INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Gabriel Gama Lemos

Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil

Trabalho de Graduação
2019

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

CDU: 504.3:656.71

Gabriel Gama Lemos

Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil

Orientador

Prof. Dra. Natália Jodas

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Lemos, Gabriel
Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil. Gabriel Gama Lemos.
São José dos Campos, 2019.
Número de folhas no formato 75f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2019. Orientador: Prof. Dra. Natália Jodas

1. Externalidades. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. APU

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEMOS, Gabriel Gama; **Externalidades socioambientais na construção civil: uma análise no setor de aeroportos**. 2019. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Gama Lemos
TÍTULO DO TRABALHO: Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil
TIPO DE TRABALHO/ANO: Graduação / 2019

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

Gabriel Gama Lemos
Rua H8B, 142, Campus do DCTA
12228-460, São José dos Campos - SP

Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Gabriel Gama L

Gabriel Gama Lemos

Autor

Prof. Dra. Natália Jodas

Orientador

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso e Nome do Curso a qual pertence o autor

São José dos Campos, 27 de novembro de 2019

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou, e à Isabela, minha companheira ao longo de três difíceis anos em que cursei engenharia civil-aeronáutica no ITA. Dedico também aos meus amigos do H8, pois, sem eles teria sido impossível concluir os cinco anos de curso.

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento deve ser feito para a Prof. Dra. Natália Jodas. Ela dedicou horas para me auxiliar e não mediu esforços para que este trabalho fosse finalizado de maneira satisfatória. Além disso, sua educação e seu carinho com os alunos são virtudes grandiosas e um alento para o Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Ao Prof. Dr. Alessandro V. M. Oliveira agradeço e elogio o companheirismo, a motivação e a dedicação que aplica nas disciplinas de graduação e pós-graduação que ministra e que tive a honra de cursar. Por fim, as conclusões do curso de engenharia civil-aeronáutica e deste trabalho não teriam sido possíveis sem o auxílio do meu colega de sala e projetos Francisco Vinícius de Oliveira Alves, o qual eu agradeço pela paciência e pela ajuda constante.

RESUMO

A preocupação sobre uma relação sustentável entre o meio ambiente e o desenvolvimento da sociedade tornou-se tema mundial ao longo das últimas décadas. Além disso, surgiram muitas propostas relacionadas à redução dos impactos das externalidades ambientais geradas pelos meios de produção. Dessa forma, este trabalho faz a contextualização histórica do tema e analisa como este é abordado pela economia e pela engenharia, além de relacioná-lo com os aeroportos. Identificadas essas expressões das externalidades, passa-se a tratar especificamente das emissões de poluentes atmosféricos pelo setor de aeroportos. Para isso, as maneiras como órgãos regulamentadores mundiais e nacionais tentam reduzir as emissões de poluentes atmosféricos também são exploradas. Além disso, aborda-se a evolução histórica da legislação ambiental brasileira e exploram-se as maneiras que o meio ambiente vem sendo tratado juridicamente no Brasil ao longo do tempo. Feita a abordagem dos marcos regulatórios sobre as emissões de poluentes atmosféricos, são estudados exemplos de aeroportos em outros países que possuem resultados melhores em relação às emissões. Soma-se a isso uma simulação numérica da redução de emissões de poluentes atmosféricos para o Aeroporto de Manaus. Por fim, são feitas recomendações a órgãos mundiais e ao Estado brasileiro para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos nos aeroportos.

ABSTRACT

The concern about a sustainable relationship between the environment and the development of the society began a worldwide theme over the last decades. Besides that, a lot of proposals have emerged related to reduction of the impacts of environmental externalities generated by means of production. Thus, this research makes the historical contextualization of the theme, and analyze how it's approached by economics and engineering, as well as relating it to airports. Once theses expressions of externalities were identified, this research started to deal specifically the air pollutant emissions. To this end, the ways in which the global and national regulators try to reduce the air pollutant emissions are also explored. In addition, the research addresses the historical evolution of Brazilian environmental legislation and explores the ways in which the environmental has been treated legally in Brazil over time. Once the approach of the legislation about air pollutant emissions was made, examples of airports at other countries which have better results of emissions were studied. In addition, a mathematical simulation about the reduction of air pollutant emissions at Manaus Airport were added to this work. Finally, recommendations are made to world agencies and the Brazilian state to reduce air pollutant emissions at airports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Curvas de produção (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 556) 23
Figura 1-2 – Taxa por emissão (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 560) 25
Figura 3-1 - Procedimentos adotados e fontes de informação para estimar as emissões da metodologia Tier 3A (ANAC, 2014, p. 22) 53
Figura 3-2 – Emissões de CO por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 45) 54
Figura 3-3 - Emissões de COV por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 48) 55
Figura 3-4 - Emissões de NOx por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 50) 55
Figura 3-5 – Contribuição para as emissões de poluentes atmosféricos para cada fase de utilização das APUs (ANAC, 2014, p. 49-51) 56
Figura 3-6 – Contribuição de cada emissor para cada poluente 57
Figura 3-7 - Contribuição das APUs para as emissões de poluentes atmosféricos 58
Figura 3-8 – Contribuição dos GSEs para as emissões de poluentes atmosféricos 59
Figura 3-9 – Simulações que o *software* admite 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Ranking por movimento de passageiros (INFRAERO, 2017) 32

Tabela 1.2 – Estimativa do total de resíduos gerados por passageiros 32

Tabela 2.1 – Regulamentação da qualidade do ar em diferentes países 38

Tabela 2.2 – Premissas para testes dos motores 40

Tabela 2.3 – Limites estabelecidos pela ICAO para certificação de motores para aeronaves 41

Tabela 2.4 – Padrões de qualidade do ar (CONAMA, 2018, p. 4) 47

Tabela 3.1 – Resumo da proporção das contribuições sobre as emissões de poluentes atmosféricos por atividades nos aeroportos brasileiros em 2013 56

Tabela 3.2 – Massa em toneladas dos gases emitidos pelas APUs 58

Tabela 3.3 – Massa em toneladas dos gases emitidos pelos GSEs 59

Tabela 3.4 – Sugestões da ICAO (ICAO, 2011, p. 172) 60

Tabela 3.5 – Sistemas de energia para aeronaves (ZURICH, 2018, p. 3) 61

Tabela 3.6 – Emissões de NOx e CO2 no aeroporto de Zurique em 2016 (ZURICH, 2018, p. 21) 62

Tabela 3.7 – Potencial de redução (*Aircraft Ground System Simulation*) 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
TG	Trabalho de Graduação
IATA	Associação Internacional de Transportes Aéreos
ONU	Organização das Nações Unidas
UNCED	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
GSE	Equipamento de apoio em terra
CO	Monóxido de carbono
NO_x	Óxidos de nitrogênio
COV	Compostos orgânicos voláteis
SOx	Óxidos de enxofre
MP	Material particulado
APU	*Auxiliary power unit*
SBNF	Aeroporto Internacional de Navegantes
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
BIM	*Building Information Modeling*
LEED	*Leadership in Energy and Environmental Design*

BREEAM	*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*
ICAO	Organização de Aviação Civil Internacional
FAA	*Federal Aviation Administration*
SARP	*Standard and Recommended Practices*
SN	*Smoke Number*
HC	Hidrocarboneto
CF	Constituição Federal
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
SFE	Sistema Fixo de Energia
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
MES	Partida dos Motores
LTO	Fase de Pouso e Decolagem
ZRH	Aeroporto de Zurique
SBUG	Aeroporto Internacional de Uruguaiana
SBJV	Aeroporto de Joinville
SBRJ	Aeroporto do Rio de Janeiro Santos Dumont
SBSL	Aeroporto Internacional de São Luís
SBRF	Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes
SBNF	Aeroporto Internacional de Navegantes
ACRP	*Aircraft Cooperative Research Program*

AGES	*Aircraft Ground Energy Systems*
ACI	*Aircrafts Council International*
PCA	*Preconditioned Air Unit*

LISTA DE SÍMBOLOS

Kg	quilos
Ton	toneladas
Cmg	custo marginal
CmgE	custo marginal das externalidades
CmgS	custo marginal social
kN	quilonewton
t	toneladas
t/a	toneladas por ano

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **16**

1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS **18**

1.1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS SOB A PERSPECTIVA DA ECONOMIA **22**

1.2 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS SOB A PERSPECTIVA DA ENGENHARIA **27**

1.3 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS RELACIONADAS AO SETOR DE AEROPORTOS **30**

2 MARCOS REGULATÓRIOS SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS RELACIONADAS AO SETOR DE AVIAÇÃO CIVIL **36**

2.1 PANORAMA INTERNACIONAL DOS MARCOS REGULATÓRIOS SOBRE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA AVIAÇÃO CIVIL **36**

2.2 PANORAMA BRASILEIRO DOS MARCOS REGULATÓRIOS RELACIONADOS AO MEIO AMBIENTE E A QUALIDADE DO AR **42**

2.2.1 Evolução da legislação ambiental brasileira 43

2.2.2 Regulamentação brasileira sobre a qualidade do ar 46

2.3 POLÍTICA AMBIENTAL DA INFRAERO **48**

3 EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM AEROPORTOS DO BRASIL: POSSIBILIDADES E DESAFIOS **52**

3.1 EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NOS AEROPORTOS BRASILEIROS **53**

3.2 OPORTUNIDADES DE REDUÇÕES DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS PELO USO DE APUS E PELOS EQUIPAMENTOS DE SUPORTE EM SOLO **59**

3.3 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO AEROPORTO DE MANAUS **63**

REFERÊNCIAS **69**

INTRODUÇÃO

As externalidades socioambientais geradas pelos meios de produção são variáveis importantes para o desenvolvimento sustentável da sociedade e do mundo. Dessa forma, são bem-vindos estudos e pesquisas que analisem como a sociedade é impactada pela construção civil e pela operação dos empreendimentos feitos por ela.

Além destes impactos, é importante ter em vista o uso racional dos recursos e insumos fornecidos pelo meio ambiente. A Tragédia dos Comuns (HARDIN, 1968) ensina que o consumo desenfreado de um recurso comum de acordo com interesses particulares é contra o interesse de uma comunidade, pois esgotaria este recurso comum.

Particularmente relacionadas à queima de combustíveis fósseis, as emissões de poluentes atmosféricos são sempre lembradas quando deseja-se analisar os impactos socioambientais de empreendimentos. É o caso do setor aeroportuário que, segundo a Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA, 2008, p. 32), é responsável por 2% das emissões de CO_2 e poderá atingir 3% até 2050.

Dessa forma, este trabalho destina-se a analisar como as emissões de poluentes atmosféricos é tratada no setor aeroportuário mundial e brasileiro. Mais do que isso, este trabalho propõe-se a recomendar algumas medidas que visam à redução dessas emissões para a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) e para o Estado brasileiro, particularmente pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO).

Para entender o tema e chegar até as recomendações finais foram cumpridas várias etapas de pesquisa. A primeira delas foi a contextualização histórica da preocupação mundial com as externalidades ambientais e a maneira como a economia e a engenharia tratam referido tema. A partir desse embasamento, estudou-se como a temática ganhou força no setor aeroportuário ao longo das últimas décadas e como é tratada atualmente.

Feitas as contextualizações necessárias sobre as externalidades, recortou-se para o impacto ambiental que será investigado pelo trabalho: as emissões atmosféricas. Dessa forma, são apresentados o panorama internacional dos marcos regulatórios sobre emissões de poluentes atmosféricos pelo setor da aviação civil, o panorama brasileiro de marcos regulatórios relacionados ao meio ambiente e a qualidade do ar, e a política ambiental da INFRAERO.

Em seguida, abordaram-se as possibilidades e os desafios relacionados às emissões de poluentes atmosféricos em aeroportos no Brasil. Para isso, são apresentados e analisados dados do Inventário de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil de 2014, fornecido pela Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC), e dos inventários de emissões de poluentes atmosféricos dos aeroportos de Uruguaiana (SBUG), Joinville (SBJV), Rio de Janeiro (SBRJ), São Luís (SBSL), Recife (SBRF), e Navegantes (SBNF), todos fornecidos pela INFRAERO. Ademais, compara-se os dados fornecidos por esses inventários e as medidas do programa ambiental da INFRAERO com as políticas usadas em outros países atinentes a emissões de poluentes atmosféricos em aeroportos.

Por fim, identificadas as oportunidades de redução das emissões por meio da regulamentação do uso das *Aircraft Power Units* das aeronaves e dos equipamentos para uso de serviço de solo, faz-se uma estimativa da redução da quantidade de poluentes emitidos no Aeroporto de Manaus para um ano de operação. Para isso, utiliza-se o *software Aircraft Ground System Simulator*, fornecido pelo Conselho Internacional de Aeroportos (ACI), que permite estimar a redução de emissão de poluentes atmosféricos a partir da instalação de um sistema fixo no solo para o fornecimento de energia elétrica e ar condicionado para as aeronaves enquanto operam em solo nos aeroportos.

1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS

Em 1972, a Organização das Nações Unidas oficializou a necessidade de critérios e princípios comuns que oferecessem aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente (DE PASSOS, 2009, p.1). Nesse sentido, durante a Conferência de Estocolmo daquele ano, a instituição proclamou várias diretrizes que deveriam orientar as relações entre o meio ambiente e o ser humano. A partir de então, a preocupação com a forma de produção de vários setores, bem como com o formato de utilização de recursos naturais e da geração de resíduos na natureza, tornou-se pauta mundial.

Ao mesmo tempo em que se confirmou a agenda ambiental entre as grandes pautas globais, tornou-se patente o grau de complexidade que o tema adquiriu em poucas décadas. Inicialmente identificado como um debate limitado pelas suas características técnicas e científicas, a questão do meio ambiente foi transferida para um contexto muito mais amplo, com importantes ramificações nas áreas política, econômica e social (LAGO, 2005, p. 17). Esta evolução deveu-se, em grande parte, à forma como foi tratado o tema no âmbito multilateral, cujos três marcos primordiais foram a Conferência de Estocolmo (1972), a do Rio De Janeiro (1992) e a de Joanesburgo (2002).

Esse crescimento da preocupação mundial com o meio ambiente vai ao encontro do que foi acordado na Conferência de São Francisco em 25 de junho de 1945. Nesta, a Carta das Nações Unidas foi assinada por cinquenta e um Estados, incluindo o Brasil que, entre outros objetivos, se comprometeram a conseguir uma cooperação internacional para resolver os problemas internacionais de caráter econômico, social, cultural ou humanitário (NAÇÕES UNIDAS, 1945, p. 1). Ou seja, as Nações Unidas, órgão multilateral mais relevante do planeta, entende, desde a sua fundação, que existem temas sensíveis que necessitam de cooperação para serem mitigados e resolvidos.

Na década da fundação da ONU, a grande preocupação era a manutenção da paz no pós-guerra e a autodeterminação de povos. Contudo, os desafios são constantes, se renovam e, com o passar das décadas, a instituição passou a construir diretrizes vinculadas à preservação do meio ambiente e ao uso sustentável dos recursos naturais. Como explica Lago (2005, p. 17), a temática ambiental possui importantes ramificações nas áreas política, econômica e social e, no âmbito das Nações Unidas, a preocupação sobre o tema data de décadas e é mundial. Resta entender, portanto, o que tem sido feito, na prática, para atender esses objetivos.

A partir do contexto histórico brevemente citado, pesquisadores passaram a desenvolver pesquisas voltadas a esta temática e a propor medidas a serem tomadas pela sociedade para não comprometer as gerações futuras. Nesse sentido, o canadense Maurice Strong, em 1973, usou pela primeira vez o conceito de ecodesenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política do desenvolvimento (BARBOSA, 2008, p. 4). Esse conceito reconhece que o progresso técnico efetivamente relativiza os limites ambientais, mas não os elimina e que o crescimento econômico é condição necessária, mas não suficiente para a eliminação da pobreza e disparidades sociais (ROMEIRO, 2003, p. 6).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED) desenvolveu o Relatório *Brundtland* ou "Relatório Nosso Futuro Comum" (*Our common future*), marcado por uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global, o qual recomendou uma lista de medidas a serem tomadas pelos Estados nacionais, entre elas: preservação da biodiversidade e dos ecossistemas; diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias que admitam o uso de fontes energéticas renováveis; controle da urbanização selvagem e integração entre campo e cidades menores; as necessidades básicas devem ser satisfeitas (BRUNDTLAND, 1978, p. 66). O Relatório também definiu metas a serem realizadas a nível internacional, tendo como agentes as diversas instituições internacionais, introduzindo: as organizações do desenvolvimento devem adotar a estratégia do desenvolvimento sustentável; a comunidade internacional deve proteger os ecossistemas supranacionais como a Antártica, os oceanos, o espaço; a ONU deve implantar um programa de desenvolvimento sustentável (BRUNDTLAND, 1978, p. 104).

Os pontos apresentados comprovam a notória preocupação com a problemática ambiental e como esta aumentou ao longo dos anos. Contudo, mesmo entre especialistas, não há unanimidade de opiniões e entendimento sobre a noção de desenvolvimento sustentável. Segundo o Relatório de *Bruntland*, o desenvolvimento sustentável é definido basicamente como "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades" (UNCED, 1991, p. 46).

Nesse sentido, sob a ótica da Economia, o debate acadêmico quanto à concepção de desenvolvimento sustentável divide-se entre duas correntes principais. A primeira delas é representada pela Economia Ambiental que, em poucas palavras, acredita que o sistema econômico é suficientemente grande para que a indisponibilidade de recursos naturais não seja uma restrição insuperável, pois o progresso científico e tecnológico é suficiente para superar a falta desses recursos (ROMEIRO, 2003, p. 6). A segunda corrente principal é da

Economia Ecológica, a qual considera o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém e que impõe uma restrição absoluta à sua expansão. Os progressos científico e tecnológico são vistos como fundamentais para aumentar eficiência na utilização dos recursos naturais, pois estes e o capital são considerados complementares (ROMEIRO, 2003, p. 10). A questão central da diferenciação entre as correntes é a interpretação acerca do limite dos recursos naturais. Em comum, as vertentes acreditam que é possível instituir uma estrutura regulatória baseada em incentivos econômicos capaz de aumentar imensamente a eficiência da utilização dos recursos naturais (ROMEIRO, 2003, p. 10).

Associada aos antagonismos entre economia ambiental e economia ecológica, existe a divergência entre as concepções de como é a relação entre o crescimento econômico e desenvolvimento. Segundo José Eli da Veiga (2008, p. 49), há opiniões que acreditam que o prolongamento da humanidade na Terra só será possível com o fim do crescimento econômico, e outras que concebem a compatibilidade entre a conservação da natureza e o crescimento econômico.

Ambas posições são extremas e devem ser consideradas com atenção. Nesse sentido, outros autores sugerem caminhos que interpretam crescimento econômico e desenvolvimento de maneiras menos extremadas, e sugerem outras trilhas para o desenvolvimento sustentável. Para esses autores, o desenvolvimento depende de como os recursos gerados pelo crescimento econômico são utilizados (VEIGA, 2008, p. 54).

Em outras palavras, seguindo o raciocínio de Veiga (2008, p.56), trata-se de analisar para que as matérias primas são utilizadas e como os bens produzidos são distribuídos. Dessa maneira, a análise isolada do crescimento econômico não interpreta verdadeiramente se há desenvolvimento na região econômica, pois não avalia o que foi gerado, para quem foi gerado e para que será usado. Sendo assim, o conceito de desenvolvimento é bem mais amplo que a do crescimento econômico, já que a busca pelo desenvolvimento sustentável envolve a distribuição correta dos bens gerados e a utilização adequada das matérias primas, impondo preocupações de ordem econômica, social e ambiental.

Como já foi citado, a problemática ambiental tornou-se parte da agenda mundial e, para observar a sua importância, pode-se ouvir as palavras do Secretário-Geral da ONU, António Guterres, durante o discurso de abertura da Assembleia Geral da ONU de 2019. Nesse, o líder pontua a importância de medidas efetivas acerca de assuntos relacionados ao meio ambiente, a crise de clima global e a importância da agenda do desenvolvimento sustentável.

Diante da complexidade atrelada à temática ambiental, foi delimitado como recorte do presente trabalho analisar as externalidades ambientais ligadas ao setor aeroportuário e, posteriormente, investigar particularmente os poluentes atmosféricos emitidos neste ramo. Para tanto, será realizada uma abordagem acerca das externalidades (posteriormente limitadas para externalidades ambientais), da legislação internacional e nacional referente às emissões de poluentes e sua aplicabilidade no setor da infraestrutura aeroportuária.

De início, é importante delimitar o que são as externalidades. Segundo MANZANARES (2014, p. 3), externalidades são decisões de consumo, produção e investimento, feitas por indivíduos, por comércios e pelas empresas e que afetam terceiros que não participam diretamente dessas transações. Um exemplo é o efeito econômico que a produção de uma fábrica que despeja resíduos em um rio terá na atividade de pesca nessas águas. Ou seja, a decisão de produção da fábrica incluí o despejo de resíduos no rio, o que afeta os pescadores, e terceiros que não participam das atividades da fábrica e que têm sua atividade econômica diretamente comprometida, devido às externalidades da produção fabril.

Segundo a definição acima, as externalidades não se limitam a consequências econômicas. Mais do que isso, é impossível não associar as externalidades ambientais ao desenvolvimento sustentável, o qual versa que a produção deve atender às demandas atuais sem comprometer as demandas futuras (BARBOSA, 2008, p. 2). Sendo assim, o controle das externalidades é de extrema relevância para o balanço entre a produção e o bem-estar social gerado, pois permite gerir os malefícios proporcionados pela produção e que atingem terceiros que não estão envolvidos com a produção.

Cita-se como exemplo de externalidade de produção com consequências socioambientais a emissão de dióxido de enxofre liberada pela queima de combustíveis fósseis em estabelecimentos industriais. Neste caso, o administrador da empresa libera o referido gás pelas chaminés de suas fábricas e essa poluição afeta toda a sociedade ao redor. Caso não haja uma regulamentação ou taxação sobre essas emissões, o produtor sente-se livre para buscar o nível de produção que lhe interessar e não levará em consideração os malefícios gerados para toda a sociedade devido às emissões causadas pela sua produção.

Fica evidente que as externalidades ambientais estão diretamente relacionadas ao bem--estar social, na medida em que afetam o meio ambiente como um todo. Ou seja, a inclusão da análise dessas externalidades geradas pela produção faz parte das preocupações mundiais acerca do desenvolvimento sustentável e por isso merecem atenção, regulamentação e metas de mitigação. É nesse sentido que trabalham os órgãos regulamentadores, os quais buscam

conciliar a necessidade do progresso, desenvolvimento com a conservação dos recursos naturais e da qualidade ecológica.

1.1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS SOB A PERSPECTIVA DA ECONOMIA

Como o foco deste trabalho atine-se às externalidades ambientais geradas pelo setor aeroportuário e, tendo em vista o objetivo de analisar a teoria econômica atinente ao tema, far-se-á uma breve explanação acerca de como a temática passou a ser tratada nesse âmbito e quais são as diretrizes atuais.

As primeiras abordagens da problemática remontam a década de 1930, quando o economista britânico Arthur Cecil Pigou publicou *The Economics of Welfare*, livro em que tratava das externalidades ou efeito externos de um ato de produção ou de consumo. Para Pigou (1934, p. 35), o mercado deveria internalizar este custo e, para isto, o Estado deveria intervir na relação para promover o *Welfare State*. Ou seja, o órgão regulamentador deveria impor ao causador uma taxação em valor equivalente ao custo da externalidade gerada.

Referido autor tomava como exemplo as fagulhas produzidas pelas locomotivas a vapor, as quais lançavam fragmentos de carvão incandescente das chaminés e provocavam incêndios de florestas ou campos nas proximidades das ferrovias. Considerava que uma taxa sobre os danos, imposta à empresa ferroviária, incitaria a instalação de dispositivos antifagulhas e permitiria limitar os prejuízos (PIGOU, 1934, p. 237). O que Pigou propõe, portanto, é a internalização dos custos dos danos ao setor produtivo, para que este diminua seu nível de produção ou se desenvolva tecnologicamente para diminuir as externalidades geradas pela sua produção.

Outro ponto de vista importante é que as externalidades provocam custos sociais e sua desconsideração provoca falhas de mercado. A teoria microeconômica ensina que o mercado mais eficiente é aquele que aloca os recursos de forma a garantir a maximização do excedente dos consumidores e produtores (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 253). Contudo, quando as empresas agem com negligência em relação às externalidades, os níveis produtivos são maiores do que deveriam ser e os recursos são mal alocados, provocando falhas de mercado. Isso acontece porque a não internalização do custo social da produção pelas empresas torna suas produções menos custosas. Em consequência, buscando auferir lucros maiores, as empresas aumentam seu nível produtivo até atingir o máximo lucro teórico possível.

Para buscar esse nível máximo de lucro, as empresas irão produzir até que o custo marginal de produção seja idêntico à receita marginal (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p.

225). A internalização do custo social da externalidade provocaria aumento do custo marginal da produção em todo o setor e refletiria na oferta e no preço de venda do produto.

Na Figura 1-1.a, ilustram-se as curvas de custo marginal e de preço para uma empresa inserida em um mercado competitivo. Por se tratar de um mercado deste tipo, a empresa será tomadora de preço e produzirá a quantidade q_1, correspondente à interseção entre o seu custo marginal e o preço P_1 do mercado. Ao tomar essa decisão, a empresa maximizará o seu lucro, uma vez que o preço P_1 é igual à receita marginal para qualquer volume de produção de uma empresa do mercado.

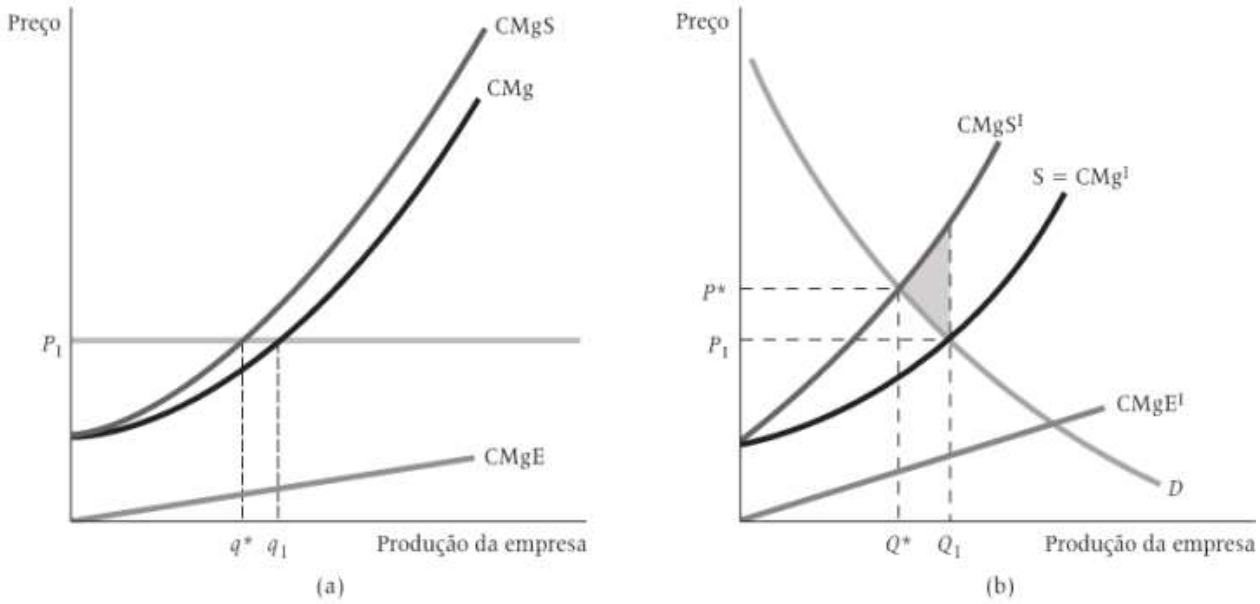

Figura 1-1 – Curvas de produção (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 556)

Contudo, este mercado está com falhas por ignorar as externalidades da produção, de tal forma que, do ponto de vista social, a empresa produz uma quantidade excessiva. Assim, deve avaliar-se o custo marginal da externalidade (CMgE), considerando uma reta a partir da suposição de que o aumento de produção produz efeitos externáveis em proporção constante, juntamente com o custo marginal de produção. Na mesma Figura 1-1.a, há a curva de custo marginal social, que é obtida pela soma do custo marginal de produção e o custo das externalidades. O nível de produção eficiente socialmente é aquele para o qual o preço do produto é igual ao custo marginal social da produção, no caso da Figura 1-1.a, q*. Ou seja, ao se internalizar os custos sociais, o nível de produção da empresa diminui de q_1 para q*.

A Figura 1-1.b auxilia a entender o que ocorreria se todas empresas ignorassem as emissões de externalidades. A curva CMg^1 é a curva de oferta do setor, o custo marginal das

externalidades da produção total do setor é $CMgE^1$ e o custo marginal social para todas as empresas produtoras, $CMgS^1$, é obtido pela soma do CMg^1 e $CMgE^1$. O nível eficiente de produção do setor é aquele para o qual o benefício marginal obtido mediante a produção de uma unidade adicional de produto é igual ao custo marginal social. Assim, o nível de produção eficiente do setor é obtido pela intersecção entre a curva de custo marginal social e a curva da demanda.

O ponto Q_1 representa o nível competitivo do setor, entretanto, desconsidera os custos sociais do despejo de efluentes. Daí a origem da ineficiência, pois o preço incorreto P_1 considera apenas o custo marginal privado da produção das empresas, e não o custo marginal social. Se houvesse essa consideração, o preço seria elevado para P* e, consequentemente, a quantidade produzida pelo setor diminuiria, assim como a produção de todas as empresas.

É interessante observar como o aspecto econômico da falha de mercado está intimamente relacionada ao desenvolvimento sustentável. Enquanto este versa sobre a alocação dos recursos de uma maneira inteligente, aquele produz resultados ineficazes, justamente pela produção de externalidades e pela má alocação dos recursos (excesso de produção).

É importante notar que, em busca da correção dessa falha de mercado, as empresas não necessariamente precisam diminuir o nível de produção para diminuir as externalidades geradas. Pelo contrário, devem se preocupar em buscar tecnologias e desenvolver maneiras de continuar competitivas no mercado e diminuir as emissões. Nesse contexto, surgem políticas públicas para incentivar as empresas a investirem em tecnologias para mitigar as externalidades. Para a emissão de poluentes atmosféricos, que é o escopo deste trabalho, existem três políticas públicas econômicas usuais (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 559): (a) a fixação de um padrão para a emissão de poluentes; (b) a imposição de taxas sobre essa emissão; e (c) as permissões transferíveis de emissão. A seguir, abordar-se-á cada uma das formas de controle.

A fixação de padrão para a emissão de poluentes (a) é um limite legal de poluentes que uma empresa está autorizada a emitir. Caso ultrapasse, sofrerá medidas coercitivas.

Teoricamente, neste caso, as empresas dificilmente ultrapassarão o limite estabelecido, pois o órgão regulamentador irá aplicar sanções para coibir essa atitude. Sendo assim, as empresas deverão se preocupar em reduzir as emissões para se adequarem ao padrão e, para tanto, irão buscar tecnologias. Estas, por sua vez, possuem algum custo que deverá ser considerado no balanço financeiro da empresa quando da tomada de decisões referente à sua aquisição. Matematicamente, o custo médio de produção somado ao custo médio de redução

de poluentes deverá ser menor que o preço de venda do produto praticado no mercado ou a empresa será obrigada a sair do mercado para não entrar em déficit (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 560).

É claro, portanto, que a imposição de padrões de emissões e penalidades coercitivas resolve a emissão desenfreada de poluentes. Contudo, o padrão que será estabelecido não é uma escolha simples para o órgão regulamentador, pois, do ponto de vista econômico, a melhor solução é aquela que promove o mercado mais competitivo possível (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 560), sendo que multas muito elevadas e padrões muito baixos podem provocar a saída de muitas empresas do setor. Com isso, as permanecentes, provavelmente aquelas com maiores condições financeiras, irão adquirir poder de mercado, controlarão o preço dos produtos e, paralelamente, os consumidores sofrerão as consequências negativas. Portanto, a escolha de padrões é uma solução para a diminuição das emissões, mas deve ser feita com muita atenção e criticidade.

Outra opção é a taxa sobre a emissão de poluentes (b), a qual é arrecadada sobre cada unidade de poluente emitido por uma empresa. O valor da taxa é de extrema importância para a decisão sobre a quantidade que será reduzida pelos produtores, pois estes irão reduzir suas emissões enquanto a o custo marginal da redução for menor que a taxa que deverá ser paga. A partir do momento em que taxa torna-se mais barata do que reduzir as emissões, deixa de fazer sentido para a empresa investir em tecnologias que tornem a produção mais sustentável, posto que, irão emitir os seus poluentes. A Figura 1-2 colabora para entender o problema.

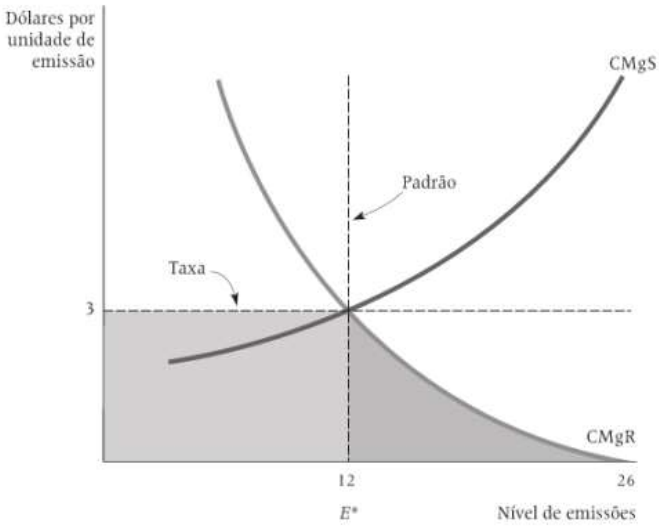

Figura 1-2 – Taxa por emissão (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 560)

Neste exemplo, a empresa emite inicialmente um nível de emissão de 26 unidades, mas o órgão regulamentador insere uma taxa de 3 dólares por unidade de emissão.

Geralmente, os investimentos nas tecnologias para redução de emissões apresentam custos crescentes, conforme é mostrado pela curva de custo marginal de redução CMgR. Sendo assim, a empresa percebe que reduzir a emissão em uma unidade, de vinte e seis para vinte e cinco, é muito mais barato que pagar a taxa de 3 dólares e, por isso, toma a decisão de investir. O gestor continuará seguindo a curva até o momento em que o CMgR se igualar à taxa, pois, a partir daquele momento, vale mais a pena, para o investidor, pagar a taxa para as emissões do que investir em tecnologias de redução de gases.

O desafio para o órgão regulamentador, nessa opção, é estabelecer o valor correto de taxa de emissão para que esta não se torne uma barreira de entrada para novas empresas no setor ou para que não promova a exclusão de empresas com menor poderes aquisitivos. De outro ponto de vista, taxas muito baixas podem ser ineficazes para o propósito de reduzir emissões.

Como explicado, é difícil para os órgãos reguladores estipular o valor de taxas por emissão ou padrões de emissão que devem ser impostos. Assim, uma opção é usar características relevantes de cada um desses sistemas para tentar alcançar o ótimo entre a quantidade de emissões e o custo gerado para as empresas.

Nesse sentido, as permissões transferíveis para emissões (c), terceira opção de política pública econômica, são uma opção interessante. O órgão regulamentador decide a quantidade total de emissões que vai autorizar e divide as permissões de emissão entre as empresas, de tal forma que o total não ultrapasse o limite desejado. Ao fazer isso e colocar elevadas multas para os produtores que ultrapassarem o nível de emissão, o órgão garante que não serão geradas externalidades a mais do que é desejado.

Há ainda outra característica relevante. As permissões para emissão se tornam ativos para as empresas e estas podem negociá-las. Ao passo que para uma empresa pode ser barato reduzir as emissões, para outra pode ser que o custo marginal de redução seja elevado. Dessa forma, entre as próprias empresas forma-se um mercado de permissões para emissões, o qual pode chegar a ser um mercado de concorrência perfeita, caso se respeitem as premissas básicas para este mercado. Neste caso, o preço de venda será único e igual ao custo marginal de redução para todas as empresas (PINDYCK e RUBINFELD, 2013, p. 563).

O órgão governamental que administra o sistema determina o número total de permissões que são concedidas, estabelecendo, portanto, a quantidade total das emissões, exatamente como ocorreria em um sistema de padrões. No entanto, a negociabilidade das permissões permite que a redução da poluição seja obtida com um custo mínimo (PINDYCK e RUBINFIELD, 2013, p. 563).

O Teorema de Coase (1960) corrobora com a terceira opção de política pública econômica (c), e ensina que quando as partes puderem negociar sem custo e com possibilidade de obter benefícios para todos os envolvidos, o resultado das transações será eficiente, independentemente de como estejam especificados os direitos de propriedade. Contudo, para que isso aconteça, os direitos de propriedade devem estar muito bem definidos e a quantidade de envolvidos nas negociações pode comprometer o atendimento das hipóteses para que o Teorema de Coase seja válido.

Além disso, é importante ressaltar que o Teorema de Coase comprova que o resultado será o melhor possível para a definição de direitos de propriedade ratificados para as partes envolvidas no conflito. Contudo, não há garantia que a melhor solução oriunda desse conjunto de direitos de propriedades é a melhor possível para a relação social estabelecida entre as partes envolvidas. Isto é, a forma como os direitos de propriedade está definida não necessariamente fornecerá a melhor alocação de recursos possível. Mais do que isso, as relações produtivas se renovam constantemente e os direitos de propriedade podem se tornar ultrapassados e deixar de representar a realidade das relações sociais.

Conclui-se que, sob a ótica da economia, as externalidades ambientais são causadoras de falhas de mercado e há muitos anos os economistas teorizam acerca do assunto e procuram propor soluções. Muitas respostas são sugeridas e algumas se destacam, como as propostas de Pigou e de Coase. Contudo, não existe uma resposta certa e universal, sendo que cada caso deve ser analisado com cautela e baseado nas informações sobre o mercado em análise, ou seja, as regulamentações devem estar baseadas nas características dos consumidores, dos produtores e da região em que se insere o mercado.

1.2 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS SOB A PERSPECTIVA DA ENGENHARIA

Os métodos coercitivos pecuniários citados na abordagem econômica acerca das externalidades são classificados como medidas não estruturais. Além delas, existem as medidas estruturais, que são aquelas que envolvem a execução de obras e a instalação de equipamentos (BRAGA, 2005, p. 217). Essas são comuns aos engenheiros, que procuram desenvolver métodos e soluções para os problemas originados em diferentes áreas.

Além disso, um dos pontos destacados, durante a abordagem dos aspectos econômicos dos meios produtivos e as suas externalidades foi a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que diminuam a geração de externalidades ou mitiguem os seus efeitos. Nesse

caso, as tecnologias tinham o objetivo de evitar que fossem aplicadas as medidas coercitivas pelo órgão regulamentador àqueles que não respeitam determinados limites acerca das externalidades. Podem ser citados como exemplos de ações mitigadores dentro de diferentes meios produtivos: instalações de filtros em chaminés de fábricas; tratamento de efluentes antes de despejo em águas correntes; aumento de eficiência e diminuição de emissões de poluentes na combustão de motores. Repara-se que todas estas se encaixam em medidas estruturas e podem ser possivelmente desenvolvidas por engenheiros que se propõem a solucionar problemas com medidas estruturais de instalação

O desenvolvimento de novas tecnologias é um desafio enfrentado pela engenharia em seu dia a dia, e as demandas atuais se espalham por todas as fases de um projeto. Não diferente para a construção civil, o conceito de desenvolvimento sustentável tem estimulado transformações nos métodos construtivos para que sejam reduzidos o consumo de energia e de recursos naturais durante todo o ciclo de vida das construções (WONG E ZHOU, 2015, p. 2). O termo “construção sustentável” foi proposto, pela primeira vez, em 1993, com a finalidade de apresentar as responsabilidades da indústria da construção civil no que diz respeito aos conceitos e objetivos da sustentabilidade, revelando uma necessidade premente para se atingir tais objetivos (PINTO, S.D., p. 4).

Devido às crescentes exigências acerca da temática, muitos *softwares*, modelos de construção e de avaliação têm sido desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Nesse sentido, surgiu, por exemplo, o *Building Information Modeling*, BIM, que é um conjunto de processos, tecnologias e políticas que promovem uma administração integrada do projeto durante o ciclo de vida de uma construção. São usados modelos 3D que fornecem informações multidisciplinares e que permitem aprimorar a análise da sustentabilidade dos projetos.

Atrelado ao desenvolvimento do BIM, emergiu o conceito *Green BIM*, que não possui uma definição acadêmica única, mas que é entendido pela *Environmental Protection Agency* como a prática de criar e usar modelos de construção, renovação, operação, manutenção e demolição que utilizam os recursos de forma mais eficiente e saudável (Environmental Protection Agency, 2019).

Sendo assim, o *software* BIM e a prática *Green BIM* podem ser aliados, propiciar melhorias no setor da construção civil e atender às demandas exigidas pela construção sustentável. Uma aplicação possível para essa aliança é a administração dos recursos para a reciclagem nas construções, pois segundo as Nações Unidas, a construção civil é responsável pela geração de 40% dos resíduos sólidos (uma das mais relevantes externalidades do setor)

em países e uma das formas de solução para os resíduos é justamente a reciclagem. Esta prática pode gerar inúmeros benefícios, como: (a) redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000, p. 3); (b) redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem (PINTO, 1999, p. 3); (c) redução do consumo de energia durante o processo de produção, com destaque para a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000, p. 3); e (d) redução da poluição, por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999, p. 2).

Nesse cenário, vários indicadores e certificações de sustentabilidade têm sido propostos e usados para avaliar o desempenho ambiental das construções. Entre estas certificações estão inclusos o *Leadership in Energy and Environmental Desing* (LEED), *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* (BREEAM), usado no Reino Unido, *Green Star*, usado na Áustralia, entre outros, comuns no Japão, Hong Kong e outros países. O objetivo da criação dessas certificações é motivar e acelerar o desenvolvimento de práticas sustentáveis por meio da criação e implementação de critérios de desempenho e ferramentas universalmente entendidas e aceitas.

O LEED é um sistema único que é aplicado em todo o mundo. A Certificação internacional possui 7 dimensões a serem avaliadas nas edificações: (a) espaço sustentável; (b) eficiência do uso da água; (c) energia e atmosfera; (d) materiais e recursos; (e) qualidade ambiental interna; (f) invocação e processos; e (g) créditos de prioridade regional. Todas elas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, as quais compõem as recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação. O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos (LEED, 2001, p. 8).

Indo ao encontro desta preocupação da construção sustentável, muitas empresas exigem que as construções possuam certificados sustentáveis para que possam receber as suas instalações. São os casos, por exemplo, de algumas multinacionais que condicionam a sua vinda ao Brasil à existência de empreendimentos sustentavelmente coerentes com suas exigências.

O desenvolvimento do BIM e as certificações sustentáveis são dois aspectos muito relevantes e atuais acerca da construção civil. O primeiro é promovido pelo aumento do desenvolvimento tecnológico do setor, pela necessidade de aumento da qualidade de gestão de recursos nas obras e pela necessidade do aumento da harmonia nas diferentes etapas de

projeto. Essas metas e objetivos colaboram para que o setor se desenvolva e progrida em direção à construção sustentável (WONG E ZHOU, 2015, p. 2). Para avaliar o progresso em direção aos objetivos citados, foram criados sistemas de certificação que avaliam aspectos sociais, econômicos e sustentáveis das construções e atribuem notas e rótulos a partir dessas avaliações.

Em consonância com a busca do desenvolvimento sustentável, muitos administradores de estabelecimentos buscam atingir as exigências para obter as certificações. Mais do que isso, enquanto procuram locais para se estabelecer, algumas empresas exigem que os estabelecimentos possuam certificações ambientais. Tanto o desenvolvimento tecnológico quanto os certificados demonstram que as demandas atuais acerca da sustentabilidade também atingem o setor da construção civil.

1.3 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS RELACIONADAS AO SETOR DE AEROPORTOS

O avanço tecnológico dos meios de transporte é um dos dentes da engrenagem do desenvolvimento do mundo moderno. No final do século XVIII, ingleses passaram a construir máquinas à vapor e posteriormente revolucionaram a locomoção ao utilizar esta ferramenta nas navegações. As vantagens da velocidade do novo transporte foram assimiladas pelos países desenvolvidos e estes perceberam a necessidade do investimento em transportes para satisfazer a crescente demanda da velocidade nas comunicações e relações regionais. Nesse sentido, posteriormente, o mundo passou a se mover sobre trilhos, depois sobre estradas pavimentadas e, atualmente, move-se sobre as nuvens (HOBSBAWN, 2015, p. 19).

Grandes avanços tecnológicos trazem grandes responsabilidades e os meios de transporte não estão isentos das exigências do desenvolvimento sustentável. Como o foco deste trabalho são as externalidades geradas pelo setor aeroportuário, este tópico será dedicado a abordar as externalidades geradas pelo setor aeroportuário. De antemão, deve-se entender que as externalidades do setor não se limitam às operações das aeronaves, pois as construções, expansões e operações dos aeroportos também são grandes geradores de externalidades.

Aeroportos devem ser planejados de uma maneira que garanta a compatibilidade entre as suas instalações e os arredores do sítio aeroportuário. Sendo assim, a localização, a configuração e o tamanho devem ser planejados de acordo com os padrões de

desenvolvimento da comunidade local da região onde o aeroporto será instalado. Deve considerar-se os efeitos gerados pelas operações que afetam a população, sistemas ecológicos, recursos hídricos, qualidade do ar, e outras preocupações relevantes para a comunidade (HORONJEFF, 2010, p. 573).

Em consciência disso, a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) se preocupa com os efeitos gerados pelos aeroportos e propõe regularizações, metas e responsabilidades acerca de vários temas relacionados à operação de aeroportos. Um destes temas é o gerenciamento de resíduos gerados em aeroportos, e, segundo a ICAO (2017, p. 5), todo aeroporto deve gerenciar os resíduos, sendo que existem diversas práticas sustentáveis que podem fazer o gerenciamento de resíduos ser mais econômica e melhor para o meio ambiente. Mais do que isso, o gerenciamento adequado de resíduos tem o potencial de impactar positivamente as autoridades dos aeroportos, clientes e a comunidade ao redor do aeroporto.

Além de esclarecer quais as vantagens de um gerenciamento eficiente e propor regularizações, metas e responsabilidades, a ICAO procura fornecer os conceitos básicos para auxiliar esse gerenciamento. Nesse sentido, esta organização faz uma divisão dos tipos de resíduos (ICAO, 2017, p. 6), pontua princípios para o gerenciamento (ICAO, 2017, p. 7) e sugere um caminho para implementar um programa de gerenciamento (ICAO, 2017, p. 12).

Em consciência de que a geração de resíduos é um dos grandes problemas da operação de aeroportos, pode-se procurar uma dimensão da quantidade de resíduos gerados nos aeroportos brasileiros. Concluem Fachini, Santana e Macedo (2002, p. 20) em pesquisa realizada no Aeroporto de Joinville, em Santa Catarina, que a geração de resíduos por viagem é, em média, 100 gramas por passageiro, incluindo todos os tipos de resíduos gerados em uma aeronave.

A partir deste dado, pode-se fazer uma estimativa da quantidade de resíduos geradas por passageiros nos voos da malha brasileira. É possível obter o número de passageiros movimentados nos aeroportos brasileiros a partir do relatório de estatísticas fornecido pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Do anuário de 2017, retirou-se a Tabela 1.1, que reproduz o fluxo de passageiros nos dez aeroportos brasileiros mais movimentados.

Tabela 1.1 – Ranking por movimento de passageiros (INFRAERO, 2017)

Posição	Sigla	Doméstico	Internacional	Total	Partic. Rede % *	Freq. Ac. % **
1	SBSP	21.858.879	574	21.859.453	20,15	20,15
2	SBRJ	9.247.164	21	9.247.185	8,52	28,67
3	SBPA	7.579.086	433.028	8.012.114	7,39	36,06
4	SBRF	7.403.644	373.237	7.776.881	7,17	43,23
5	SBSV	7.417.668	318.017	7.735.685	7,13	50,36
6	SBCT	6.664.954	57.104	6.722.058	6,20	56,55
7	SBFZ	5.684.904	250.384	5.935.288	5,47	62,02
8	SBFL	3.606.486	236.842	3.843.328	3,54	65,57
9	SBBE	3.179.556	132.261	3.311.817	3,05	68,62
10	SBGO	3.088.274	0	3.088.274	2,85	71,46

Baseado na Tabela 1.1 e em FACHINI, SANTANA E MACEDO (2002), constrói-se a Tabela 1.2. Esta possui uma estimativa do total de resíduos gerados pelos passageiros nas viagens nos 10 aeroportos mais movimentados do Brasil em 2017.

Tabela 1.2 – Estimativa do total de resíduos gerados por passageiros

Posição	Sigla	Quantidade de passageiros	Resíduo por passageiro (kg)	Total de resíduos gerados (ton)
1	SBSP	21859453	0,1	2185,9
2	SBRJ	9247185		924,7
3	SBPA	8012114		801,2
4	SBRF	7776881		777,7
5	SBSV	7735881		773,6
6	SBCT	6722058		672,2
7	SBFZ	5935288		593,5
8	SBFL	3843328		384,3
9	SBBE	3311817		331,2
10	SBGO	3088274		308,8
			TOTAL:	7753,2

Além dos resíduos gerados nos voos, existem outros que são gerados nos aeroportos, como: lâmpadas, pilhas, baterias, resíduos infectantes, filtros de óleo e vários outros relacionados ao funcionamento do sítio aeroportuário, manutenção de aeronaves e fluxo de passageiros.

A INFRAERO, tendo como premissa a necessidade de fornecer o tratamento adequado aos resíduos sólidos gerados nos Aeroportos, em consonância com a legislação vigente e visando às melhores práticas de gestão ambiental, vem empregando diferentes ações e projetos em seu Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

A Resolução n° 05, de 05 de agosto de 1993, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) versa sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Outro órgão regulamentador brasileiro que dispões sobre o tema é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através do Regulamento Técnico de Boas Práticas Sanitárias no gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos.

Outro impacto importante referente ao setor aeroportuário são os efeitos sonoros emitidos pelas aeronaves nos arredores dos aeroportos. Na década de 1970, a *Federal Aviation Administration* (FAA) introduziu o primeiro padrão de certificação sobre ruídos e a ICAO promoveu padrões mundiais semelhantes (DE NEUFVILLE, 2013, p. 170). A organização definiu padrões que foram adotados pelos Estados membros nas legislações nacionais, e estas ratificaram limitações para a geração de resíduos feita por aeronaves.

Além disso, a legislação possuía padrões que ficavam mais exigentes ao longo do tempo, e, como a medida coercitiva atrelada à legislação era a não aprovação de permissão para operação, o objetivo da regulação eficiente da geração de ruídos foi alcançado. Segundo De Neufville (2013, p. 171), nas últimas décadas, as certificações rigorosas e crescentes diminuíram drasticamente o número de pessoas expostas a níveis de emissões significantes gerados pelas operações de aeroportos.

No Brasil, a preocupação acerca deste tema é oficializada pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 161, o qual se baseia em distâncias e fluxo dos aeroportos para regular a emissão de ruídos nos aeroportos brasileiros. Nas letras deste regulamento, o plano de zoneamento de ruído de aeródromo tem como objetivo representar geograficamente a área de impacto do ruído aeronáutico decorrente das operações nos aeródromos e, aliado ao ordenamento adequado das atividades situadas nessas áreas, ser o instrumento que possibilita preservar o desenvolvimento dos aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno

O efeito primário dos ruídos é a poluição sonora. Além deste, existe o impacto que a instalação dos aeroportos tem nos preços das residências da região da instalação. O tema é analisado através de um modelo econométrico por Espey (2000), que parte de suas conclusões é que é possível que casas próximas de aeroportos possuam um valor mais baixo devido a

percepção do ruído do aeroporto, apesar desse ruído ser menor em determinadas direções da pista.

Por fim, outra externalidade ambiental importante do setor são as emissões de gases poluentes, a qual é o foco deste trabalho. Horonjeff (2010, p. 576) define poluição do ar como a introdução de substâncias ou compostos estranhos ao ar, ou a alteração das concentrações dos elementos que naturalmente compõem o ar atmosférico. Já a qualidade do ar é definida pela comparação entre o nível de concentração de seis poluentes e padrões pré-estabelecidos para essas concentrações. Esses poluentes são, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, materiais particulados e oxidantes fotoquímicos (HORONJEFF, 2010, p. 577).

Segundo IATA (2008, p. 32), o setor aeroportuário é responsável por 2% das emissões de CO_2 e poderá atingir 3% até 2050. Além disso, como a demanda por transporte aéreo é crescente, existem preocupações para o desenvolvimento de tecnologias que permitam à aviação atender essa demanda de voos e, ainda assim, diminuam o impacto ambiental que causam.

Nesse sentido, a ICAO, semelhantemente ao que legisla em relação aos ruídos, impõe que aeronaves atendam algumas certificações relacionadas às emissões feitas pelos seus motores, para que possam operar. Os padrões abrangem hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e emissão de fumaça, e desde que os critérios de certificação começaram a ser usados, as emissões destes gases têm diminuído e mais reduções são esperadas para os próximos anos (NEUFVILLE, 2013, p. 188).

É interessante notar como segmentos diferentes se correlacionam e colaboram para o desenvolvimento sustentável. No caso, é imposto um desafio ao setor de aviação – reduzir as emissões para atender os padrões exigidos pela comunidade internacional – e, segundo Neufville (2013, p. 188), o sucesso das metas de diminuição foram alcançadas por meio do desenvolvimento de tecnologias para aprimoramento dos motores que, além de reduzirem as emissões, diminuíram o consumo de combustível e modificaram a sua composição. Ou seja, a comunidade internacional impôs uma regularização ao setor de aviação, que utilizou cientistas e engenheiros para desenvolver tecnologias e atender a demanda da ICAO, que vai ao encontro do desenvolvimento sustentável.

Pontua-se que existem outros impactos socioambientais e urbanísticos provocados pelos aeroportos, mas não é intenção deste trabalho esgotá-los. O objetivo deste tópico é introduzir algumas externalidades produzidas pelo setor aeroportuário, as quais são, como descritas, impactantes na sociedade. Para isso, optou-se por expor a importância do

gerenciamento dos resíduos sólidos, a poluição sonora, a desvalorização imobiliária ao redor dos aeroportos, e as emissões de gases poluentes. Para poder tratar especificamente sobre a possibilidade de uso de opções mais sustentáveis para o fornecimento de energia em operações de solo, é necessário investigar, na sequência, quais são os marcos regulatórios internacionais e nacionais vinculados à emissão de poluentes no setor aeroportuário.

2 MARCOS REGULATÓRIOS SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS RELACIONADAS AO SETOR DE AVIAÇÃO CIVIL

Como delineado anteriormente, estabeleceu-se como recorte para este trabalho o enfoque sobre as emissões de poluentes no setor aeroportuário. A partir da análise teórica das externalidades ambientais e, depois de abordadas as raízes históricas do interesse pelo tema sob as perspectivas da Economia e da Engenharia, é relevante verificar como é feito o tratamento legal do tema. Para isso, será feita uma vista geral do panorama internacional do tema, sobretudo, como a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) regulamenta, aplica padrões e recomenda práticas. Em seguida, estudar-se-á a regulamentação nacional brasileira, que é fruto, principalmente, das normativas emitidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e da política ambiental aplicada pela INFRAERO.

2.1 PANORAMA INTERNACIONAL DOS MARCOS REGULATÓRIOS SOBRE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA AVIAÇÃO CIVIL

A ICAO é uma agência especializada das Nações Unidas, criada em 1944, com 193 países membros. A organização trabalha para alcançar consenso sobre padrões e práticas recomendadas para a aviação civil internacional (SARPs – *Standards and Recommended Practices*) sobre políticas em suporte à segurança, eficiência, e responsabilidade ambiental e sustentável para o setor de aviação civil. Essas sugestões e políticas são adotadas pelos Estados Membros da ICAO para garantir que as operações e regulações locais sobre a aviação civil estejam em conformidade às normas globais (ICAO, 2019).

Uma das preocupações da organização é o crescimento e funcionamento sustentáveis no setor de aviação civil. Nesse sentido, a organização entende que o impacto ambiental causado pelas operações de aeroportos e aeronaves deve ser regulado e, por isso, faz recomendações acerca de tratamento de resíduos sólidos, de ruídos e de emissões de poluentes, por exemplo.

O interesse sobre as externalidades geradas pelos aeroportos e aviões é um tema focado pela organização desde a década de 1970, principalmente devido a dois motivos: o crescimento do setor de aviação civil; e o aumento substancial do uso de aviões turbojatos (ICAO, 2011). Em 1971, a organização publicou o *Annex 16, Environmental Protection, Volume I – Aircraft noise*, e, em 1981, publicou o *Volume II – Aircraft Engine Emissions*.

A ICAO define qualidade do ar local como as condições do ar ambiente que os humanos e a natureza estão expostos (2011 p. 25). Em muitos casos, a determinação da qualidade do ar é baseada no nível de concentração de poluentes, o qual é comparado com padrões que definem níveis aceitáveis desses.

As regulamentações estabelecidas pela organização são padrões para as emissões de poluentes pelos motores das aeronaves. Esses padrões são aplicados por meio de processos de certificações nacionais e multinacionais para aeronaves turbojato e turbofan com impulso maior que 26,7 kN, mas não são aplicados para turboélice, *turboshafts*, *pistões dos motores* e APU dos aviões[1] (ICAO, 2011, p. 26-27).

A metodologia adotada pela ICAO para fornecer os valores numéricos dos padrões é baseada em testes com motor que simulam a etapa de pouso e decolagem do voo das aeronaves em condições atmosféricas semelhantes ao nível do mar. É internacionalmente reconhecido que estas premissas dos testes não englobam todas as situações locais e operacionais possíveis, e, nesse sentido, é preocupação da organização fornecer metodologias mais precisas para a avaliação da emissão de poluentes para que se possa abordar o problema de maneira mais eficiente (ICAO, 2011, p. 26).

Ademais, é importante deixar claro que existem muitas fontes de poluentes *non-aircraft* e estas são, geralmente, regulamentadas pelos Estados. Por isso, as práticas e recomendações da ICAO são, costumeiramente, usadas em associação com a regulamentação existente em cada Estado para alcançar o objetivo comum de manter a qualidade do ar em níveis aceitáveis.

Além disso, existem outros padrões internacionais para a qualidade do ar, como o que é fornecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Para isso, a organização fornece o guia Orientações de Qualidade do Ar da OMS, o qual informa os impactos dos poluentes na saúde, e prove metas de qualidade do ar para uma saúde saudável. As orientações são destinadas para o mundo todo, e a intenção é que os países possam escolher as melhores políticas entre várias sugestões fornecidas através das orientações (WHO, 2019).

A Tabela 2.1 (ICAO, 2011, p. 28) fornece dados sobre algumas regulamentações nacionais e internacionais que eram vigentes em 2005. Algumas delas, como a do Brasil, já sofreram alterações e adaptações.

---

[1] Turbojato é o tipo mais simples e mais antigo de motor a jato; turbofan é um motor utilizado em aviões projetados especialmente para altas velocidades de cruzeiro; turboélice são os motores utilizados em aeronaves movidas a hélices; turboshaft são motores utilizados para transporte de cargas leves, como helicópteros e alguns barcos; e para outros fins que exigem menos energia do que aeronaves, como APUs e tanques.

Tabela 2.1 – Regulamentação da qualidade do ar em diferentes países

Country/ Organization	Pollutant (averaging period)	Sulphur dioxide			Nitrogen dioxide			Carbon monoxide		Ozone			PM_{10}	
		1 hour*	24 hours	Annual	1 hour	24 hours	Annual	1 hour	8 hours	1 hour	8 hours	24 hours	24 hours	Annual
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
WHO	WHO Guidelines	—	125	—	200	—	40–50	30	10	—	120	—	—	—
EU	Air Quality Framework Directive	350	125	20	200	—	40	—	10	—	120	—	50	40
Australia	National Environmental Protection Measure for Ambient Air Quality	520	200	50	220	—	50	—	10	200	—	—	50	—
Brazil	Resolution 03 of CONAMA (National Council for the Environment), June 1990 — Air Quality National Standards	—	365	80	320	—	100	40	10	160	—	—	150	50
Canada	National Ambient Air Quality Objectives, Canadian Environmental Protection Act, June 2000	900	300	60	400	200	100	35	15	160	—	50		
China	Ambient Air Quality Regulations GB3095 — 1996	500	150	50	150	100	50	10	—	160	—	—	150	100
India	G.S.R.6(E), [21/12/1983] — The Air (Prevention and Control of Pollution) (Union Territories) Rules, 1983	—	80	60	—	80	60	4	2	—	—	—	100	60
Japan	Ministry of the Environment Environmental Quality Standards	260	100	—	75–110	—	—	12	23	120	—	—	—	—
South Africa	SANS 1929 Guidelines**	—	125	50	200	—	40	30	10	200	120	—	75	40
Switzerland	Swiss Luftreinhalteverordnung (LRV)	—	100	30	—	80	30	—	—	120	—	—	50	20
U.S.A	NAAQS		360	80	—	—	100	40	10	240	160	—	150	50

De maneira geral, as regulamentações e padrões relacionados às aeronaves e outras fontes de emissões em aeroportos podem ser divididas em duas categorias:

a) Medidas que impõem limites em determinadas fontes de emissões. Essas incluem o padrão ICAO para motores de aeronaves e medidas nacionais que visam regular as emissões feitas por fontes *non-aircraft* e aparelhos estacionários (geradores, queimadores, aquecedores, entre outros) e veículos de rodagem.

b) Regulações nacionais (em alguns locais, chamadas de “padrões”) estabelecem concentrações aceitáveis de poluentes para a qualidade do ar local (ICAO, 2011, p. 30).

É importante notar que as duas categorias se complementam. A primeira engloba limites numéricos para cada parte do sistema, mas não garante que o conjunto das emissões está com valores aceitáveis para a vizinhança do aeroporto. Ao unir essa categoria com a segunda, a preocupação, que estava entrelaçada com os dispositivos individuais, passa para o

sistema como um todo. Dessa maneira, o desafio para o operador do aeroporto deverá incluir variáveis, como tráfego nas proximidades do aeroporto, topografia, condições meteorológicas e outras características que não são consideradas pela primeira.

Além disso, desde a introdução ao tema, em 1981, alguns padrões evoluíram e se tornaram mais acentuados, assim como alguns desafios ainda não foram superados. Atualmente, não há regulamentação da ICAO para emissão de material particulado por motores de aeronaves, apesar de muitos Estados possuírem limites para esse poluente. Também não há regulamentação da ICAO aplicável para emissões feitas por aviões turboélice, helicópteros, aviões particulares menores e APUs.

Já sobre a emissão de NO_x por motores de aeronaves, a ICAO tornou-se mais exigente ao longo dos anos. Em 1993 houve a primeira atualização do padrão estabelecido em 1981, a qual renovou o padrão para um valor 20% menor ao anterior. Outras reduções vieram e, atualmente, o padrão aceito para os motores é 60% do valor permitido em 1981. Ou seja, o desafio é constante e novas tecnologias são aplicadas para fornecer resultados melhores em relação ao desenvolvimento sustentável. Inclusive, esse agravamento do padrão é saudável, uma vez que a tendência dos produtores tem sido desenvolver motores que produzem níveis de emissões mais baixos que os permitidos pelos padrões da ICAO, pois eles acreditam que novas regulamentações mais severas podem surgir e, por isso, tentam se precaver para não perder os motores (ICAO, 2011, p. 31).

Os padrões fornecidos pela ICAO para regulamentar a emissão de poluentes pelos motores das aeronaves são dados pelo *Annex 16 – Aircraft Engine Emissions, Volume II.* Além disso, o *Annex 16* fornece um material guia, documentos técnicos e sugestões para auxiliar os interessados nas certificações concedidas pela ICAO. A versão mais atualizada deste documento é a segunda edição (2014), que foi revisada em 2016. As informações sobre as regulamentações que serão fornecidas a seguir foram coletadas dessa última versão.

Para a certificação, a ICAO separa os motores em duas grandes categorias. A primeira é composta por motores turbojato e turbofan destinados à propulsão somente a velocidades subsônicas; e a segunda é composta por motores turbojato e turbofan destinados a propulsão em velocidade supersônica.

De maneira geral, os certificados para todos os motores que a ICAO regulamenta devem ser fornecidos por autoridades responsáveis, que se baseiam em evidências satisfatórias sobre o funcionamento do motor, o qual deve alcançar o que é previsto pelo *Annex 16, Volume II*. A conformidade das emissões do motor com os níveis de emissão

prevista pela ICAO deve ser demonstrada usando o procedimento descrito pela própria ICAO (2008, p. 97).

A certificação que comprova a conformidade com as emissões para cada motor deve incluir, pelo menos, as seguintes informações: (a) nome da autoridade certificadora; (b) modelo e produtor do motor; (c) declaração de qualquer modificação incorporada; (d) impulso avaliado; (e) relação de pressão; (f) declaração indicando a conformidade com os requerimentos acerca do *Smoke Number* (SN); e (g) declaração indicando a conformidade com os requerimentos acerca dos níveis de emissões de poluentes. A partir do momento em que um motor é certificado, todos os Estados membros devem reconhecer o certificado concedido pelas autoridades como válido.

Por fim, resta explanar quais são os limites estabelecidos pela ICAO para os motores. Para as duas categorias de motores que a ICAO considera, as emissões envolvidas são fumaça, hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO). As unidades de medida são *Smoke Number* (SN) para a fumaça, e massa em gramas (D_p) de poluentes emitidas para os outros poluentes.

Os testes para a certificação das duas categorias são baseados na etapa de pouso e decolagem e em condições atmosféricas iguais, entretanto, o tempo considerado para cada etapa do pouso e decolagem é diferente para as categorias. Ademais, em cada uma dessas etapas é considerado que o motor trabalha com uma porcentagem referente ao total de impulso (F_0) que o motor pode atingir. A Tabela 2.2 visa ilustrar essas premissas.

Tabela 2.2 – Premissas para testes dos motores

	Tempo operando (minutos)		Configuração de impulso (% de F_0)	
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 1	Categoria 2
Decolagem	0,7	1,2	100	100
Subida	2,2	2	85	65
Descida	-	1,2	-	15
Aproximação	4	1,2	30	34
Taxiamento	26	2,3	7	5,8

Além dessas premissas e das adequações em relação às condições atmosféricas, os testes devem ser feitos em local adequado e com combustível condizente com as especificações da ICAO. Finalmente, atendidos todos esses requisitos, pode realizar-se o teste, de acordo com o apêndice 2 do *Annex 16, Volume II* (ICAO, 2008, p. 34), e com o apêndice 6 (ICAO, 2008, p. 97).

Respeitados o que é requisitado pela ICAO nos apêndices citados, o operador do teste terá as quantidades de fumaça e poluentes emitidas durante todas as etapas do teste. Por fim, todas as emissões em todas as etapas simuladas devem respeitar os limites exigidos pela ICAO. A Tabela 2.3 explicita os limites para as duas categorias. F_0^* representa o impulso de um motor com pós-combustão e π_∞ é a referência a uma pressão padrão.

Tabela 2.3 – Limites estabelecidos pela ICAO para certificação de motores para aeronaves

	Categoria 1	Categoria 2
Smoke Number	$\text{mín}(83{,}6(F_0)^{-0{,}274}; 50)$	$\text{mín}(83{,}6(F^*_0)^{-0{,}274}; 50)$
HC	$Dp/F_0 = 19{,}6$	$Dp/F^*_0 = 140(0{,}92)^{\pi\infty}$
CO	$Dp/F_0 = 118$	$Dp/F^*_0 = 4550(\pi\infty)^{-1{,}03}$
NO_x	-	$36 + 2{,}42\pi\infty$

O valor limite da emissão de óxidos nitrogenados por motores da categoria 1 não está explícito na Tabela 2.3, porque existem doze valores diferentes, os quais são adotados de acordo com condições específicas do motor e com o seu ano de fabricação (para mais informações, pode-se consultar o *Annex 16, Volume II* (ICAO, 2008, p. 29)).

Fica entendido, portanto, que a regulamentação da ICAO é usada para determinados tipos de motores e que a certificação é um processo complexo, com muitas regras, premissas e considerações. Em vista das dificuldades relacionadas ao atendimento dos padrões, bem como da necessidade de uniformização dos processos, a organização fornece o *Annex 16, Volume 2* para auxiliar os fabricantes de motores a certificar os seus produtos. Para atingir as metas para certificação, deve-se respeitar os limites de quantidade de emissões de poluentes e fumaças, os quais estão detalhados naquele documento.

De forma geral, existem as limitações sobre as produções de poluentes por componentes específicos, categoria que engloba os padrões feitos pela ICAO e que são adotados pelos 193 Estados membros da organização; e limitações de concentrações de poluentes no ar atmosférico, os quais possuem diretrizes globais fornecidos pela OMS e são regulamentados pelas legislações nacionais, conforme exemplifica a Tabela 2.1. Os dois tipos de limitações se completam e devem ser utilizados em conjunto para que a qualidade do ar possa ser corretamente avaliada e administrada.

Por fim, os desafios para a medição ainda existem e são fontes de estudos há tempos, assim como os padrões estabelecidos também evoluem ao longo do tempo. Ademais, a falta

de regulamentação para determinados tipos de aeronaves e componentes individuais, como APU de aeronaves, são tópicos que devem ser trabalhados nos próximos anos para que a regulamentação sobre a qualidade do ar ao redor dos aeroportos continue melhorando.

2.2 PANORAMA BRASILEIRO DOS MARCOS REGULATÓRIOS RELACIONADOS AO MEIO AMBIENTE E A QUALIDADE DO AR

Se durante o século XIX, as populações se atentavam para questões nacionalistas, para a instituição dos direitos fundamentais de primeira geração[2], e para o fim dos poderes discricionário, durante o século XX, o concerto das nações deu muita atenção à questão ambiental e o tema tornou-se primário em muitas conferências das Nações Unidas, conforme foi contextualizado anteriormente. Nesse sentido, o direito ao meio ambiente foi institucionalizado como um direito fundamental dos povos, e, durante a década de 1970, os sistemas constitucionais começaram a reconhecer o ambiente como valor a merecer tutela especial. Assim foi com as novas constituições dos países que saíam de um regime ditatorial, como numa primeira leva, Grécia, Portugal e Espanha, e, posteriormente, numa segunda onda, o Brasil (BENJAMIN, 1999, p. 6).

A Constituição Federal brasileira (CF/88) dedica o seu capítulo VI ao meio ambiente, e, por meio do artigo 225, *caput*, incube ao Poder Público e à coletividade o dever genérico de defender e preservar o meio ambiente às gerações presentes e futuras. No mesmo dispositivo constitucional (art. 225, §1º, CF/88) foram estabelecidos deveres específicos ao Poder Público, voltados, por exemplo, à preservação e restauração dos processos ecológicos essenciais; à instituição de espaços territoriais especialmente protegidos; à exigência de estudo prévio de impacto ambiental para atividades efetiva ou potencialmente causadoras de significativo impacto ambiental, entre outros deveres jurídicos.

Este tópico tem o objetivo de elucidar como foi a evolução da legislação ambiental brasileira e como é a regulamentação nacional atual relacionada aos padrões de qualidade do ar e emissões de poluentes. Como será observado, parte significativa da regulamentação desta temática é estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo, deliberativo e normativo pertencente ao SISNAMA (Sistema Nacional do Meio

---

[2] Direitos fundamentais reconhecidos por grande parte das Constituições dos Estados ocidentais no período histórico pós Independência norte-americana (1787) e pós Revolução Francesa (1789) e que foram marcados por limitarem o poder estatal em relação ao indivíduo (direito à vida, direito à liberdade, direito à propriedade, direitos políticos).

Ambiente). Além disso, como o foco deste trabalho é a análise da emissão de poluentes no setor da aviação civil, analisar-se-á, em seguida, como este campo é regulamentado pela INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária).

2.2.1 Evolução da legislação ambiental brasileira

Dividir a história em períodos é uma tarefa difícil e de complicada convergência entre pesquisadores e historiadores. De qualquer maneira, Benjamin (1999, p. 3) divide o histórico da legislação ambiental brasileira em três regimes.

No primeiro deles, historicamente, desde a chegada dos portugueses em 1500 até aproximadamente o início da segunda metade do século XX, pouca atenção recebeu a proteção ambiental no Brasil, à exceção de umas poucas normas isoladas que não visavam, na vocação principal, resguardar o meio ambiente como tal. Seus objetivos eram mais estreitos. Ora almejavam assegurar a sobrevivência de alguns recursos naturais preciosos em acelerado processo de exaurimento (pau-brasil, por exemplo), ora, em outro plano, colimavam resguardar a saúde, valor fundamental (BENJAMIN, 1999, p 4). Sendo assim, salvo iniciativas pontuais do Poder Público, como o Código das Águas de 1934, o país não possuía consciência jurídica da importância da preservação do meio ambiente e da regulamentação das formas exploratórias.

O segundo regime, chamado por Benjamin de fase fragmentária (1999, p. 4), é caracterizado pela preocupação do legislador com largas categorias de recursos naturais, mas ainda não com o meio ambiente em si mesmo, considerando-o integralmente. A degradação do meio ambiente pelo ordenamento operava, no plano ético, somente no que houvesse interesses econômicos e, no terreno formal, pelo reducionismo, pois, fatiou o meio ambiente e negou uma identidade jurídica própria a ele (BENJAMIN, 1999, p. 5)

Sendo assim, nesse regime, que teve início na década de 1960, a legislação jurídica nacional relacionada ao meio ambiente instituiu códigos distintos para segmentos diferentes do meio ambiente, os quais eram economicamente explorados. São exemplos o Código Florestal (Lei Federal nº4471, de 15/09/65), o Código de Caça (Lei Federal n°5197, de 03/01/67), o Código de Pesca (Decreto Lei n°221, de 28/02/67), e de Mineração (Decreto Lei n°227, de 28/02/67). Houve também a Lei do Zoneamento Industrial nas Áreas Críticas de Poluição (Lei Federal n°6803, de 02/07/1980), essa com características do terceiro regime da legislação, e a Lei de Agrotóxicos (Lei Federal n°7802, de 11/07/1989).

Finalmente, durante o terceiro regime, o qual indica uma (re)orientação radical de rumo, é instituída a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal n°6938/1981), dando início a fase uma fase mais cismática, onde o ambiente passa a ser protegido de maneira integral, vale dizer, como sistema ecológico integrado (resguardam-se as partes a partir do todo), com autonomia valorativa (é, em si mesmo, bem jurídico) e com garantias de implementação a partir da facilitação do acesso à justiça (BENJAMIN, 1999, p. 5). Por meio da Lei Federal nº6.938/1981, a Política Nacional do Meio Ambiente fez várias definições importantes, entre elas: o que é meio ambiente, degradação da qualidade ambiental, poluição, poluidor, e recursos ambientais; e criou o CONAMA.

Ainda nessa lei, segundo o Art. 4°, III, a Política Nacional do Meio Ambiente visará ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais. Para isso, segundo o Art. 9°, I, é instrumento da PNMA estabelecer padrões de qualidade ambiental. Assim foi feito pelo legislador, que instituiu os padrões de qualidade do ar pela primeira vez por meio da Resolução CONAMA n° 005/1989, os quais foram detalhados pela Resolução CONAMA n° 003/1990. A Resolução CONAMA n.º 491/2018 revogou a Resolução CONAMA n.º003/1990 e atualizou referidos padrões, cujo detalhamento dos mesmos está explicitado na Tabela 2.4.

Além disso, segundo a Lei Federal n°6.938/1981, Art 8°, I, compete ao CONAMA estabelecer, mediante propostas do IBAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA. Assim como, segundo Art. 9°, IV, o licenciamento e a revisão dessas atividades são instrumentos da PNMA, e, segundo Art. 10°, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

Dando continuidade ao que foi instituído pela Lei Federal n°6.938/1981, a Resolução CONAMA N.°001/86 instituiu as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Esta mesma resolução define quais são as atividades que estão sujeitas à elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), quando da solicitação de licenciamento. Segundo o Art. 2°, IV dessa resolução, os aeroportos fazem parte das atividades modificadoras do meio ambiente que dependem da elaboração de EIA e RIMA para conseguir licença para operar.

Posteriormente, a Resolução CONAMA n. º 237/97 foi instituída para revisar os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, instituído pela PNMA.

A instituição da Lei n°6938/1981 representou o início de uma mudança radical do rumo da legislação ambiental brasileira. Além dos vários aspectos positivos que já foram citados, o quadro de omissão constitucional acerca do meio ambiente mudou inteiramente com a CF/88, que tem todo um capítulo dedicado "ao meio ambiente", complementado por outros dispositivos esparsos, que, de forma direta ou indireta, cuidam também da matéria (BENJAMIN, 1999, p. 8).

Finalmente, a Lei da Ação Civil Pública (Lei Federal, nº7347/1985) passou a defender os valores ambientais, a disciplinar a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico. As sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente foram dispostas na Lei Federal nº9.605/1998, a Lei de Crimes Ambientais (ROSEIRO e TAKAYANAGUI, 2005, p. 3).

Essa última lei regulamenta o art. 225 da Constituição Federal de 1988, e responsabiliza civil e penalmente pessoas físicas e jurídicas autora, coautora ou partícipe de condutas lesivas ao meio ambiente e a terceiros, independentemente da existência de culpa, reconhecendo-se a responsabilidade civil objetiva para os casos de dano ambiental. Reforça-se o importante aspecto que a punição é independente de culpabilidade, isto é, não é necessário provar a culpa do agente, sendo que este deverá arcar com as consequências. Uma medida coercitiva tão rígida visa aumentar ainda mais o respeito às leis e a reparação ambiental.

Em uma de suas vertentes, o Princípio do Poluidor Pagador, reconhecido no ordenamento jurídico brasileiro, impõe ao poluidor arcar com os custos da atividade poluidora que causou, pois, a atividade prejudica o meio ambiente e terceiros imediatamente. Segundo Aragão (1994, p. 12), esse princípio é universalmente reconhecido, entretanto, a despeito do amplo reconhecimento e da crescente frequência com que vem sendo reiterado, as aplicações práticas que do princípio têm sido feitas, tanto ao nível Estatal como ao nível internacional, são vagas, incoerentes e frequentemente contraditórias.

Citados a evolução de alguns aspectos legislativos ambientais gerais, afunila-se a abordagem para compreender como a qualidade do ar é tratada pela legislação brasileira.

2.2.2 Regulamentação brasileira sobre a qualidade do ar

A gestão deste tema no Ministério do Meio Ambiente (MMA) é atribuição da Gerência de Qualidade do Ar (GQA). Esta possui como atribuições propor, apoiar e avaliar tecnicamente estudos e projetos relacionados com a preservação e a melhoria da qualidade do ar, implementar programas e projetos na sua área de atuação, assistir tecnicamente aos órgãos colegiados de assuntos afeitos a essa temática (CONAMA e CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito), e elaborar pareceres e notas técnicas sobre os assuntos de sua competência (MMA, 2019). Entre os programas da Gerência, destacam-se o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (2009) e o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores. Além disso, a Gerência atuou em várias publicações, como o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2019).

No Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 491/2018. A atual Resolução determina a qualidade do ar como o "valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica" (CONAMA, 2018, p. 1). Os valores padrões considerados como referência e os critérios de implementação adotados pela Resolução são baseados no que é recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Sendo assim, os padrões nacionais de qualidade do ar são divididos em duas categorias: (a) padrões de qualidade do ar intermediários (PI), que são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos; e (b) padrão de qualidade do ar final (PF): valores guia definidos pela OMS em 2005. Isso quer dizer que os padrões de qualidade do ar serão adotados sequencialmente, em etapas definidas pelo Art. 4º da Resolução, e com o objetivo final de alcançar os valores guias da OMS.

Os parâmetros regulamentados pela referida resolução são os seguintes: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (MP_{10} e $MP_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e chumbo (PB). A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar, entre outros casos urgentes. Finalmente, os valores intermediários e finais adotados pela Resolução são explicitados na Tabela 2.4.

É possível notar que alguns parâmetros não possuem valores intermediários. Isso acontece porque, segundo a Resolução CONAMA n° 491/2018, esses componentes deveriam

atender ao padrão de qualidade final assim que a Resolução fosse publicada. Porém, os parâmetros que possuem valores intermediários deveriam atender o PI-1 quando a resolução fosse publicada, e deveriam atender o PI-2 e o PI-3 em prazos distintos que respeitam o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas dos órgãos ambientais estaduais.

Tabela 2.4 – Padrões de qualidade do ar (CONAMA, 2018, p. 4)

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppm
Material Particulado - MP_{10}	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual[1]	40	35	30	20	-
Material Particulado - $MP_{2,5}$	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual[1]	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO_2	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual[1]	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO_2	1 hora[2]	260	240	220	200	-
	Anual[1]	60	50	45	40	-
Ozônio - O_3	8 horas[3]	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual[1]	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas[3]	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual[4]	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb[5]	Anual[1]	-	-	-	0,5	-
[1] - média aritmética anual						
[2] - média horária						
[3] - máxima média móvel obtida no dia						
[4] - média geométrica anual						
[5] - medido nas partículas totais em suspensão						

Definidos os padrões de qualidade do ar que a legislação brasileira impõe, é importante verificar como é feita, para os aeroportos, a exigência dos mesmos no âmbito do licenciamento ambiental, regulamentado pelas Resoluções CONAMA n. º 001/86 e n. º237/1997 e pela Lei Complementar n.140/2011. Dessa maneira, será entendido como os órgãos regulamentadores tratam a qualidade do ar e as emissões de poluentes no setor da aviação civil.

O licenciamento ambiental passa por três fases para sua conformidade: Licença Prévia, Licença de Instalação, Licença de Operação (CONAMA, 1997). Tratando-se de aeroportos, o EIA/RIMA deve ser apresentado na fase inicial do licenciamento ambiental, a qual direciona as definições de responsabilidades, além dos critérios básicos e diretrizes gerais para o uso e

implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento da PNMA (ROCHA, 2016, p. 12).

Depois de resolvidas as questões e dúvidas relacionadas ao projeto e avaliados os possíveis impactos e soluções mais efetivas para sua diminuição, o órgão ambiental irá julgar a solicitação da licença prévia, em posse dos projetos finais de engenharia e sistemas de controle ambiental, que deverão ser elaborados com observância das diretrizes estabelecidas pela licença prévia. Logo após a obtenção desta licença, serão solicitadas as Licenças de Instalação e de Operação aos órgãos ambientais (ROCHA, 2016, p. 12).

Para se orientarem e buscarem o gerenciamento ambiental suficiente para a obtenção das licenças, os empreendedores podem se basear no Guia de Procedimentos do Licenciamento Ambiental Federal (IBAMA, 2002, p. 6). No que se refere à qualidade do ar, o IBAMA (2002, p. 112) dispõe que enquanto os estados não instituírem outros padrões, o licenciamento ambiental deverá seguir o disposto pela resolução CONAMA n° 003/90, a qual foi atualizada pela Resolução n° 491/2018.

Pode-se concluir, portanto, que a legislação ambiental brasileira sofre alterações desde que começou a ser institucionalizada. De certa maneira, passou por dois regimes e passa por um terceiro que dá uma importância mais integral ao meio ambiente. Dessa forma, foi estabelecida a necessidade de licenciamentos ambientais para a implantação e operação de empreendimentos danosos ao meio ambiente, o que incluí os aeroportos. Por fim, para obter o licenciamento, vários estudos relacionados a parâmetros ambientais devem ser realizados, e, em vista da qualidade do ar, os padrões de concentração de poluentes estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 491/2018 devem ser atendidos.

Resta verificar, para os fins deste trabalho, se a INFRAERO possui políticas próprias para regulamentar a qualidade do ar ou que motivem a sustentabilidade no setor da aviação civil no Brasil. Afinal, o tema torna-se ainda mais importante devido às metas de crescimento do setor de aviação civil do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018, p. 17).

2.3 POLÍTICA AMBIENTAL DA INFRAERO

A INFRAERO é uma empresa pública federal brasileira, de administração indireta, vinculada ao Ministério da Infraestrutura e opera cinquenta e quatro aeroportos brasileiros. Foi criada por meio da Lei nº.5.862/1972 e se atualiza de acordo com as demandas internacionais para a aviação civil. Nesse sentido, na última década, a empresa passou a focar

na responsabilidade socioambiental e atualmente conta com uma política ambiental que abrange vários aspectos da legislação ambiental brasileira (INFRAERO, 2019).

A política ambiental da INFRAERO foi ratificada em janeiro de 2018, por meio da sua Diretoria Executiva, cuja finalidade é definir diretrizes, princípios e programas que consolidem a responsabilidade socioambiental da empresa. Segundo a INFRAERO (2018, p. 4), as diretrizes são definidas como guia das ações da empresa em conformidade com os seus princípios, em harmonia com o meio ambiente e a sociedade, primando pela eficiência.

No total, a política ambiental elenca treze diretrizes, sendo que a sua décima diretriz relaciona-se à contribuição para a gestão das emissões atmosféricas, relacionadas aos aeroportos, considerando minimamente: (a) gestão das emissões da frota de veículos e equipamentos movidos a combustíveis fósseis, (b) contabilização das emissões, (c) planejamento da infraestrutura e operação dos aeroportos; (d) atuação junto aos órgãos de controle ambiental e da aviação civil, (e) atuação junto aos concessionários para motivar ações de gestão das emissões, e (f) inclusão das mudanças climáticas no planejamento das ações e operações aeroportuárias.

Além disso, o art. 6º da Política Ambiental elenca onze objetivos para a INFRAERO em relação à responsabilidade socioambiental. O quarto objetivo é exatamente reduzir as emissões de poluentes atmosféricos.

Por fim, compete à superintendência de Meio Ambiente do Centro Corporativo assessorar, definir e atualizar a empresa e seus programas ambientais. Assim como monitorar o atendimento às metas ambientais, desenvolver os processos e programas ambientais, e desenvolver projetos e alternativas técnicas para a implantação de novas tecnologias e procedimentos operacionais voltados ao atendimento às normas e requisitos ambientais.

Nesse sentido, nos anos 2017 e 2018 foram executados 1.640 serviços de meio ambiente nos 54 aeroportos administrados pela empresa. Dentre esses serviços estão: 179 pareceres técnicos, 87 requisitos ambientais para projetos comerciais, 64 diagnósticos ambientais, 64 Planos de Controle Ambiental para Obras, 11 Inventários de Emissões Atmosféricas, 16 Diagnósticos Energéticos, 20 Planos de Gerenciamento do Risco da Fauna, 11 Planos de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 8 Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e 10 Avaliações de Conformidade Ambiental (INFRAERO, 2019).

Percebe-se que a empresa produziu diversos materiais e executou muitos serviços nos últimos anos. Para organizar a abordagem dos problemas e o progresso rumo aos objetivos, a INFRAERO organiza sua atuação através dos programas ambientais, que são grupos de projetos que refletem um ou mais princípios e atendem às diretrizes da política ambiental da

empresa, visando atingir a um ou mais objetivos. A subdivisão é feita em dez programas temáticos diferentes, sendo um deles o Programa de Gerenciamento de Emissões Atmosféricas, o qual visa mitigar os impactos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos provenientes dos sítios aeroportuários (INFRAERO, 2018, p. 1).

Atualmente, esse programa da empresa tem como prioridade estabelecer uma metodologia de análise de poluentes com o objetivo de diferenciar a contribuição do sítio aeroportuário daquela proveniente do tráfego de veículos nas vias do entorno. Isto é, existem diferentes fontes de emissões de poluentes, e estes se dispersam e formam uma mistura com o ar atmosférico. Feita a mistura, é difícil diferenciar qual é a real fonte das concentrações de poluentes nos arredores dos aeroportos, afinal, os poluentes não possuem diferenças nas suas composições apenas porque foram emitidos de fontes distintas. Nesse sentido, modelos matemáticos de dispersão gasosa podem ser desenvolvidos e utilizados para que a análise da responsabilidade de cada fonte emissora seja corretamente avaliada. Para que o modelo matemático possa ser testado, é necessário que se façam inventários de emissões atmosféricas, e estes já estão sendo produzidos, conforme explicitado anteriormente.

Além disso, também se encontra em desenvolvimento uma ferramenta informatizada que permite o levantamento do consumo de combustível da frota cativa e respectivo cálculo das emissões de CO_2 (INFRAERO, 2018, p. 1).

Por fim, é intenção da INFRAERO desenvolver outros trabalhos e estudos no sentido de contribuir para a gestão de poluentes, entre eles: (a) inventário de emissões atmosféricas e estudo de dispersão dos poluentes oriundos das atividades portuárias; e (b) estudos de viabilidade para a implementação de facilidades fixas para fornecer energia e ar condicionado para as aeronaves quando estacionadas.

O primeiro grupo de trabalhos e estudos vai ao encontro da metodologia de análise da diferenciação de poluentes oriundos do sítio aeroportuário e dos veículos das vias do entorno, o qual é a prioridade atual do programa sobre as emissões. Isto é, são modelos matemáticos que irão colaborar para o entendimento das contribuições das fontes de emissão de poluentes.

O segundo é muito amplo e abarca diversas opções que estão sendo estudadas atualmente. O próprio programa cita como exemplos o uso de GPU e APU (INFRAERO, 2018, p. 1); além desses, podem ser citadas opções como o uso de energia solar e sistemas de energia fixos (SEFs).

Verifica-se que a INFRAERO busca, por meio da sua política ambiental, promover um desenvolvimento alinhado com a responsabilidade socioambiental, característica entendida como indispensável para uma grande controladora de aeroportos. A empresa tem procurado

alinhar-se com a demanda mundial do desenvolvimento sustentável e se empenhado em estabilizar as suas diretrizes ambientais para atingir os objetivos elencados no seu Programa Ambiental. Para isso, uma das medidas da empresa é o aprimoramento técnico e tecnológico dos métodos e metodologias que são utilizados atualmente e que precisam fornecer resultados mais apurados. Além disso, a INFRAERO também se preocupa em propor novas ideias relacionadas à implementação de facilidades fixas de energia nos aeroportos.

Como foi citado, o Programa Ambiental baseia-se na legislação ambiental brasileira. Além disso, o Brasil é um país membro da ICAO e, por isso, aceita todas as regulamentações que a organização faz acerca dos motores de aeronaves.

Fica claro, portanto, que o país está movendo esforços para manter a qualidade do ar em padrões aceitáveis. Contudo, o desafio a ser superado ainda é grande e os órgãos responsáveis possuem muito trabalho a produzir para atingir todos os objetivos que o programa ambiental propõe. Deve considerar-se ainda que o mundo é muito dinâmico, e que as metas e padrões para os poluentes tendem a ser cada vez mais restritivos. Com isso, os agentes da aviação civil devem trabalhar constantemente para desenvolver tecnologias e métodos que satisfaçam tais padrões e tornem o desenvolvimento sempre mais sustentável.

3 EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM AEROPORTOS DO BRASIL: POSSIBILIDADES E DESAFIOS

A ICAO é responsável por estabelecer padrões globais que são adotados pelos países membros da organização, e, como foi verificado, utiliza essa prerrogativa para regulamentar as emissões de poluentes atmosféricos feitas pelos motores das aeronaves. Contudo, uma ampla e numerosa variedade de fontes de emissões pode ser encontrada nos aeroportos, as quais podem emitir poluentes diferentes e em quantidades distintas. Sendo assim, é costumeira a divisão das fontes de poluentes em quatro categorias (ICAO, 2011, p 34):

a) emissões das aeronaves (subdividido em motor principal das aeronaves e APUs);
b) emissões do manuseio das aeronaves (GSEs, GPUs, tráfego no lado aéreo e abastecimento das aeronaves);
c) fontes relacionadas à infraestrutura ou a fontes estacionárias; e
d) tráfego de veículos

A preocupação da ICAO relacionada às emissões de poluentes atmosféricos pode ser observada através da evolução temporal dos padrões relacionados aos motores das aeronaves. Contudo, de acordo com a categorização das fontes de poluentes feitas pela ICAO, percebe-se que a organização regulamenta apenas uma subdivisão de uma das categorias fontes das emissões atmosféricas relacionadas a aeroportos. Mais do que isso, o próprio documento da ICAO destinado a auxiliar os *stakeholders* da aviação civil a analisar as emissões de poluentes, *Annex 16 Volume II – Aircraft Engine Emissions*, deixa claro que não existem padrões regulamentadores para motores turboélice e *turboshafts*, para pistões dos motores e para APU das aeronaves (ICAO, 2011, p. 26-27).

Sendo assim, neste capítulo serão abordadas as contribuições para a poluição atmosférica devido ao uso de APUs e GSEs durante as operações de solo das aeronaves; e serão propostas algumas alternativas para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos por essas fontes, já que não são regulamentadas pela ICAO. Para isso, serão analisadas abordagens regulamentadoras feitas por alguns aeroportos e países sobre o uso de APUs pelas aeronaves; e opções tecnológicas para a substituição do uso dessas unidades para o fornecimento de energia elétrica, bem como opções para os equipamentos utilizado para dar suporte a aeronaves durante as operações em solo.

3.1 EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NOS AEROPORTOS BRASILEIROS

Conforme explicitado pela política ambiental da INFRAERO, faz parte do plano de meta da empresa diminuir as emissões de poluentes atmosféricos relacionadas à operação de aeroportos. Para isso, várias ações têm sido feitas, entre elas, a confecção de inventários de emissões de poluentes (INFRAERO, 2019). Contudo, estes inventários são feitos para os aeroportos separadamente, isto é, cada inventário corresponde a um aeroporto. Sendo assim, para uma primeira análise mais ampla, utilizar-se-á o Inventário de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil de 2014, fornecido pela ANAC e que trata do setor de transporte aéreo como um todo.

No Inventário de Emissões da ANAC (2014) a metodologia utilizada para o cálculo de emissões é o Método Tier 3A, o qual se baseia em informações detalhadas de cada voo, como os aeródromos de origem e destino e o modelo da aeronave. As emissões são calculadas separadamente para cada uma das fases de voo: pouso e decolagem (LTO), cruzeiro e emissões feitas pelas APUs durante as operações em solo (ANAC, 2014, p. 19). De forma geral, a sequência lógica de procedimentos utilizados nas estimativas das emissões conforme, o Método Tier 3A, é feita conforme a Figura 3-1, a qual também ilustra os agentes fornecedores de informações.

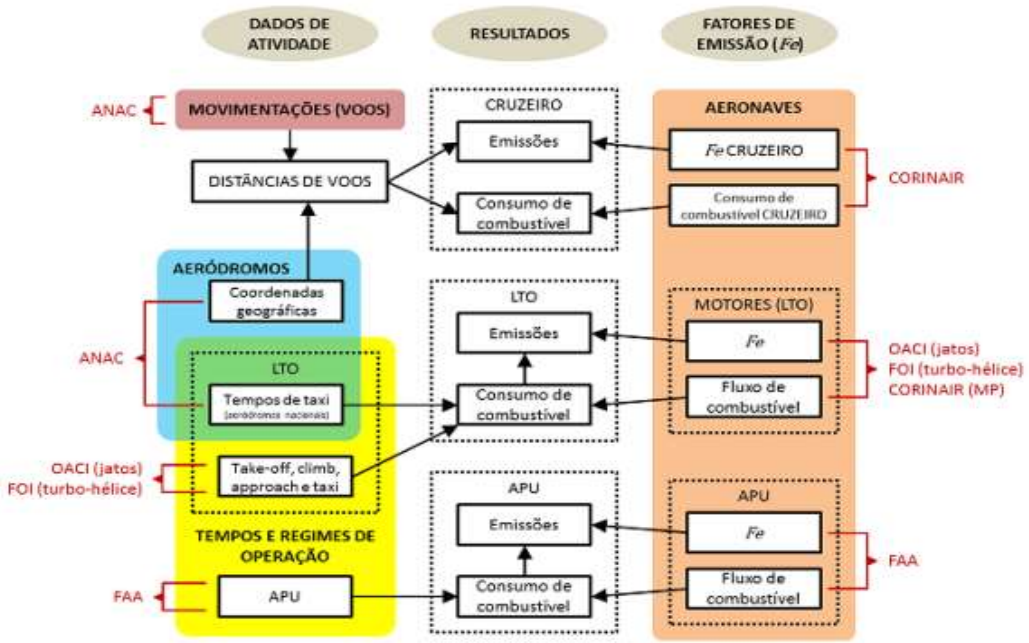

Figura 3-1 - Procedimentos adotados e fontes de informação para estimar as emissões da metodologia Tier 3A (ANAC, 2014, p. 22)

A metodologia utilizada para a estimativa das emissões de poluentes atmosféricos feitas pelas APUs é fornecida pelo *Handbook for evaluating emissions and costs of APUs and Alternative Systems I* (ACRP, 2012), e é baseada nas estimativas apresentadas de consumo de combustível e de emissões de poluentes pelas APUs.

Os fatores de emissão e o consumo de combustível das APUs são dependentes tanto do tipo de aeronave quanto do regime de potência no qual ela está operando. Cada uma das fases de utilização da unidade (partida, *gate-in*, *gate-out*, e partida de motores das aeronaves - MES) apresenta um regime de potência típico, o qual varia conforme as condições de temperatura ambiente.

Conhecida a categoria da aeronave, é possível estabelecer o fluxo de combustível e os fatores de emissão para cada fase de utilização das APUs. Esses valores são a base para a metodologia utilizada para o cálculo das emissões.

Resumida a metodologia utilizada para a estimação das emissões de poluentes, analisar-se-ão os resultados relacionados e obtidos pela ANAC em 2014. De antemão, é necessário deixar claro que a agência tinha como objetivo analisar a qualidade do ar nos aeroportos, e, por isso, ignorou as emissões de poluentes atmosféricos na fase de cruzeiro das viagens feitas pelas aeronaves. Isto é, foram consideradas apenas as emissões provenientes do ciclo LTO e do uso de APUs. Além disso, as emissões de material particulado e dióxido de enxofre feitas por APUs não foram estimadas devido a limitações técnicas (ANAC, 2014, p. 38). A seguir, as Figura 3-2, Figura 3-3 e Figura 3-4 ilustram as quantidades de CO, COV e NO_x emitidos por atividades nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013.

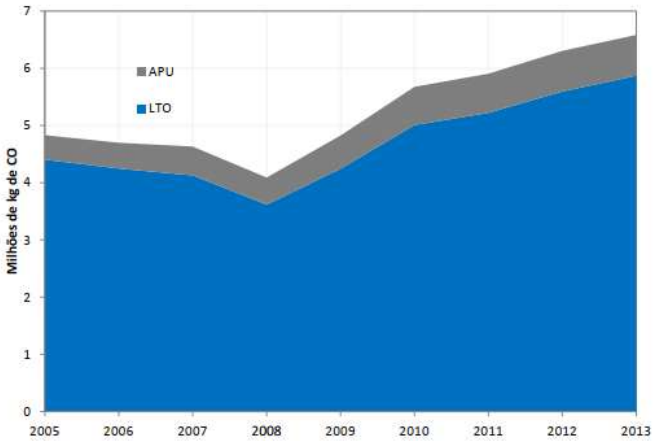

Figura 3-2 – Emissões de CO por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 45)

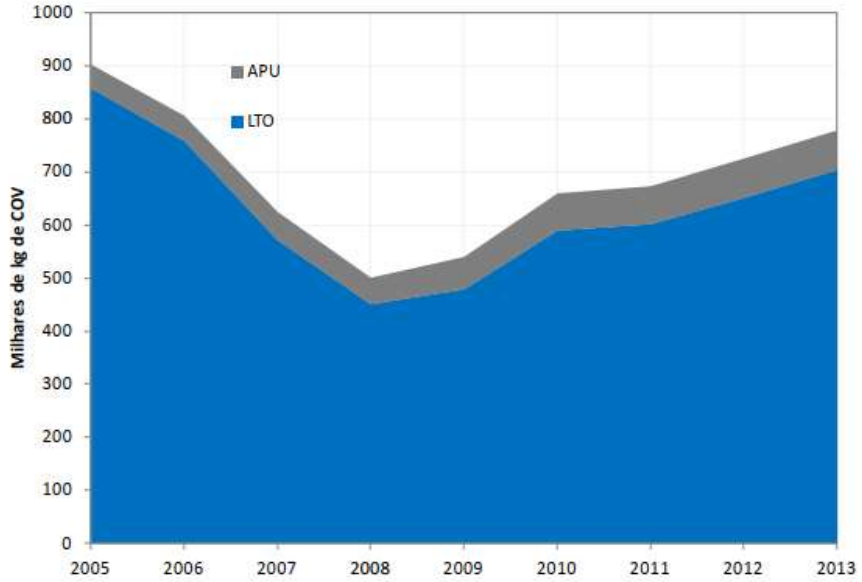

Figura 3-3 - Emissões de COV por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 48)

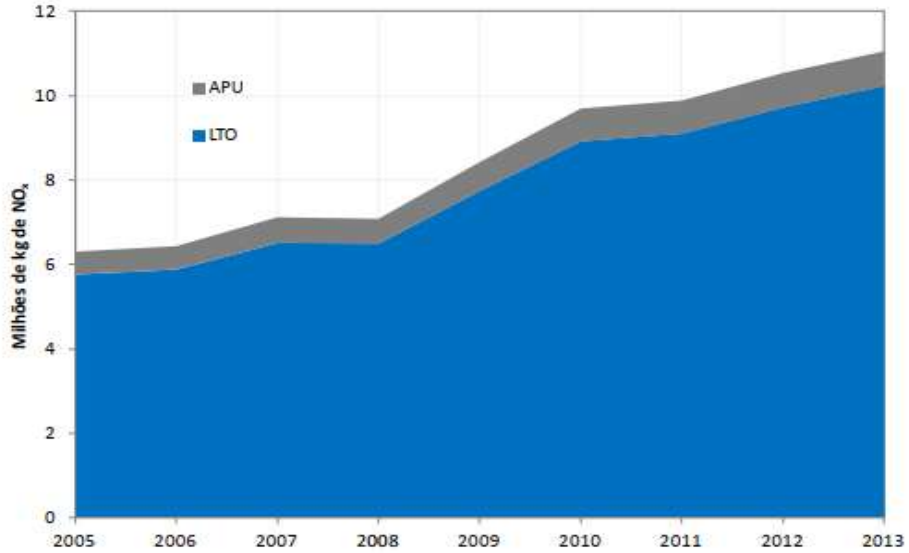

Figura 3-4 - Emissões de NO_x por atividade nos aeródromos brasileiros entre 2005 e 2013 (ANAC, 2014, p. 50)

Com esses dados, é possível exemplificar a proporção de contribuição sobre as emissões de poluentes atmosféricos produzidas durante a LTO e produzidas por APUs para algum período específico. Tal proporção é feita com os dados do ano de 2013, e o resultado é ilustrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resumo da proporção das contribuições sobre as emissões de poluentes atmosféricos por atividades nos aeroportos brasileiros em 2013

	LTO	APU
CO	90,00%	10,00%
COV	91,04%	8,96%
NOx	92,55%	7,45%

É perceptível a participação das APUs para a poluição do ar atmosférico e, por isso, faz-se necessário analisar mais detalhadamente a sua contribuição. Como foi explicitado, a metodologia adotada pela ANAC para o cálculo das emissões de poluentes divide o período de uso das APUs em quatro fases de utilização: partida, *gate-in*, *gate-out*, e partida dos motores das aeronaves. Segundo a ANAC (2014, p. 28), o tempo total médio de uso das APUs no Brasil é de 75 minutos, e a fase de maior duração é o *gate-in*, que é o período durante o qual os passageiros estão desembarcando. Na Figura 3-5 são ilustradas as quantidades percentuais da geração dos três poluentes estimados pela ANAC para cada fase de operação das APUs (2014, p. 49-51).

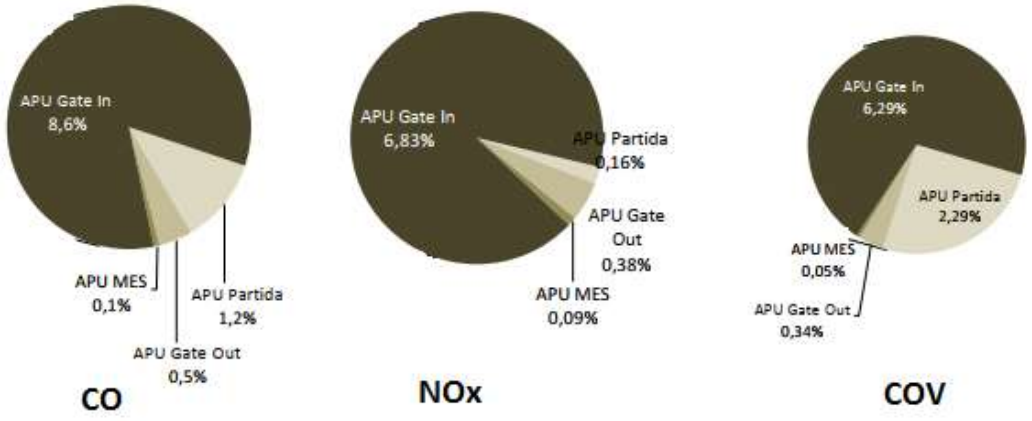

Figura 3-5 – Contribuição para as emissões de poluentes atmosféricos para cada fase de utilização das APUs (ANAC, 2014, p. 49-51)

Conclui-se que a fase de *gate-in* da utilização das APUs é extremamente relevante para a contribuição total das emissões de poluentes atmosféricos nos aeroportos brasileiros, entretanto, no Brasil, essa fonte de emissões não é regulamentada.

Como foi explicitado, o programa ambiental da INFRAERO incluí a construção de inventários para as emissões de poluentes atmosféricos pelos aeroportos operados pela empresa, e o faz individualmente para alguns aeroportos. Após contato com a empresa, foram disponibilizados os inventários de emissões de poluentes atmosféricos dos aeroportos de

Uruguaiana (SBUG), Joinville (SBJV), Rio de Janeiro (SBRJ), São Luís (SBSL), Recife (SBRF), e Navegantes (SBNF). Todos possuíam 2017 como ano base, exceto o inventário do SBRJ, que possuía 2016 como ano base. A seguir será feita uma síntese dos métodos e dos resultados dos inventários disponibilizados.

Diferentemente do que era feito no inventário da ANAC, a INFRAERO divide as fontes geradoras de poluentes atmosféricos em: (a) ciclo de pouso e decolagem; (b) fontes estacionárias (geradores, tanques de combustível); (c) APUs; (d) equipamento de apoio em terra (GSE); (e) tráfego de acesso ao aeroporto (vias de acesso); e (f) atividades que envolvem medidas operacionais de emergência (treinamentos de incêndio, por exemplo). Os poluentes atmosféricos considerados nos inventários da INFRAERO são os mesmos que são considerados pela ANAC, isto é: o monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$). Contudo, houve preocupação da INFRAERO em melhorar a coleta de dados e, por isso, dados que antes não eram medidos, como emissão de SO_x e MP pelas APUs, são valorados. Percebe-se, portanto, que a empresa tem trabalhado para atingir um dos objetivos da sua política ambiental, que é produzir inventários detalhados. Ou seja, a INFRAERO se aproxima mais das diretrizes sugeridas pela ICAO (2011) em relação à forma de produção dos inventários.

Dessa maneira, foi produzida a Figura 3-6, a qual ilustra a contribuição de cada fonte geradora de poluente atmosférico em relação ao total de emissões de cada poluente atmosférico, segundo os inventários da INFRAERO citados anteriormente.

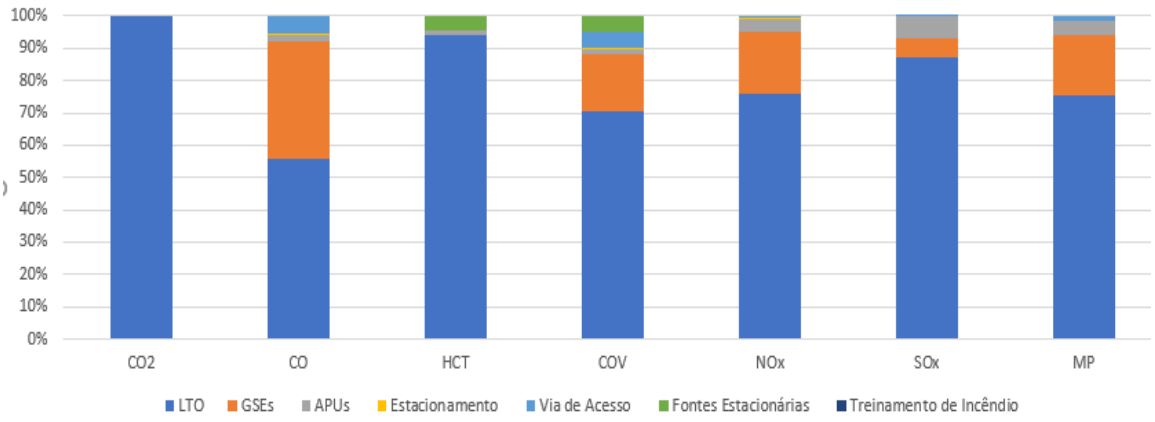

Figura 3-6 – Contribuição de cada emissor para cada poluente

Apesar da melhoria de coleta de dados em relação à ANAC, os resultados para as emissões de CO_2 são fornecidos apenas para aeronaves e fontes estacionárias, assim como os valores de Hidrocarbonetos Totais (HCT) são fornecidos apenas para aeronaves, APU, fontes estacionárias (tanques de combustível), devido a limitações técnicas do método de medição utilizado pela INFRAERO (INFRAERO, 2018, p. 56).

Por fim, serão feitos recortes para as emissões atmosféricas realizadas pelas APUs e pelos GSEs nesses aeroportos. A Figura 3-7 ilustra a parcela de contribuição das APUs para as emissões de cada poluente atmosférico medido (exceto CO_2, devido à falta de medição motivada pelos limites técnicos). A partir da

Tabela 3.2 é possível verificar as massas em toneladas dos poluentes atmosféricos emitidos pelas APUs.

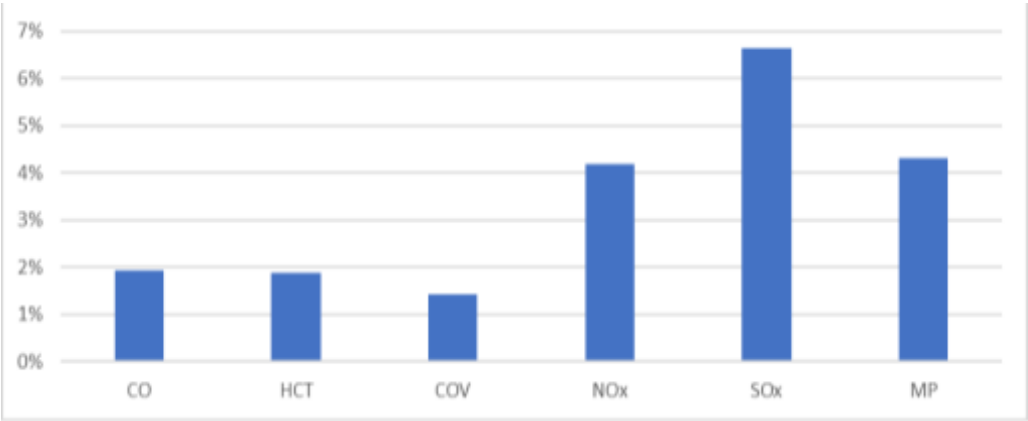

Figura 3-7 - Contribuição das APUs para as emissões de poluentes atmosféricos

Tabela 3.2 – Massa em toneladas dos gases emitidos pelas APUs

CO (t)	HCT (t)	COV (t)	NOx (t)	SOx (t)	MP (t)
20,46	1,51	1,74	33,45	4,52	17,95

Faz-se o mesmo levantamento de dados para as emissões feitas pelos GSEs.

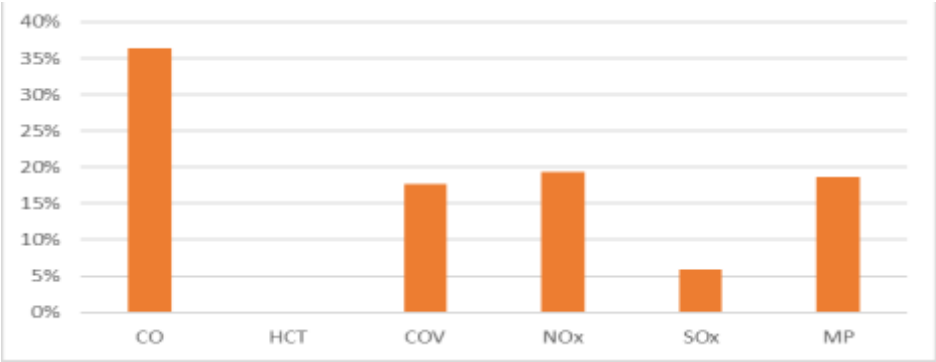

Figura 3-8 – Contribuição dos GSEs para as emissões de poluentes atmosféricos

Tabela 3.3 – Massa em toneladas dos gases emitidos pelos GSEs

CO (t)	HCT (t)	COV (t)	NOx (t)	SOx (t)	MP (t)
383,91	-	21,36	154,03	4,02	77,91

Conforme os dados expostos, conclui-se que o maior contribuinte para as emissões são as aeronaves. No sítio aeroportuário, os equipamentos de solo (GSE) também possuem significativa contribuição, assim como a utilização de APUs das aeronaves e demais equipamentos de apoio em solo.

Dessa problemática surgem oportunidades de melhorias. A seguir serão citadas abordagens de outros países e de aeroportos relacionadas ao uso de APUs e GSEs, as quais podem servir de inspiração e base para medidas regulamentadoras feitas pelo Estado brasileiro por meio das entidades responsáveis. Além disso, as operadoras dos aeroportos podem se especializar para fornecer o serviço de solo semelhante aos que são oferecidos em aeroportos que possuem melhores resultados em relação a emissões de poluentes atmosféricos.

3.2 OPORTUNIDADES DE REDUÇÕES DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS PELO USO DE APUS E PELOS EQUIPAMENTOS DE SUPORTE EM SOLO

Os motores que operam as APUs das aeronaves possuem uma taxa de eficiência entre 8% e 14%, emitem muitos gases e produzem muitos ruídos sonoros (ZURICH, 2018, p. 3). Por isso, as alternativas que são observadas para a redução das emissões de poluentes

atmosféricos por APUs de aeronaves são baseadas em restrição de uso dessas unidades, ou implementação de opções mais sustentáveis para fornecimento de energia em detrimento do uso das APUs para as operações de solo das aeronaves. Isto é, os *stakeholdes* da aviação civil enxergam que, para prover um desenvolvimento sustentável sobre este tema, as APUs deverão ser usadas o menos possível e ceder espaço para outras alternativas.

Ao se tratar deste tema, o Aeroporto de Zurique (ZRH), um dos dez maiores da Europa, se destaca como um bom exemplo. Segundo a *Unique Airport*, empresa administradora do aeroporto, baseado nos artigos 35 e 51 da licença de operação do aeroporto fornecida pelo Estado Suíço, o uso das APUs possui restrições que devem ser respeitadas (ZURICH, 2005, p. 7). Preferencialmente, nos locais onde existirem instalações pneumáticas e elétricas estacionárias, estas devem ser usadas sempre que possível, de tal maneira que as APUs são opções que devem ser evitadas. Caso seja necessária a utilização de APUs, o órgão regulamentador impôs limitações de tempo ao aeroporto para essa utilização.

Deve atentar-se que as APUs são componentes das aeronaves, as quais não pertencem ao aeroporto, e, portanto, atender os limites de emissões de poluentes atmosféricos depende de um trabalho conjunto das companhias aéreas e dos aeroportos. Dessa maneira, é comum que companhias aéreas possuam equipes especializadas para o serviço de solo que são executados durante as operações das aeronaves, ou terceirizem essas operações para empresas especializadas (IATA, 2019).

Além das regulamentações, existem outras opções para diminuir as emissões de poluentes atmosféricos pelas APUs e por outros equipamentos de solo. Inclusive, a própria ICAO (2011, p. 172) possui recomendações nesse sentido e as subdivide em medias técnicas, operacionais e econômicas, conforme pode ser visto na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Sugestões da ICAO (ICAO, 2011, p. 172)

Source group	Measures			
	Regulatory	Technical (Infrastructure)	Operational[1]	Economic

Aircraft	• ICAO engine emissions standards, as adopted into States' national law • APU operating restrictions	• General airport layout • High-speed runway turn-offs • Parallel taxiways • Flow management 400Hz/PCA at aircraft gates/stands	• Engine start-up • Scheduling improvement • Single/reduced engine taxiing • Reduced engine idling time • Aircraft towing • Reduced APU use • De-rated/reduced thrust • Engine washing • Use of alternative jet fuel • Airport-specific ATM measures, including RNAV, RNP and continuous descent operations (CDOs)	• See *Guidance on Aircraft Emissions Charges Related to Local Air Quality* (Doc 9884)[2]
Aircraft handling and support	• Motor-vehicle emissions standards for GSE (as applicable)	• Alternative-fuel GSE (CNG/LNG, LPG, electric) • Alternative-fuel fleet vehicles (CNG/LNG, LPG, electric) • Emissions reduction devices (PM filter traps, etc.) • Fuel fumes capturing systems	• Reduction of vehicle operational characteristics • Use of generators, GPUs, airstarts • Reduced intensity of hot fire practices.	• Emissions-related licensing fees

As medidas operacionais e técnicas se complementam e, em graus diferentes, são adotadas em aeroportos brasileiros e internacionais. A Tabela 3.5 ilustra, genericamente, as formas de prover energia elétrica para aeronaves durante as operações em solo.

Tabela 3.5 – Sistemas de energia para aeronaves (ZURICH, 2018, p. 3)

	Aircraft built-in APU	Mobile Ground System	Ground Energy Systems
Electricity (400Hz)	✓	✓	✓
PCA (air)	✓	✓ (if Air Climate Unit)	✓
MES (main engine start)	✓	✓ (if Air Starter Unit)	-

Devido às regulamentações relacionadas ao uso de APUs no aeroporto de Zurique, a administradora do aeroporto investiu em medidas operacionais para viabilizar o atendimento das restrições. Desta maneira, neste aeroporto são utilizados os *Aircraft Ground Energy Systems* (AGES) para fornecimento de energia elétrica para as aeronaves em operações de solo, e, para estimar a diminuição de emissão de poluentes atmosféricos em operações em

solo de aeronaves, Zurich (2018, p. 20) faz estimativas de três cenários para as emissões de CO_2 e NO_x para o ano de 2016. Neste ano, houve 269.160 mil movimentos de aeronaves, 27,7 milhões de passageiros movimentados e transportou-se 464.859 mil toneladas de carga. O resultado das estimativas pode ser apreciado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Emissões de NOx e CO_2 no aeroporto de Zurique em 2016 (ZURICH, 2018, p. 21)

Scenario	no AGES / GPU avail. (full APU operations only)		AGES / GPU as it is today at Zurich Airport		APU for MES only (rest is AGES only)	
NOx 2016						
Total Airport 2016 (1,000m)	909 t	100%	802 t	100%	786 t	100%
APU	128 t		17 t		5 t	
GPU	0 t		3 t		0 t	
APU+GPU	128 t	14.1%	20 t	2.5%	5 t	0.6%
CO_2 2016						
APU	50,066 t		7,896 t		2,131 t	
GPU	0 t		1,050 t		0 t	
APU+GPU	50,066 t		8,945 t		2,131 t	

Em relação à emissão de NO_x, no terceiro cenário, em que não há GPU e a APU é utilizada apenas para ligar os motores das aeronaves e o AGES é usado para todo o resto das operações em solo, há redução de 13,5% das emissões dos óxidos nítricos. Em relação ao CO_2, a redução é espantosamente maior, e atinge o valor de 95,7%. A explicação para essa enorme redução é que o motor da APU possui um rendimento muito baixo e, por isso, quando queima combustível acaba gerando muitos compostos com carbono.

Percebe-se, portanto, que o desenvolvimento técnico e consequente substituição do uso das APUs e GPUs por outros meios de fornecimento de energia para as operações em solo tem potencial de reduzir consideravelmente a quantidade total de emissões de NO_x e CO_2. Mais do que isso, como a preocupação com o meio ambiente é tema mundial e central de conferências que envolvem dezenas de nações, não se deve acreditar que esse desenvolvimento se restringe à Suíça.

Sendo assim, o *London City Airport* possui claras diretrizes em relação ao tema. No *Air Quaility Action Plan* (LONDON, 2016), são expostas 17 medidas que, de maneira geral, estabelecem metas e prazos relacionadas a tecnologias, transparência de dados, e qualidade do ar. Especialmente, as *Measure* 3 e 4 versavam sobre as APUs e exigiam que até dezembro de 2016 fossem aprovadas estratégias para redução de impactos na qualidade do ar devido às operações de APUs. Atualmente, de acordo com London (2019, p. 234), o aeroporto possui

instruções restritivas relacionadas ao uso de APUs e pune companhias aéreas que violam essas instruções.

No Brasil, segundo o Programa de Gerenciamento de Emissões Atmosféricas da INFRAERO (2018, p.1), é intenção da empresa desenvolver trabalhos e estudos no sentido de contribuir para a gestão de poluentes, dentre eles:

> a) Inventário de emissões atmosféricas e estudo de dispersão dos poluentes oriundos das atividades aeroportuárias;
> b) Estudos de viabilidade para a implementação de facilidades fixas para fornecer energia e ar condicionado para as aeronaves quando estacionadas.

Ainda segundo referido programa, os aeroportos de Congonhas e Manaus seriam os primeiros a receber equipamentos de solo para suprir a necessidade de energia elétrica e ar condicionado para operações em solo das aeronaves. Contudo, a empresa não fornece inventários de emissão de poluentes atmosféricos para esses aeroportos, nem dados relacionados aos avanços dessas medidas. Por esse motivo, a última abordagem que será realizada é a avaliação do potencial de redução de emissão de poluentes atmosféricos através da instalação de um sistema fixos no solo para o Aeroporto de Manaus.

3.3 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO AEROPORTO DE MANAUS

A escolha do Aeroporto de Manaus justifica-se pelo fato de a INFRAERO, no âmbito do Programa de Gerenciamento de Emissões Atmosféricas (2018, p. 1), ter informado que irá implantar equipamentos de solo para suprir a necessidade de energia elétrica e ar condicionado nas operações das aeronaves ocorridas neste aeroporto. Dessa forma, atendendo à finalidade propositiva deste trabalho, pretende-se apresentar uma comparação de dados de emissões de poluentes atmosféricos sob a perspectiva do uso de APUs e de GSEs no aeroporto de Manaus, com o objetivo demonstrar suas distinções e colaborar, no aspecto prático, para a implementação do GSE. Ademais, a investigação comparativa de emissões sobre estes dois sistemas possui o potencial de fomentar que mais aeroportos brasileiros possam realizar tal adaptação técnica, tendo em vista a importância de empreender práticas mais sustentáveis no setor aeroportuário.

Percebeu-se que a implantação dos AGES no Aeroporto Internacional de Zurich permitiu a diminuição das emissões de poluentes atmosféricos durante as operações das

aeronaves (Zurich, 2018). O Conselho Internacional de Aeroportos (ACI) fornece um *software* chamado *Aircraft Ground System Simulator* que permite estimar a redução de custo e de emissão de poluentes atmosféricos a partir da instalação de AGES em um aeroporto. Sendo assim, o presente trabalho utilizou-se deste *software* para estimar a possível redução de emissão de poluentes atmosféricos para o Aeroporto de Manaus.

Inicialmente, o *software* supõe que o fornecimento de energia elétrica para todas as operações de solo é feito somente com as APUs. O usuário então pode selecionar cenários diferentes de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado para estimar a economia e a redução de emissões de poluentes, conforme é ilustrado pela Figura 3-9.

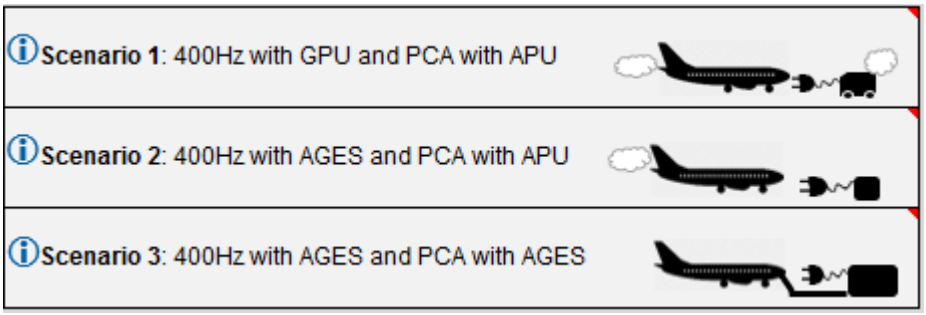

Figura 3-9 – Simulações que o *software* admite

Alguns dados iniciais devem ser fornecidos ao *software* para que a comparação possa ser realizada. Os dados utilizados foram o fluxo de aeronaves de 2017, obtido no Anuário Estatístico da INFRAERO (INFRAERO, 2017, p. 56). O fluxo total de movimentos de aeronaves naquele ano foi de 37.030 mil aeronaves, entretanto, foi necessário fazer uma adaptação para o uso do *software* e, por isso, foram considerados 37.230 mil movimentações. Além disso, a metodologia se baseia nas categorias das aeronaves que são operadas, pois a partir das categorias, o *software* entende qual APU a aeronave utiliza e estima as emissões provenientes dessas unidades. Segundo HORUS (2019), o mix de aeronaves no SBEG é inteiro de aeronaves de categoria C.

Os resultados obtidos utilizando o *software* com esses dados iniciais e comparando com *scenario 2* podem ser vistos na Tabela 3.7. Este cenário supõe que um sistema fixo de solo fornece energia elétrica durante todo o tempo de solo das aeronaves e a APU seja utilizada somente quando as condições climáticas exigirem ar condicionado.

Tabela 3.7 – Potencial de redução (*Aircraft Ground System Simulation*)

	CO_2 (t/a)	NOx (t/a)	MP (t/a)
APU e PCA	7330	18,7	0,8
AGES e PCA com APU	762	1,9	0,1
Redução	89,6%	89,8%	87,5%

Como era esperado, a instalação de um sistema fixo de energia elétrica no solo forneceria uma imensa redução das emissões de poluentes atmosféricos durante as operações de solo. Evidentemente a instalação possui custos vinculados e uma análise econômica também deve ser feita para entender qual a melhor opção para a sociedade como um todo, ou seja, para o conjunto formado pelo Estado, representado pela INFRAERO, investidores, representados pelas companhias aéreas, e a população dos arredores dos aeroportos. Além disso, tendo em vista a procura por melhores opções, pode fazer-se comparações entre outras fontes para fornecer energia, como a energia solar. A partir das comparações, pode avaliar-se os impactos gerados pela produção e uso de cada fonte de energia e assim procurar a melhor opção para a sociedade.

Por fim, como explicitado anteriormente, existem outras oportunidades para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, as quais serão resumidamente explanadas a seguir.

A evolução jurídica do direito ambiental ao longo das últimas décadas é um fenômeno notável no Brasil. A exigência de licenciamento ambiental para a implantação e operação de empreendimentos danosos ao meio ambiente, como os aeroportos, foi um importante passo para a proteção do meio ambiente no Brasil. É importante, entretanto, não frear essa evolução e aprimorar exigências que motivem os meios de produção a se desenvolverem e tornarem-se mais sustentáveis. Nesse sentido, o estreitamento dos limites regulatórios para as concentrações de poluentes atmosféricos ao redor de aeroportos é um meio a ser melhor explorado no país.

A progressão da preocupação da INFRAERO relacionada ao meio ambiente também deve ser salientada. A empresa tem produzido programas ambientais e evoluído nesse sentido, entretanto, deve aumentar a frequência da produção de inventários de emissões de poluentes atmosféricos e a quantidade de aeroportos avaliados; bem como facilitar o acesso do público a esses inventários, com o propósito de facilitar o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias voltadas ao aperfeiçoamento do uso de mecanismos mais sustentáveis no âmbito aeroportuário.

Como demonstrado por esta pesquisa e, baseado no que é feito em outros países, é recomendável que a INFRAERO implemente novos padrões sustentáveis nos aeroportos brasileiros, como, por exemplo, o de reduzir o tempo de uso de APUs pelas aeronaves enquanto operam em solo. Tal medida diminuiria consideravelmente as emissões de CO_2, NO_x e MP e, além disso, incentivaria as companhias aéreas a desenvolverem ferramentas mais sustentáveis para o fornecimento de energia elétrica e ar condicionado às aeronaves enquanto operam em solo.

No que concerne à ICAO, propõe-se ampliar a regulamentação atinente às emissões atmosféricas nos aeroportos. Como já mencionado, atualmente a organização regulamenta apenas as emissões de poluentes atmosféricos feitas pelos motores de aeronaves. Na prática, essas fontes são os maiores emissores, entretanto, criar padrões e regulamentações para outros emissores, como as APUs e os equipamentos de GSE são estratégias relevantes para as reduções de poluentes atmosféricos para o mundo todo, uma vez que 193 países membros participam desta organização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ICAO é uma organização que pertence às Nações Unidas e possui 193 países membros. Exerce muitas funções, entre elas atuar como órgão regulamentador internacional e impor padrões para as emissões de poluentes atmosféricos relacionados aos aeroportos. Contudo, atualmente, essas regulações se limitam aos motores das aeronaves e não consideram as operações de solo das aeronaves, as quais são movidas por motores com rendimentos baixos e que emitem muitos gases poluentes. Existe, portanto, uma oportunidade de melhoria da regulamentação do tema por parte da ICAO, que pode provocar grandes benefícios para as gerações futuras ao reduzir a concentração de poluentes no ar atmosférico.

Além da regulamentação internacional, os aeroportos, as companhias aéreas e os Estados possuem papel importante para diminuir as emissões de poluentes atmosféricos nos aeroportos. O aeroporto de Zurich, por exemplo, investe em sistemas fixos para fornecer energia elétrica durante as operações de solo das aeronaves e destaca-se como um bom exemplo a ser seguido.

Do ponto de vista nacional, pela investigação traçada neste trabalho, pode-se inferir que o Brasil está tratando do tema com cuidado. Nesse sentido, a INFRAERO está implementando a sua política ambiental por meio de programas ambientais relacionados não somente às emissões de poluentes atmosféricos. Os programas começaram há poucos anos e têm potencial para se desenvolver e atingir os objetivos dessa política.

A partir dos levantamentos e abordagens traçados nesta pesquisa, recomenda-se, afinal, quatro diretrizes para o Estado brasileiro em relação ao tema, as quais serão citadas na sequência em que foram contempladas ao longo da investigação.

A primeira delas é relacionada ao CONAMA, que poderia incluir no licenciamento ambiental de operação dos aeroportos uma regulamentação mais restrita para a concentração de poluentes nos arredores dos aeroportos. A segunda diretriz atine-se diretamente à INFRAERO, que poderia impor novos padrões sustentáveis relacionados à emissão de poluentes atmosféricos, como a limitação do tempo de operação de APUs durante as operações de solo das aeronaves, já que, como esmiuçado, tais sistemas contribuem significativamente para a diminuição da qualidade ambiental. Ademais, recomenda-se também à INFRAERO que produza inventários com maior frequência e que amplie tal produção para mais aeroportos e, sobretudo, disponibilize mais facilmente aos pesquisadores e público em geral.

Como quarta recomendação aponta-se a necessidade de um trabalho conjunto da INFRAERO, das companhias aéreas e das concessionárias dos aeroportos no sentido de realizarem estudos para analisar os custos da implementação de sistemas fixos de energia elétrica nos grandes aeroportos e os benefícios diretos e indiretos gerados por essas implementações.

Ressalta-se que todos os aspectos explorados neste trabalho e, conjuntamente, as recomendações encaminhadas, estão diretamente relacionados ao desenvolvimento sustentável e a maneira como este deve estar integrado à sociedade atual. Ao passo que décadas atrás não havia grandes preocupações relacionadas à sustentabilidade dos sistemas produtivos, atualmente, os congressos e encontros gerenciados pela ONU atinentes ao desenvolvimento sustentável e a tratativa legal que vem sendo dada ao meio ambiente são claros exemplos do aumento da amplitude do tema atualmente. Muito longe de esgotar-se, o desenvolvimento sustentável continuará exercendo influências importantes no mundo, sobretudo, como ferramenta para controlar as explorações desenfreadas de matérias-primas básicas e garantir que exista condições para o desenvolvimento das gerações futuras da humanidade.

Para finalizar, faz-se uma sugestão ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica. É facilmente perceptível que durante a sua formação, o aluno é nada ou muito pouco exposto a temas vinculados ao seu papel como cidadão. No curso de engenharia civil-aeronáutica, por exemplo, os alunos cursam apenas uma disciplina de direito e uma disciplina que trata de temas atinentes à sustentabilidade. Não há formação relacionada aos variados ramos do direito, aos temas mundiais tratados no âmbito das Nações Unidas, e nem ao cenário político brasileiro. Não quer dizer que cadeiras técnicas de engenharia civil deveriam ser retiradas para que houvesse mais cadeiras relacionadas a estes temas, na verdade deveria haver mais relações entre as cadeiras técnicas e paradigmas do dia a dia, afinal, pois o mercado de trabalho exigirá determinada noção de mundo dos alunos.

Além disso, durante a formação, as disciplinas não se comunicam e, com isso, é desperdiçada uma grande oportunidade de complementação das disciplinas e de formação de engenheiros com mais noção da totalidade dos processos em um projeto real. Apenas um exemplo, em um determinado semestre, existe um projeto de traçado de estradas, um de pavimentos e um de drenagem em rodovias, e todos são tratados isoladamente. Perde-se uma grande oportunidade de multidisciplinariedade que pode enriquecer a formação dos alunos.

A escolha do tema desse TG é um pouco disso, a busca pela multidisciplinariedade que faz falta na formação dos alunos do ITA e que o autor sentiu muito por não ter tido.

REFERÊNCIAS

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM – ACRP, 2012. Report 64 – Handbook for Evaluatng Emissions and Costs of APUs and Alternatve Systems, Transportaton Research Board, Washington, D.C. 86p.

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH Program – ACRP, 2012. Report 78 - Airport Administration Ground Support
Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial. Washington.

AIRPORT COUNCIL INTERNATIONAL – ACI. Aircraft Ground Energy System Simulator (AGES-S) v.1. 2019. Disponível em: < https://aci.aero/about-aci/priorities/environment/ages-s/>. Acesso em 14 Nov. 2019.

ANAC, Agência Nacional da Aviação Civil. **Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil**, Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/publicacoes/inventario_nacional_de_emissoes_atmosfericas_da_aviacao_civil.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2019.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução de Diretoria Colegiada nº 56**, de 06 de agosto de 2008. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2008/res0056_06_08_2008.html>. Acesso em: 23 Set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento: apresentação. Rio de Janeiro, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6034**: informação e documentação: índice: apresentação. Rio de Janeiro, 2004.

BAINES, Stephen Grant. A usina hidrelétrica de Balbina e o deslocamento compulsório dos Waimiri-Atroari. Série Antropologia, v. 166, p. 1-15, 1994.

BARBOSA, Gisele Silva. O desafio do desenvolvimento sustentável. Revista Visões, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2008.

BENJAMIN, Antônio Herman V. et al. Introdução ao direito ambiental brasileiro. Revista de direito ambiental, v. 14, p. 48-82, 1999.

BERARDI, Umberto. Sustainability assessment in the construction sector: rating systems and rated buildings. Sustainable Development, v. 20, n. 6, p. 411-424, 2012.

BRAGA, Benedito. Introdução à engenharia ambiental. 2ª edição. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

Brasil. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988**. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 30 Out. 2019.

Brasil. **Lei nº 7565**, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565compilado.htm>. Acesso em: 01 Nov. 2019

Brasil. **lei nº 6938**, de 31 de ago de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm >. Acesso em: 01 Nov. 2019

Brasil. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2018). **Resolução nº 491**, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília: Diário Oficial da União. Recuperado em 7 de abril de 2019, disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 29 de outubro de 2019.

BRUNDTLAND, Gro Harlem; COMUM, Nosso Futuro. Relatório Brundtland. Our Common Future: United Nations, 1987.

CECHIN, Andrei; VEIGA, JE da. O fundamento central da economia ecológica. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**, v. 2, p. 33-48, 2010.

CÁNEPA, Eugenio Miguel. Economia da poluição. **Economia do meio ambiente: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier**, p. 61-79, 2003.

COASE, Ronald. O problema do custo social. Journal of law and economics, p. 6, 1960.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO [UNCED]. Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 05**, de 05 de agosto de 1993. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=130>. Acesso em: 23 Set. 2019

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 491, de 19 de novembro de 2018.

COUNCIL, US Green Building. Leadership in energy and environmental design (LEED). 2001.

DE NEUFVILLE, Richard. Airport systems planning. Springer, 2013.

DE PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. Revista Direitos Fundamentais & Democracia, v. 6, n. 6, 2009.

DOC, I. C. A. O. 9889. Airport Ait Quality, 2011.

Environmental Protection Agency, **Green Building**. Disponível em: < https://archive.epa.gov/Greenbuilding/web/html/>. Acesso em: 24 Ago. 2019.

Environmental Techincal Manual, Volume II, I. C. A. O., 2008.

Environmental Techincal Manual, Volume II, I. C. A. O., 2016.

ESPEY, Molly; LOPEZ, Hilary. The impact of airport noise and proximity on residential property values. Growth and Change, v. 31, n. 3, p. 408-419, 2000.

FACHINI, S. C. R.; SANTANNA, F. S. P.; MACEDO, A. O. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos gerados nas instalações do aeroporto de Joinville/SC. In: SIMPÓSIO ÍTALOBRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., Vitória: Abes, 2002.

FERNANDES, Arthur Neiva et al. ANÁLISE DAS FONTES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE AEROPORTOS DA INFRAERO. Revista Técnico-Científica, n. 14, 2018.

HARDIN, Garrett. The tragedy of the commons. science, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

HORONJEFF, Robert; DE ARAÚJO, Heitor Lisboa. Aeroportos: planejamento e projeto. Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional USAID, 2010.

IATA International Air Transport Association - Building Greener Future - 3ª edição, Suíça, 2008

IATA International Air Transport Association – **Ground Handlers. 2019**. Disponível em: < https://www.iata.org/Pages/ground-handlers.aspx>. Acesso em: 05 Nov. 2019.

ICAO – International Civil Aviation Organization, **Waste Management at Airports**, 2017. Disponível em: < https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Waste_Management_at_Airports_booklet.pdf>. Acesso em: 7 Out. 2019.

ICAO **What's**? Disponível em: < https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>. Acesso em: 13 Out. 2019.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (2018) Política Ambiental.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (2017) Anuário Estatístico Operacional 2017. Secretaria da Aviação Civil. Brasília.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (2018) **Programa de gerenciamento de emissões atmosféricas**, 2018. Disponível em: < http://www4.infraero.gov.br/media/551649/programa_gerenciamento_de_emisses_atmosfricas.pdf>. Acesso em 10 Out. 2019.

INFRAERO, **Meio Ambiente**. Disponível em: < https://www4.infraero.gov.br/infraero-desenvolve-portfolio-e-acoes-sustentaveis-na-area-ambiental/>. Acesso em: 22 Out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Guia de procedimentos do licenciamento ambiental federal: documento de referência. Brasília**, 2002. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/Procedimentos.pdf>. Acesso em: 03 Nov. 2019.

HOBSBAWM, Eric. A era das revoluções: 1789-1848. Editora Paz e Terra, 2015.

HORUS – LABTRANS. Brasil, 2019. Disponível em: < https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Aeroporto/InformacoesGerais/SBEG>. Acesso em 14 Nov. 2019.

JABONSKI, C.D., 2017. Monitoramento de poluentes atmosféricos em aeroportos: a qualidade do ar no Aeroporto Bacacheri (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

JALAEI, Farzad; JRADE, Ahmad. Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings. Itcon, v. 19, p. 494-519, 2014.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.

LAGO, André Correa do. Estocolmo, Rio, Joanesburgo o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas, v.1, p. 23-52, 2005

LONDON CITY AIRPORT. **Air Quality Action Plan** (2016-2018). Disponível em: < https://assets.ctfassets.net/ggj4kbqgcch2/DTMyyFY9I4YsiGSSUw48w/77e081109d3f867b87ba7c665ff393a6/environment-air-quality-action-plan-2016-18.pdf>. Acesso em: 6 Nov. 2019.

LONDON CITY AIRPORT. **Air Quality Action Plan Progress Update 2019**. Disponível em: < https://downloads.ctfassets.net/ggj4kbqgcch2/6FXCV3ePJe8QAk8Mcerk53/93d488dbf8a493d01c1206ee26b76eed/LCY_Annual_Performance_Report_2018_Annexes_Final_v2.pdf>. Acesso em: 6 Nov. 2019.

MILDE, Michael. International air law and ICAO. Vol. 4. Eleven International Publishing, 2008.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: < https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>. Acesso em: 22 Out. 2019.

ONU, **CARTA DAS NAÇÕES UNIDAS**, Estados Unidos, 1945. Disponível em: < https://www.un.org/en/charter-united-nations/>. Acesso em 16 Nov. 2019

PIGOU, Arthur. The economics of welfare. Routledge, 1934.

PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L.; RABASCO, Esther. **Microeconomia**. Pearson Italia, 2013.

PINTO, T.P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PINTO, A. REAES; INÁCIO, MARQUES M. A Evolução da Construção Civil noSentido da Sustentabilidade. Contribuição para uma Estratégia Nacional. Lisboa, S.D.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, PLANO AEROVIÁRIO NACIONAL, 2018. Disponível em: < https://www.infraestrutura.gov.br/images/AVIACAO_CIVIL/PAN/PAN2018_ebook.pdf>. Acesso em 27 Nov. 2019.

ROCHA, Pablo; SILAS, Roalen; VENDRAME, Agnaldo. IMPLEMENTAÇÃO DE AEROPORTOS: ANÁLISE E ESTUDO DAS NORMAS EM RELAÇÃO AOS PASSOS DA IMPLEMENTAÇÃO. 2016.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Economia ou economia política da sustentabilidade. Economia do meio ambiente: teoria e prática. Rio de Janeiro: Editora Campus, p. 1-29, 2003

ROSEIRO, M. N. V., & TAKAYANAGUI, A. M. M. (2005). Controle da Qualidade do Ar no Brasil e no Estado de São Paulo: Aspectos Legais. Revista Hispeci & Lema Bebedouro, 8, 50-53.

São Paulo (cidade). Prefeitura Municipal de São Paulo. **EIA-RIMA do Aeroporto de Congonhas**, 2008.Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/meio_ambiente/cades/audiencias/0001/eia_rima_congonhas_rima_vol_1.pdf >. Acesso em: 03 Nov. 2019.

SBEG – **Declaração de capacidade, 2019**. Disponível em: < https://transparencia.infraero.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/DECLARA%C3%87%C3%83O-DE-CAPACIDADE-SBEG-W19.pdf>. Acesso em 6 Nov. 2019.

VÁZQUEZ MANZANARES, Víctor Manuel. Externalidades y medioambiente. Revista Iberoamericana de Organización de Empresas y Marketing, v. 1, p. 1-15, 2014.

VEIGA, José Eli da. Desenvolvimento sustentável, que bicho é esse? Campinas, SP, 2008.

WHO, **Air Quality**. Disponível em: <https://www.who.int/airpollution/en/>. Acesso em: 03 Nov. 2019.

WONG, Johnny Kwok Wai; ZHOU, Jason. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. Automation in Construction, v. 57, p. 156-165, 2015.

ZURICH AIRPORT. **Aircraft APU Emissions at Zurich Aiport.** Zurich, 2005. Disponível em: < https://www.zurich-airport.com/the-company/noise-policy-and-the-environment/air-quality>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

ZURICH AIRPORT. **Aircraft Ground Energy Systems.** Zurich, 2018. Disponível em: < https://www.zurich-airport.com/the-company/noise-policy-and-the-environment/air-quality>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

ZURICH AIRPORT. **Aircraft Ground Handling Emissions.** Zurich, 2014. Disponível em: < https://www.zurich-airport.com/the-company/noise-policy-and-the-environment/air-quality>. Acesso em: 14 Nov. 2019.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO	2. DATA	3. REGISTRO N°	4. N° DE PÁGINAS
TC	20 de novembro de 2019	DCTA/ITA/TC-117/2019	75

5. TÍTULO E SUBTÍTULO:

Externalidades socioambientais em aeroportos: uma análise sobre as emissões de poluentes atmosféricos no Brasil

6. AUTOR(ES):

Gabriel Gama Lemos

7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:

1. Externalidades. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. APU

9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:

Solicite preenchimento dos campos 2, 3 e 9 – envie este formulário para doc.pt@ita.br

10. APRESENTAÇÃO: **X Nacional** **Internacional**

ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil- Aeronáutica. Orientador(es): Prof. Dra. Natália Jodas; Publicado em 2019.

11. RESUMO:

A preocupação sobre uma relação sustentável entre o meio ambiente e o desenvolvimento da sociedade tornou-se tema mundial ao longo das últimas décadas. Além disso, surgiram muitas propostas relacionadas à redução dos impactos das externalidades socioambientais geradas pelos meios de produção. Dessa forma, este trabalho faz a contextualização histórica do tema, e analisa como este é abordado pela economia e pela engenharia, além de relacioná-lo com os aeroportos. Identificadas essas expressões das externalidades, passa-se a tratar especificamente das emissões de poluentes atmosféricos pelo setor de aeroportos. Para isso, as maneiras como órgãos regulamentadores mundiais e nacionais tentam reduzir as emissões de poluentes atmosféricos também são exploradas. Além disso, aborda-se a evolução histórica da legislação ambiental brasileira e exploram-se as maneiras que o meio ambiente vem sendo tratado juridicamente no Brasil ao longo do tempo. Feita a abordagem dos marcos regulatórios sobre as emissões de poluentes atmosféricos, são estudados exemplos de aeroportos em outros países que possuem resultados melhores em relação às emissões. Soma-se a isso uma simulação numérica da redução de emissões de poluentes atmosféricos para o Aeroporto de Manaus. Por fim, são feitas recomendações a órgãos mundiais e ao Estado brasileiro para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos nos aeroportos.

12. GRAU DE SIGILO:

(X) OSTENSIVO **( ) RESERVADO** **( ) SECRETO**