsável pela fiscalização dos aeroportos, não só em questões ambientais, é a INFRAERO e sua missão é "prover infraestrutura e serviços aeroportuários com segurança, conforto, eficiência e comprometimento com a integração nacional" (INFRAERO, 2010). Com isto ela vem com o objetivo de desenvolver formas de contribuir e melhorar as condições de sustentabilidade dos aeroportos por ela fiscalizados.

2.4. Poluição

A definição de poluição pode ser dada conforme discorre a Lei n.º 6.938/81 como a "degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a fauna e flora; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos".

Sendo assim, o termo poluição é usado quando o ritmo vital e natural em uma área ou mais da biosfera é quebrado, afetando a qualidade ambiental, podendo oferecer riscos ao homem e ao meio, dependendo da concentração e propriedades das substâncias, como a toxicidade, e da característica do ambiente quanto à capacidade de dispersar os poluentes, levando-se em conta não só as consequências imediatas, mas também as de longo prazo, tanto no ambiente como no organismo humano (SCARLATO & PONTIN, 2006, p. 10-11).

A Revolução Industrial (1870) foi um importante fator modificador na estrutura da sociedade, por questões econômicas, e estas modificações nos levaram a um grande impacto ao meio ambiente, ocorrendo principalmente em áreas urbanas onde estavam presentes essas indústrias (ROCCO JR, 2008).

Atualmente temos como principal fonte de poluição do ar a combustão, que provém de veículos automotores, indústria e do aquecimento doméstico e de acordo com Derisio (2000), as fontes podem ser divididas em fixas ou estacionárias; móveis, onde se encaixam os aviões; naturais e as de origem de reações químicas na atmosfera.

Com a expansão do transporte aéreo se deu um aumento da poluição atmosférica (ROCCO JR, 2008).

2.4.1. Gases Poluentes

Por definição, gases poluentes são aqueles produzidos, principalmente, pela queima de combustíveis, resíduos orgânicos e vegetação florestal. Estes gases absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela terra, favorecendo o efeito estufa e o aquecimento global.

Em relação à queima de combustível, a principal preocupação é a poluição atmosférica, embora ajam outras formas de poluição presentes (VERGNHANINI FILHO, 2016). Na emissão de gases poluentes pelos processos de combustão estão presentes os óxidos de nitrogênio (NO_x – NO e NO_2), o material particulado (MP), o monóxido e o dióxido de carbono (CO e CO_2), os hidrocarbonetos não queimados, entre outros. Os óxidos de nitrogênio (NO_x), são formados principalmente por meio da combustão dos motores onde há nitrogênio e oxigênio sendo misturados com combustível em temperaturas altas (ROCCO JR, 2008); monóxido de carbono (CO) é formado no resultado da combustão quando durante a combustão falta oxigênio (FAGGI, 2012). Além de prejudicar o meio ambiente, estas substâncias também prejudicam a saúde. O CO , por exemplo, é uma substância inodora, insípida, incolor e inflamável. Quando pessoas entram em contato com pequenas quantidades desse gás sofre de enxaquecas e irritação nos olhos. O NO_x causa problemas respiratórios. Os UHC são os restos do combustível não queimado e não aproveitados e acabam sendo expelidos pelos motores em tamanhos bem pequenos. Estes se mantêm no ar e quando inspirados acabam penetrando as defesas do organismo e acabam ocasionando irritações pulmonares, bronquite, asma e até mesmo câncer de pulmão (ROSA & ANDRADE, 2012).

2.4.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) – monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) – conhecidos poluentes atmosféricos, são poluentes primários e um dos responsáveis pela redução na camada de ozônio e formação de oxidantes fotoquímicos, além de ser associado à chuva ácida (VERGNHANINI FILHO, 2016). Os NO_x são formados com a quebra das moléculas de nitrogênio do ar atmosférico, pela elevada temperatura de combustão. Estes acima de níveis de 1000 m, em voo de cruzeiro, geram um reduzido impacto local, porém este impacto é significativo na qualidade do ar da região (DRUNN, 2011) e quando em contato com pessoas atacam, por exemplo, as vias respiratórias (VERGNHANINI FILHO, 2016).

2.4.1.2. Material Particulado (MP)

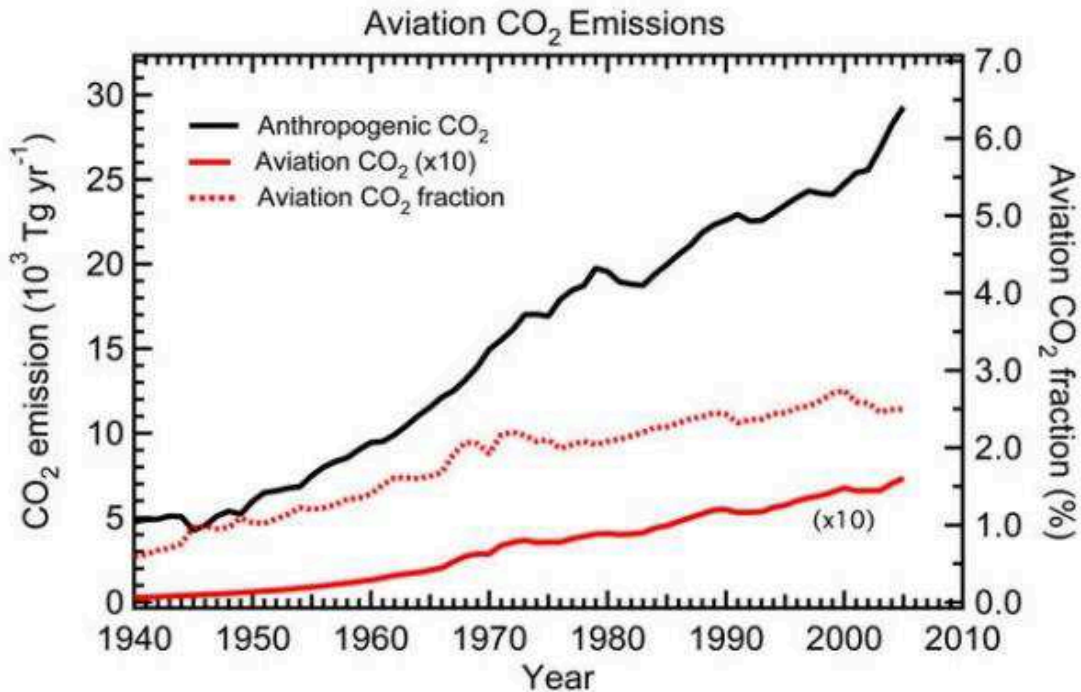
Composto por não apenas um único poluente, a composição química do MP é formada por partículas de variados tamanhos. O material particulado tem origem da queima de combustíveis fósseis das aeronaves. Quando é emitido pelos motores aeronáuticos, as partículas de MP se dividem em dois tipos: a fuligem, com destaque ao carbono, e partículas voláteis, com destaque ao ácido sulfúrico condensado, onde estas evaporam em temperaturas menores de 100°C. O material particulado pode ser separado em tipos classificados por tamanhos, um os quais são considerados inaláveis, chamados de MP_{2,5}, e outro são os materiais particulados totais, conhecidos também como MP₁₀, porém ambos são prejudiciais à saúde e a população (DRUNN, 2011).

2.4.1.3. Dióxido de Carbono (CO₂)

São diversos tipos de gases que contribuem para o efeito estufa. O dióxido de carbono (CO₂) é o mais importante deles, pelo seu poder de aquecimento e devido ao fato de que ele é o principal gás emitido pelos motores das aeronaves, através da queima do combustível (ANAC, 2008). Este é extremamente nocivo para o meio ambiente, sendo que segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) o maior responsável pelo efeito estufa do planeta é o CO₂ e 12% do aquecimento global proveniente da emissão de CO₂ foi causado pelo setor de transporte.

De acordo com a International Air Transport Association (IATA) desses totais 12% do aquecimento por emissão de CO₂ pelo transporte, 3% é proveniente da aviação. Com a figura (1) é possível visualizar este dado (ROSA & ANDRADE, 2012).

Figura 1 - Gráfico do crescimento da emissão de dióxido de carbono (CO₂) por parte da aviação



Fonte: D.S. Lee et al./Atmospheric Environment 43 (2009) 3520–3537.

É possível notar que as emissões de CO₂ na atmosfera aumentam entre a metade da década de 1960 e o começo da década de 1970 e sofrem um crescimento exponencial na virada para o século XXI (ROSA & ANDRADE, 2012).

2.4.1. Ruídos

O silêncio trata-se de uma qualidade do ambiente pouco importante, mas quando se é perdida, causa distúrbios diretamente à saúde. O conceito de silêncio pode ser entendido como ausência de sons indesejáveis, que limitam a concentração em atividades do dia a dia e a qualidade de vida. Logo se define ruído como um som indesejável, um som que incomoda de alguma forma o bem-estar psicológico, podendo ainda, dependendo de sua intensidade, causar danos fisiológicos irreversíveis (ELLER, 2000). Qualquer fenômeno capaz de causar ondas de pressão no ar é considerado uma fonte sonora (FERNANDES, 2005).

De acordo com alguns estudos científicos, somente em um nível de ruído abaixo de 39 dB(A), uma pessoa consegue relaxar durante o sono. A Organização Mundial da Saúde (OMS) diz que 55 dB(A) está no nível médio para que uma pessoa consiga viver bem. Em níveis acima de 75 dB(A), o ruído já é desconfortável, a comunicação é prejudicada, a pessoa se distrai causando uma irritabilidade da mesma e uma diminuição produtiva. Níveis acima de 80 dB(A), o ruído já gera uma perda de audição em pessoas mais sensíveis e passa a ser geral quando os níveis de ruído estão acima de 85 dB(A) (FERNANDES, 2002). Segundo descrito na norma da ABNT – NBR 11415 para do nível de ruído de 85 dB(A) uma pessoa só está permissível a uma exposição de 8 horas diárias, já para níveis de 115 dB(A) o máximo permissível são 7 minutos (ABNT, 1990).

A norma da ABNT – NBR 10151, intitulada “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”, tem como objetivo “fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades” (ABNT, 2000). Estas comunidades são no total de seis, entre elas cinco áreas urbanas e uma área rural. Esta norma tem sido a principal maneira de controle sonoro em uso do solo. Nesta é considerado que ruído noturno deve ser menor, pois neste horário há menos geração de ruídos ambientes. Na tabela (Tabela 1) a seguir, os Níveis de Critério de Avaliação (NCA) de ruído para áreas externas (FONTES, 2015).

Tabela 1 - NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT – NBR 10151/2000

Esta tabela é válida para ambientes externos. Já para ambientes internos, também de acordo com a NBR 10151 é adotada a diminuição do NCA de 10 dB(A)

com as janelas abertas e 15 dB(A) quando as janelas estão fechadas. O período diurno é correspondente ao intervalo de 7h00 às 22h00, o período noturno é corresponde ao intervalo de 22h00 às 7h00 (FONTES, 2015).

O ruído aeronáutico é aquele vindo da operação das aeronaves ou dos equipamentos de apoio às aeronaves (NYKIEL, 2009). Este pode afetar os tripulantes e os trabalhadores de solo, além dos impactos socioambientais pelo aumento da poluição sonora provocada principalmente por pousos e decolagens de grandes aeronaves (PESSOA, 2016).

No início do desenvolvimento da aviação, em meados do século XX, devido às tecnologias da época não serem tão avançadas e não ser um fator que influenciasse no voo, não se dava a devida importância aos impactos causados pelo ruído aeronáutico (PESSOA, 2016). Foi em 1944, durante a Convenção de Aviação Civil Internacional de Chicago que os órgãos internacionais expuseram suas preocupações relacionadas ao impacto ambiental causado pela aviação. A preocupação naquele momento eram os ruídos causados pela hélice (DINATO, 2011). Esta preocupação tornou-se mais intensa devido ao avanço da tecnologia e a chegada dos motores a jato, estes que eram maiores e mais ruidosos (PESSOA, 2016).

Na década de 1970 a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) citou pela primeira vez no Anexo XVI de Proteção Ambiental, estudos sobre o tema relacionado a ruídos. De acordo com o avançar de tecnologias, a urbanização de forma desenfreada e inconsequente ao redor da aérea de aeroportos, aumento na demanda de voos, começaram a surgir maiores reclamações por parte da população em torno dos aeroportos e com isso estudos e pesquisas começaram a ser desenvolvidos para diminuir o impacto do ruído na população e nos trabalhadores de forma que isso não afetasse as operações de forma drástica (PESSOA, 2016).

Foi destacado por Santos e Saad (2014) e Santos e Machado (2016) que a poluição sonora proveniente dos ruídos dos motores, é o maior desafio ambiental para os aeroportos e tende a continuar aumentando a preocupação no futuro, por ser esperado um aumento nas operações aéreas. Não têm sido satisfatórias as estratégias de mitigação adotadas pelos aeroportos e as companhias aéreas para a diminuição do impacto do ruído (HENKES & PÁDUA, 2017).

3. METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os métodos aplicados para a problematização do tema e o embasamento dos dados técnicos.

A metodologia para a realização deste trabalho utilizou-se da pesquisa bibliográfica elaborada a partir de materiais já publicados como livros, artigos, dissertações e outros, nos quais envolviam estudos sobre a poluição através das emissões de poluentes e ruídos, em relação ao impacto gerado no entorno de aeroportos.

Através desta pesquisa foram obtidos informação e dados sobre os cálculos a serem utilizados. A partir dos resultados obtidos nos cálculos dos três aeroportos escolhidos, serão analisados os níveis de cada um a fim de apresentar possíveis melhorias na diminuição da poluição.

3.1. Locais de estudo

3.1.1. Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos

O Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, também conhecido como Aeroporto Internacional de Cumbica (IATA: GRU, ICAO: SBGR), é o principal aeroporto e o segundo mais movimentado do Brasil. Localizado na cidade de Guarulhos, a uma distância de 25 quilômetros do centro de São Paulo, a principal metrópole que o aeroporto atende (ROCCO JR, 2008).

É o aeroporto internacional mais movimentado do Brasil e está em segundo lugar em quantidade total de tráfego de passageiros, apenas atrás do aeroporto de Congonhas. No que se trata de transportes de carga, é o maior da América Latina e 37ª posição entre os mais movimentados do mundo (ROCCO JR, 2008).

No aeroporto operam um total de 37 companhias aéreas nacionais e internacionais, voando para 23 países em mais de 100 cidades do Brasil e do mundo (ROCCO JR, 2008).

Tabela 2 - Pousos e Decolagens do SBGR

	2013	2014	2015
Nacionais	195.720	208.725	204.167
Internacionais	68.610	76.024	75.934

Fonte: DECEA

3.1.2. Aeroporto Internacional de Belo Horizonte – Confins

O Aeroporto Internacional de Belo Horizonte-Confins – Tancredo Neves (IATA: CNF, ICAO: SBCF) é o aeroporto internacional do município de Confins, em Minas Gerais. É o principal aeroporto do estado de Minas Gerais, se localizando a uma distância de 38 quilômetros do centro da cidade de Belo Horizonte, sendo assim, o mais distante aeroporto do Brasil em relação à principal cidade que o serve (WIKIPEDIA).

Tendo uma localização privilegiada em relação aos principais centros consumidores do país, o Aeroporto Internacional de Belo Horizonte está posicionado na região compreendida no eixo São Paulo-Rio de Janeiro-Belo Horizonte (BH AIRPORT).

O Aeroporto Internacional de Belo Horizonte-Confins, BH Airport, possui dois terminais de passageiros em operação (terminais 1 e 2) com capacidade de atender a uma demanda anual de 22 milhões de passageiros. Concentra em suas instalações sistemas de avançada tecnologia, um terminal de carga aérea totalmente automatizado, pista dotada de equipamentos para pouso de precisão (ILS CAT I) e todos os demais auxílios às operações aeronáuticas (BH AIRPORT).

Tabela 3 - Pousos e Decolagens do SBCF

	2013	2014	2015
Nacionais	105.123	102.743	109.218
Internacionais	2.739	3.083	2.828

Fonte: DECEA

3.1.3. Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre

O Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre (IATA: REC, ICAO: SBRF) é o aeroporto internacional do município de Recife, em Pernambuco. É o principal aeroporto do estado de Pernambuco, se localizando a uma distância de 12 quilômetros do centro de Recife, atendendo a movimentações de passageiros para voos domésticos e internacionais.

Tabela 4 - Pousos e Decolagens do SBRF

	2013	2014	2015
Nacionais	62.254	57.701	56.534
Internacionais	1.964	1.964	2.039

Fonte: DECEA

3.2. Como foram obtidos os resultados para as análises

3.2.1. Emissão de poluente – CO₂

Foi usado para estimar a emissão do dióxido de carbono, o método de referência do IPCC, conhecido como Método “Top-Down”. Este se utiliza do consumo aparente dos combustíveis para que se estimem as emissões de fases do efeito estufa, em outras palavras, consideram-se as emissões de CO₂ a partir de dados da produção e do consumo de energia, sem o detalhamento de como é consumida esta energia (GOMES, FARIA E SILVA, 2011).

Com este Método “Top-Down” é possível prever a conversão das medidas do consumo de combustível em uma unidade comum. A quantidade de consumo de combustível (CA, consumo aparente) está em unidades de medidas metros cúbicos (m³) e foram transformadas para CC, consumo de combustível, na unidade de medida terajoule (TJ), o que será convertido em toneladas de CO₂. A unidade de energia é encontrada mediante a utilização do fator de conversão (F_{conv}) e do fator de correção (F_{corr}) (GOMES, FARIA E SILVA, 2011).

O fator de conversão é referente à unidade de medida da quantidade de combustível por tonelada equivalente de petróleo (tep), baseado no Poder Calorífico Superior (PCS) do combustível. Estes valores podem variar ano a ano, de acordo com a publicação do Balanço Energético Nacional (BEN) pelo Ministério de Minas e Energia (MME). No balanço publicado, o conteúdo energético se baseia no PCS, porém para o IPCC, a conversão do consumo aparente em unidade de energia utiliza-se o Poder Calorífico Inferior (PCI). Portanto, o fator de correção utilizado é a transformação de PCS para PCI, seguindo o que é exigido pelo IPCC. O fator é dado de acordo com o estado físico da matéria, combustíveis sólidos e líquidos tendo um fator de correção de 0,95, e combustíveis gasosos, com um F_{corr} de 0,90, baseado que foi estipulado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), indicado na tabela abaixo (Tabela 5) (GOMES, FARIA E SILVA, 2011).

O valor de tep é representado pela quantidade de energia que contém em uma tonelada de petróleo médio, equivalente à em média 10.000 megacalorias (Mcal). A quantidade de energia de 1 tep no Brasil equivale a 10.800 Mcal, pelo tipo de petróleo que foi adotado como padrão, o que é aproximadamente $45,2 \times 10^{-3}$ TJ (GOMES, FARIA E SILVA, 2011). Diante disso, tem-se então a primeira fórmula (1).

$$CC = CA.F_{\text{conv}}.45,20.10^{-3}.F_{\text{corr}} \quad \text{TJ} \quad (1)$$

Devido ao consumo de energia ser dado em TJ, é possível obter a quantidade de carbono (QC) emitida na queima do combustível em toneladas (tC). Para que essa transformação ocorra, é preciso ter o fato de emissão (F_{emis}) dos combustíveis, o que significa que para cada 1 TJ de energia (tC/TJ) consumido é emitido uma quantidade respectiva de toneladas de carbono. Para cada combustível há um valor de fator de emissão (Tabela 5), estes valores são fornecidos pelo IPCC e pelo MCT (GOMES, FARIA E SILVA, 2011). Tem-se a segunda fórmula (2).

$$QC = CC.F_{\text{emiss}} \quad \text{tC} \quad (2)$$

Por fim, tendo a quantidade de carbono emitida é possível encontrar as emissões de dióxido de carbono. A transformação será feita em função dos pesos

moleculares¹, onde 12 tC corresponde a 44 tCO₂ (GOMES, FARIA E SILVA, 2011). Tem-se a terceira fórmula (3).

$$ECO_2 = QC.44/12 \quad tCO_2 \quad (3)$$

Tabela 5 - Fatores de conversão, correção e emissão de combustíveis utilizados no Método “Top-Down”.

Combustível	Fator de Conversão (tep)	Fator de Correção (PCS/PCI)	Fator de Emissão (tC/TJ)
Gasolina de Aviação	0,763	0,95	18,9
Querosene de Aviação	0,822	0,95	19,5

Fonte: IPCC e MCT

De acordo com os resultados agregados, pode-se então estimar a emissão de CO₂ em aeroportos, tendo como base o número de pousos e decolagens por ano. O número de pousos e decolagens foi retirado do anuário do CGNA, a partir de relatórios com base nos anos entre 2013 a 2015. A fórmula empregada para encontrar o indicador de emissão total por aeroporto para cada ano é a seguinte:

$$\text{Total de emissão por aeroporto} = \frac{\text{Total de emissão de CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)}}{\text{Número de pousos e decolagens}} \quad (4)$$

3.2.2. Ruídos Aeronáuticos

Os cálculos para se obter uma estimativa do ruído aeronáutico foram feitos através de exemplos matemáticos do livro *Planning and Design of Airports*. McGraw - Hill Professional Publishing; 5th ed; 2010.

As estimativas não foram realizadas de forma mais exatas pela dificuldade de acesso aos dados de medições e disponibilidade/deslocamento até aos aeroportos em questão. Foram encontrados alguns trabalhos relacionados ao tema, porém utilizava-se de softwares especializados em medições de ruídos ou equipamentos apropriados para a função.

¹ Peso molecular do Carbono é 12 e do Oxigênio é 16. Portanto a do CO₂ é 44.

Um dos softwares encontrado para realizar as estimativas do ruído, foi o Integrated Noise Model (INM), com a finalidade de avaliar os impactos de ruído das aeronaves nas imediações dos aeroportos. O software foi desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA), e é utilizado em mais de 1000 organizações, entre elas a INFRAERO, sendo a metodologia padrão para avaliações de ruído. O software possui um banco de dados muito vasto, obtido de testes de homologação e certificação de aeronaves. Devido a essa disponibilidade de dados confiáveis sobre o ruído gerado por diferentes aeronaves nos diferentes processos de voo nas proximidades do aeroporto, se torna fundamental para validar a obtenção de valores do impacto sonoro que as aeronaves ocasionam (BARRETO, 2015).

É levado em consideração para a realização dos cálculos fatores como o peso, a potência do motor, a reversão do fluxo dos motores, a rolagem dos pneus durante a aterrissagem e o ruído emitido durante os testes de certificação. Também são considera as condições meteorológicas como a velocidade do vento, umidade do ar, variação da temperatura com a altitude (BARRETO, 2015).

No software INM é utilizada a interpolação de dados sendo utilizado o banco de dados Noise, Power, Distance (NPD), onde envolve um conjunto de dados com informações sobre o nível sonoro em decibéis (dB) para várias combinações de distâncias entre observador-avião e motor de aviões com empuxo corrigido. O cálculo dos níveis sonoros é executado sobre uma grade de pontos que são usados durante a elaboração de curvas de ruído sobre os mapas da região (Figura 2) que está sendo utilizada, para analisar o impacto do ruído sobre uma região habitada (BARRETO, 2015).

Figura 2 - Mapa de localização do sítio aeroportuário



Fonte: Thamíris de Oliveira Barreto, 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Assim que é designado o sítio aeroportuário, o software determina então a área populacional em volta, como áreas residenciais, áreas industriais, diversos, manancial e vago, como são mostradas na figura (Figura 3) abaixo.

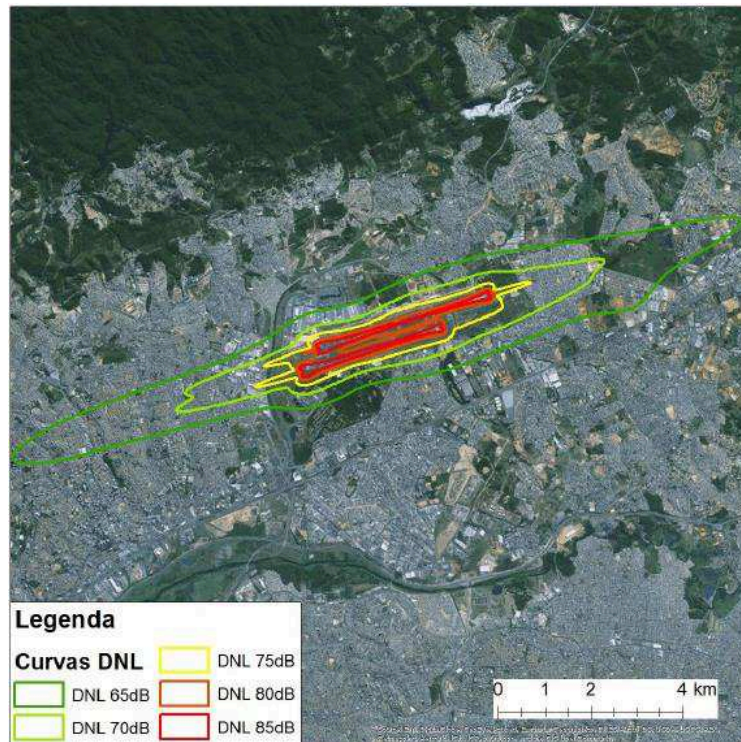
Figura 3 - Uso real do solo no entorno do Aeroporto de Guarulhos



Fonte: SIGMA – Infraero

Feitas as divisões, é possível então que as curvas de ruídos (Figura 4) sejam traçadas pelo software para um cálculo com maior exatidão. Porém, o INM é um modelo de avaliação média de ruído, para cálculos estimados em longo prazo, onde se utiliza dados mensais ou anuais de entrada. Portanto, podem ocorrer diferenças entre o que foi estimado e as medições locais (BARRETO, 2015).

Figura 4 - Curvas de ruído na métrica DNL do Aeroporto de Guarulhos



Fonte: Thamiris de Oliveira Barreto, 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Com a finalidade de demonstrar a eficiência do programa com os cálculos realizados através do modelo matemático, determinado pela norma FAR 150 – PART C – SEÇÃO 205, será demonstrado os resultados obtidos através do programa e os exemplos do livro para uma comparação. Para o modelo matemático, foram utilizadas algumas equações do livro Planning and Design of Airports. Robert Horonjeff et al.; 5th ed; 2010.

3.2.2.1. Sound Exposure Level (SEL) – Nível de Exposição Sonora

O SEL é definido como a energia sonora total contida em um evento de ruído, a partir da fórmula (5).

$$L_{AE} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \cdot \int_{t=0}^T 10^{\frac{L_{At}}{10}} dt \right] \quad (5)$$

Sendo T_0 igual 1 segundo, para que o logaritmo se mantenha adimensional; L_{At} , a função que descreve o som da aeronave em passagem em razão do tempo (PORTO, 2016).

O uso desta integral se faz difícil visto que não se tem definido quando ocorre o início e o término da passagem de sonora da aeronave e também a própria continuidade da função L_{At} . É possível contornar as dificuldades do uso da integral utilizando leituras de som com intervalos regulares e empregando um somatório para um cálculo aproximado (PORTO, 2016). Sendo assim a fórmula (6) passa a ser.

$$L_{AE} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \cdot \left(\sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right) \right] \cdot \Delta t \quad (6)$$

Onde nesta T_0 permanece sendo igual a 1 segundo, para que o logaritmo seja mantido como adimensional, L_{Ai} é *i-ésima* leitura de som e Δt é a duração das leituras, onde normalmente é de 0,5 segundos (PORTO, 2016).

3.2.2.2. Equivalent Steady Sound Level (L_{eq}) – Nível de Som Estável Equivalente

O SEL é mais adequado para eventos individuais. Porém, é frequentemente necessário quantificar eventos de longa duração, como uma hora, várias horas ou mesmo um dia. Logo, nestes casos será empregada uma métrica para quantificar os eventos neste tempo adequado as longas durações. Esta é o L_{eq} (PORTO, 2016).

Matematicamente, o L_{eq} emprega a mesma equação usada para estimar L_{AE} (o SEL), sendo que, no entanto, o valor de T representará a duração total do tempo de interesse (PORTO, 2016). Tem-se a fórmula (7) a seguir.

$$L_{eq} = 10. \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \cdot \Delta t \right] \quad (7)$$

Onde T é igual à duração total do tempo de medição, L_{Ai} é *i-ésima* leitura de som, Δt é a duração das leituras e N é o número de leituras realizadas. T e Δt devem apresentar as mesmas unidades (PORTO, 2016).

Uma versão desta equação, mais eficiente em termos computacionais, apresentada pela fórmula (8).

$$L_{eq} = 10. \log \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right] \quad (8)$$

O processo computacional descrito nas duas equações anteriores não faz qualquer distinção entre as fontes, ou seja, ele acumula os níveis de ruído produzidos por aeronaves e as demais fontes. Quando o L_{eq} é calculado desta forma é chamado de L_{eq} total (PORTO, 2016).

No entanto, muitas vezes é útil saber apenas a componente aeronave. Este pode ser mensurado a partir dos níveis de exposição ao som de eventos individuais (L_{AEj} sendo relativo ao *j-ésimo* evento) (PORTO, 2016) usando a fórmula (9) abaixo.

$$L_{eq} = 10. \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{j=1}^M 10^{\frac{L_{AEj}}{10}} \right] \quad (9)$$

Onde L_{AEj} é o nível de exposição de som produzido pela aeronave durante o período de tempo; T é o período de tempo de interesse, por exemplo, 1 hora, porém medido em segundos; M é o número de eventos de ruído da aeronave durante o período T (HORONJEFF et al., 2010).

Esta equação acumula toda a energia sonora da aeronave de vários eventos, então o espalha uniformemente ao longo do tempo dividindo-se pelo comprimento do período (não apenas o comprimento de tempo em que a aeronave estava presente) (HORONJEFF et al., 2010).

3.2.2.3. Day-Night Average Sound Level (L_{dn} ou DNL) – Nível de Som Médio Dia-Noite

O DNL é uma métrica utilizada para descrever a exposição do som ao longo de um período de 24 horas e a unidade é dada em decibéis. Este incorpora um período de tempo que adiciona 10 dB aos níveis de som que ocorrem entre 22:00 e às 7:00. Enquanto a magnitude da ponderação periodicamente torna-se um tema de discussão dentro da comunidade científica, a intenção é explicar um aumento presumido da sensibilidade humana ao barulho durante as horas noturnas. Para o cálculo de exposição do som médio diurno (HORONJEFF et al., 2010), utiliza-se a equação (10) a seguir.

$$L_{dn} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{86,400} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{AE,i} + W_i}{10}} \Delta t \right) \quad (10)$$

Onde o L_{dn} é o nível de som médio dia-noite por 1 dia; $L_{A,i}$ é o nível de som ponderado instantâneo medido, o numeral equivale ao total de segundos em um dia (86400); W_i é a ponderação do tempo do dia para o *i-ésimo* som ponderado (0 dB se ocorreu entre 7:00 e 22:00; 10 dB se ocorreu entre as 22:00 e 7:00); Δt é tipicamente 0,5 segundos ou menos (unidades devem estar em segundos); N é igual a $86400/\Delta t$.

O DNL da aeronave pode ser calculado a partir de eventos individuais usando os níveis de exposição do som (HORONJEFF et al., 2010), através da equação:

$$L_{dn} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{86,400} \sum_{j=1}^M 10^{\frac{L_{AE,j} + W_j}{10}} \Delta t \right) \quad (11)$$

Onde o $L_{AE,j}$ é o nível de exposição de som produzido pela aeronave durante o dia; W_j é a ponderação do horário do dia para a passagem da aeronave (0 dB se ocorreu entre 7:00 e 22:00; 10 dB se ocorreu entre as 22:00 e 7:00); M é o número de eventos de ruído produzido pela aeronave durante o período de 24 horas. Esta equação é aplicada para se determinar o DNL de algumas aeronaves em várias ocasiões durante o dia (HORONJEFF et al., 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Emissão de poluente – CO₂

Os resultados registram na sequência, dados dos combustíveis utilizados na aviação, gasolina e querosene (Tabela 6), para chegar aos valores de emissão de CO₂. Para ao final fazer uma comparação, foram escolhidos dados entre os anos de 2013 e 2015.

Tabela 6 - Consumo de energia do setor de transporte aéreo
10³ tep

Fontes	2013	2014	2015
Gasolina de aviação	58	58	49
Querosene de aviação	3608	3651	3609

Fonte: BEN

Com os respectivos dados obtidos, foi calculado, através da equação (1), o consumo de combustível (Tabela 7).

Tabela 7 - Consumo de combustível

Fonte	2013	2014	2015
Gasolina [TJ]	1,9	1,9	1,6
Querosene [TJ]	127,4	128,9	127,4

Fonte: Próprio autor

A partir dos valores de consumo de combustível, através da equação (2) foi possível estimar a quantidade de carbono em toneladas emitida na queima do combustível (Tabela 8).

Tabela 8 - Quantidade de carbono emitida

Fonte	2013	2014	2015
Gasolina [tC]	35,92	35,92	30,34
Querosene [tC]	2483,33	2512,93	2484,02

Fonte: Próprio autor

Encontrados os valores da quantidade de carbono, é possível estimar, pela equação (3), os valores da emissão CO₂ (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantidade de dióxido de carbono proveniente das emissões

Fonte	2013	2014	2015
Gasolina [tCO ₂]	131,69	131,69	111,25
Querosene [tCO ₂]	9105,56	9214,07	9108,08

Fonte: Próprio autor

As emissões de CO₂, um dos maiores causadores do efeito estufa, quando a fonte era a gasolina permaneceu a mesma nos anos de 2013 e 2014, pois os valores de consumo nesses anos não se alteraram. Já em relação a 2015, houve uma queda, já que também diminui o consumo do combustível. Quando a fonte em questão era o querosene já percebemos um aumento do ano de 2013 para o ano de 2014 e posteriormente uma queda no ano de 2015, devido a que houve um aumento de consumo em 2014 e logo uma diminuição do consumo em 2015.

Dados os números de pouso e decolagens, de voos nacionais e internacionais, dos determinados aeroportos (Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4), foi possível, através dos valores das estimativas das emissões de CO₂, ter um valor das emissões para estes aeroportos. Estes valores foram obtidos através da equação (4) (Tabela 10, Tabela 11), calculados para cada tipo de combustível.

Tabela 10 - Emissão por aeroporto para voos nacionais e internacionais, usando gasolina.

Nacional	2013	2014	2015
SBGR	0,000673	0,000631	0,000645
SBCF	0,001253	0,001282	0,001206
SBRF	0,002115	0,002282	0,002329
Internacional	2013	2014	2015
SBGR	0,001919	0,001732	0,001734
SBCF	0,048079	0,042714	0,046566
SBRF	0,067051	0,067051	0,064585

Fonte: Próprio autor

Tabela 11 - Emissão por aeroporto para voos nacionais e internacionais, usando querosene.

Nacional	2013	2014	2015
SBGR	0,046523	0,043625	0,044599
SBCF	0,086618	0,088625	0,083370
SBRF	0,146265	0,157806	0,161063
Internacional	2013	2014	2015
SBGR	0,132715	0,119772	0,119914
SBCF	3,324409	2,953472	3,219786
SBRF	4,63623	4,63623	4,465696

Fonte: Próprio autor

Em um comparativo entre viagens nacionais e internacionais, pode-se perceber que aproximadamente 80% do CO₂ emitido pelo transporte aéreo é proveniente de voos de mais de 1,5 mil quilômetros de distância e o combustível que mais emite é o querosene de aviação, devido ao seu fator de emissão (tCO₂) ter um valor mais elevado.

4.2. Ruídos

Os resultados apresentados são uma comparativa entre exemplos de medições utilizados em um modelo matemático encontrado no livro Planning and Design of Airports. McGraw - Hill Professional Publishing; 5th ed; 2010 e pelo programa INM.

No exemplo, foram dadas as seguintes medições de níveis de pressão sonora exposta dB(A), mostradas na tabela (Tabela 12) em um intervalo de 0,5 segundo durante o sobrevoo de uma aeronave:

Tabela 12 - Medições de som dB(A) durante o sobrevoo

Nível de pressão sonora			
t (s)		0,5	
Medições			
64,5	73,2	78,6	71,1
66,7	74,1	77,2	69,7
67,1	75,6	75,7	68,6
69,2	77,8	74,5	68
71,3	79,1	72,6	66,4
L _{AE} (dB)		84,04379	

Fonte: Planning and Design of Airports, McGraw – Hill Professional Publishing, 5th ed., 2010

É possível observar que em nenhuma das leituras foi excedido o valor de 79,1 dB, mas no conjunto total devido à duração no tempo, fez que o valor de L_{AE} fosse elevado. Esse valor sempre será mais elevado do que a maior leitura pela duração do efeito do amplificador. Na maioria das aeronaves, a diferença é de 7 a 12 dB. O motivo dessa mudança é a velocidade da aeronave, que quanto maior for menor será a diferença, e a menor distância entre o observador e a aeronave durante o sobrevoo, que quanto maior for a distância maior será a diferença (PORTO, 2016).

Para os seguintes níveis de exposição sonora (Tabela 13) têm-se as estimativas de som médio.

Tabela 13 - Níveis de exposição sonora

Nível de exposição sonora			
M (aeronaves)	4	Período (s)	3600
Medições			
84	89,1	90,2	86,6
L _{eq} (dB)		58,5333	

Fonte: Planning and Design of Airports, McGraw – Hill Professional Publishing, 5th ed., 2010

Através das medições e resultados obtidos, pode-se observar, que mesmo o nível de exposição de cada sobrevoo ser superior a 58,53 dB, ao processar a média, reduz o nível de exposição de som médio por hora.

Diante disso, a experiência mostra que muitas vezes o conceito de um nível de som médio pode ser mal interpretado pela comunidade afetada do seu ambiente de ruído (PORTO, 2016).

Os resultados na sequência foram obtidos pelo fato de ocorrer perturbação durante a noite pelo ruído, porém em um nível de som menor. As medições ocorreram em intervalos diferentes, como mostra a tabela (Tabela 14) a seguir:

Tabela 14 - Nível de pressão sonora dia-noite

Nível de pressão sonora dia-noite			
M (aeronaves)	5	N (h)	24
		N (s)	86400
Medições			
6:03 AM	81,2 +10	2:15 PM	79,2
10:32 AM	95,1	7:33 PM	88,8
$L_{dn}(dB)=$		10:05 PM	71,2 +10
		48,06036	

Fonte: Planning and Design of Airports. McGraw - Hill Professional Publishing; 5th ed; 2010

Com base nos resultados, o nível de som médio diurno, DNL, estima valores para um aumento presumido da sensibilidade humana a barulho durante as horas noturnas. Porém, como podemos perceber, a somatória das medições durante os diferentes intervalos, demonstrou estar inferior a 55 dB-A (nível de ruído equivalente ao de uma rua comum movimentada), onde geraria reclamações da comunidade que habita a área perto de aeroportos. Sendo assim, os resultados nos mostra, que durante os períodos da manhã e da noite, não são produzidos níveis altos de ruído entorno dos aeroportos.

4.2.1 Resultados do software INM

Os resultados obtidos pelo software foram estimados através de cálculos individuais pelo INM. Após inserir os pontos críticos (P01 ao P08), que são respectivamente centros educacionais, com suas respectivas coordenadas geográficas no programa INM 7.0b, foi obtido o nível sonoro nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN, mostradas na tabela (Tabela 15).

Tabela 15 - Nível de ruído nos receptores críticos levantados, nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN.

Ponto Crítico	DNL [dB (A)]	LAD [dB (A)]	LAN [dB (A)]
P01	73,8	67,8	67,3
P02	71,1	65,2	64,6
P03	67,8	61,9	61,3
P04	69,8	63,9	63,3
P05	70,4	64,4	63,9
P06	69,3	63,3	62,8
P07	68,3	62,3	61,8
P08	67,7	61,6	61,2

Fonte: Thamíris de Oliveira Barreto, 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ao comparar o software com o modelo matemático, percebemos algumas diferenças de valores, pois o programa processa o cálculo da medição forma individual. No modelo matemático, como foi retirado exemplos de um livro, as medições por si foram processadas em cálculos na forma de médias, resultando assim em uma diferença entre as tabelas (Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15).

Pode-se ter uma visão melhor através da tabela (Tabela 16), fazendo uma comparativa entre os resultados obtidos.

Tabela 16 - Análise comparativa entre resultados

Parâmetros de medições	Resultados pelo software INM				Resultados pelo modelo matemático
DNL [dB(A)]	73,8	71,1	67,8	69,8	48,06036
LAD [dB(A)]	67,8	65,2	61,9	63,9	84,04379
LAN [dB (A)]	67,3	64,6	61,3	63,3	58,53332

Fonte: Próprio autor

5. CONCLUSÃO

Dados os resultados obtidos a partir dos cálculos e as pesquisas feitas, vemos que querosene é o combustível que mais polui, por esse motivo e devido ao crescente debate sobre as consequências do efeito estufa, tem-se feitos testes para desenvolvimento de biocombustível a fim de emitir menos gases que contribuam com o efeito estufa. Os biocombustíveis para a aviação emitem ao longo de seu ciclo de vida uma quantidade menor de carbono, de 50% a 80% inferior, do que o combustível de aviação fóssil.

Com relação aos ruídos, antigamente os motores eram mais ruidosos do que os modernos devido a aceleração do escoamento ser mais intensa e abrupta nos motores, visando apenas gerar grande empuxo. Devido ao avanço da tecnologia vemos a evolução dos motores para que estes gerem menos ruídos. Hoje, as aeronaves já saem de fábrica mais ou menos 50% mais silenciosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, 2000.

ABNT. NBR 11415: Ruído aeronáutico: procedimentos, 1990.

AIRWAYS, 2001, v. 3 (May/Jun).

ANAC. 1º seminário internacional, Aviação e Mudanças Climáticas: Atualidades e Perspectivas, 2008.

ANAC. Aviação civil internacional e ruído aeronáutico. Disponível em <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/ruído-aeronautico> Acesso em: 01 de maio 2017.

ARAÚJO, Selma Maria de. Apostila Introdução às Ciências do Ambiente para Engenharia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, 1997.

BARRETO, Thamiris de Oliveira. Impacto ambiental sonoro da aviação regular em grandes aeroportos em ênfase no aeroporto de Guarulhos. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

BH AIRPORTT, acesso em: <http://www.bh-airport.com.br/br/p/24/localizacao-estrategica.aspx>. Acessado em: 11 de agosto de 2017.

BIELSCHOWSKY, Pablo; CUSTÓDIO, Marcos da Cunha. A Evolução do Setor de Transporte Aéreo Brasileiro, Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 72-93.

BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

CASTRO, G. C. de. Qualidade de serviços aéreos segundo óticas dos componentes envolvidos: uma aplicação da técnica Delphi. Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1983.

CASTRO, Newton de ; LAMY, Philippe. Desregulamentação do setor transporte e subsetor transporte aéreo de passageiros, Texto para discussão, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1993.

CHANT, Christopher. Aircraft: Fighters and bombers in action, London, England, UK, Octopus Books Limited, 1975.

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 2003a, A evolução do transporte aéreo no Brasil, Disponível em: www.dac.gov.br Acesso em: 28 de abril 2017.

DAVIES, Ronald Edward George. Airlines of Latin America since 1919. Smithsonian Institute Press, Washington D.C., United States of America, 1984.

DERISIO, José Carlos. Introdução ao Controle de Poluição Ambiental, São Paulo, Signus Editora, p. 87 e 116, 2000.

DINATO, Antonio Carlos. Ruído sonoro no entorno de aeroportos, Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto. Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, 2011.

DRUNN, Maurício Trasel. Inventário de poluentes atmosféricos do Aeroporto Internacional Salgado Filho com o uso do EDMS (Emission Dispersion Modeling System). Monografia (Especialização). Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

DUTRA, Pedro Assis. Poluição aeronáutica: impacto do setor aéreo ao meio ambiente. 57 f. Monografia (Graduação). Departamento de Ciências Aeronáuticas, Universidade Católica de Goiás, 2009.

ECYCLE. O impacto ambiental do transporte aéreo. Disponível em <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1315-o-impacto-ambiental-do-transporte-aereo.html> Acesso em: 23/04/2017.

ELLER, R. A. G. O ruído aeronáutico como fator de perda de valor dos imóveis residenciais – O caso do aeroporto internacional de São Paulo. Tese M.Sc., Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000.

FAGGI, Rodrigo. Formação de mistura ar combustível em motores de ignição por faísca a quatro tempos. Monografia (Pós-Graduação), Instituto Mauá de Tecnologia, 2012.

FERNANDES, J. C. Apostila Acústica e Ruídos, Faculdade de Engenharia UNESP Bauru, 2005.

FONTES, Diego Vianna. Avaliação de impacto sonoro no entorno do Aeroporto Internacional de Viracopos. Projeto de Graduação. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

GODEFROID, L. B. Propagação de Trinca por Fadiga sob Carregamento com Amplitude Constante e Variável em Ligas de Alumínio para Indústria Aeronáutica. Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1993.

GOMES, Vallência Maíra; FARIA, Alexandre Magno de Melo; SILVA, Gerson Rodrigues da. Combustíveis e emissão de gases do efeito estufa: tendência de descarbonização da economia brasileira e de Mato Grosso entre 2000 e 2008, 2011.

HENKES, Jairo Afonso; Pádua, Adailson Damião Barbosa de. Desenvolvimento sustentável na aviação brasileira: histórico, principais avanços e desafios, 2017.

HORONJEFF, Robert et al. Planning and Design of Airports. 5 ed. 2010. 670 p.

IPCC, 2013. Disponível em: http://ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf. Acesso em: 07 de agosto 2017.

NYKIEL, Thiago Pimentel. Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros. Trabalho de Graduação. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

PESSOA, G. M. G. Ruído aeronáutico: impactos e perspectivas atuais. Trabalho de Graduação, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2016.

PMBC, 2011. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/organizacao/historia>. Acesso em: 07 de agosto de 2017.

PORTO, Fernando. Apostila Ciências do Ambiente, Poluição Sonora. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, 2016.

SANTOS, Jacqueline Costa; MACHADO, Humberto César. O ruído aeronáutico e os efeitos na saúde dos funcionários do aeroporto Santa Genoveva e de Guarulhos. PUC-GO – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2016.

SCARLATO, Francisco Capuano; PONTIN, Joel Arnaldo. Do Nicho ao Lixo: ambiente, sociedade e educação. São Paulo, Atual Editora, 2006.

SIMÕES, André Felipe. O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

ROCCO JR, José. Efeitos da poluição atmosférica na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos sobre ensaio de bioindicadores vegetais. Tese de M.Sc., USP, São Paulo, 2008.

ROSA, V. P.; DE ANDRADE, D. C. Redução da emissão de gases contribuintes para o efeito estufa na aviação, 2012.

VERGNHANINI FILHO, Renato. Emissão de óxidos de nitrogênio (NOX) na combustão industrial, 2016.

<https://portogente.com.br/portopedia/73481-aeroporto>. Acesso em: 23 de abril 2017.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_Internacional_de_Belo_Horizonte-Confins. Acesso em: 09 de agosto de 2017.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_Internacional_do_Recife. Acesso em: 08 de setembro de 2017.