



INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA AVIAÇÃO CIVIL – 2019

ANO BASE 2018

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

DIRETORIA

Diretor-Presidente (substituto): **Juliano Alcântara Noman**

Diretores (substitutos): **Rafael José Botelho Faria, Ricardo Bisinotto Catanant e Tiago Sousa Pereira**

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Chefe da Assessoria Internacional: **Ana Paula Cunha Machado Cavalcante**

Especialistas em Regulação da Aviação Civil: **Daniel Marcellos Calçado, Henrique Costa Tavares, Priscilla Brito Silva Vieira e Ricardo Antonio Binotto Dupont**

Equipe de tecnologia da informação: **Aguinaldo José de Paula, Carlos Eduardo Rocha Araújo e Clauber Gomes da Costa**

ENDEREÇO

Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC

Assessoria Internacional – ASINT

Setor Comercial Sul, Quadra 9, Lote C

Edifício Parque da Cidade Corporate, Torre A, 3º andar

CEP 70308-200, Brasília/DF, Brasil

É permitida a reprodução do conteúdo deste Inventário, desde que mencionada a fonte:

Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2019, volume único, 1ª edição, Agência Nacional de Aviação Civil.

Não são citadas as fontes das figuras, dos quadros e das tabelas de autoria da Agência Nacional de Aviação Civil.

As informações divulgadas estão sujeitas a alterações.

Lista de Siglas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTT	Agencia Nacional de Transportes Terrestres
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i> ou Unidade Auxiliar de Potência
ASK	<i>Available Seat Kilometers</i> ou Assentos-quilômetros ofertados
ATAN	Assessoria para Assuntos de Tarifas de Navegação Aérea
AvGas	Gasolina de aviação
BEN	Balanço Energético Nacional
BIMTRA	Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo
CAEP	<i>Committee on Aviation Environmental Protection</i>
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CORINAIR	<i>Core Inventory Air Emissions</i>
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DECEA	Departamento do Controle do Tráfego Aéreo
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> – Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FOI	<i>Totalförsvarets forskningsinstitut - Swedish Defence Research Agency</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
Gg	Gigagrama
GWP	<i>Global-Warming Potential</i>
GPU	<i>Ground Power Unit</i>
HC	Hidrocarbonetos
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LTO	<i>Landing and Take Off</i> ou pouso e decolagem
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material particulado
N ₂ O	Óxido nitroso
NMHC	Hidrocarbonetos não metânicos
NO _x	Óxidos de nitrogênio

OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
RPK	<i>Revenue passenger kilometer</i> ou passageiros-quilômetros pagos transportados
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Panorama do transporte aéreo brasileiro	6
1.2 Escopo do Inventário	7
1.2.1 Gases e poluentes inventariados	7
1.3 Metodologia Utilizada	8
1.4 Abrangência temporal das estimativas	8
2 DADOS DE ATIVIDADE – MOVIMENTOS DAS AERONAVES	9
3 RESULTADOS	13
3.1 Consumo de combustível estimado	13
3.2 Emissões de poluentes atmosféricos locais	15
3.2.1 Emissões de monóxido de carbono (CO)	16
3.2.2 Emissões de compostos orgânicos voláteis (COV)	19
3.2.3 Emissões de óxidos de nitrogênio (NO _x)	21
3.2.4 Emissões de dióxido de enxofre (SO ₂)	23
3.2.5 Emissões de Material Particulado (MP)	25
3.3 Emissões de gases de efeito estufa direto	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A - INFORMATIVO DE MUDANÇAS ENTRE OS INVENTÁRIOS DE 2014 E 2019	35
1.1 Movimentações	35
1.2 Consumo de cruzeiro	36
1.2.1 Interpolação de voos de curta distância	37
1.2.1 Voos com partida e destino no mesmo aeroporto	37
1.2.1 Distâncias além dos limites da tabela	37
1.2.1 Atualização da tabela EMEP/EEA	38
1.3 Consumo da APU	38
1.3.1 Algoritmo de cálculo de consumo e emissões da APU	38
1.3.1 Tempo de uso de APU	38
1.4 Tempos de táxi	38
1.5 Material particulado	38
1.6 Conversão de aeronaves	39
1.7 Atualização da EEDB	39
1.8 Fator de emissão de SO ₂	39
1.9 Tabela de aeródromos	39
APÊNDICE B - ESCLARECIMENTOS SOBRE A DISPARIDADE ENTRE CONSUMO E NÚMERO DE MOVIMENTOS	40

1 INTRODUÇÃO

A aviação é um modal de transporte estratégico que permite a movimentação de pessoas e cargas em tempo reduzido, sendo adequado aos Estados com dimensões continentais, como o caso do Brasil. Além de seus aspectos operacionais, é essencial que as operações aéreas sejam também ambientalmente sustentáveis a longo prazo. Para esse propósito, as externalidades decorrentes das operações de aeronaves associadas à qualidade do ar local, às mudanças climáticas e aos níveis de exposição ao ruído aeronáutico, observados nas comunidades nos arredores dos aeroportos, devem ser monitoradas e controladas.

Desde 2004, o Brasil tem elaborado estudos com diferentes finalidades e níveis de desagregação que têm sido utilizados para definição de diretrizes de mitigação dos impactos das atividades do setor de transportes ao meio ambiente, a exemplo do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas (ANTT, 2012), da 3ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTIC, 2016) e do próprio Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014 (ANAC, 2014), primeiro Inventário de emissões publicado por esta Agência e que o presente documento visa atualizar e revisar. Esses estudos fornecem dados que auxiliam e compõem a base de dados das Comunicações Nacionais à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima – CQNUMC (UNFCCC, acrônimo em inglês), compiladas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) para várias atividades e setores da economia no país.

A publicação deste Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil reforça o compromisso da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), organização responsável pela elaboração deste documento, com a publicidade e transparência, oferecendo acesso às informações sobre as emissões de poluentes e de gases geradores do efeito estufa oriundas do setor de aviação civil. As informações aqui contidas subsidiarão os posicionamentos brasileiros em fóruns de âmbitos nacional e internacional, bem como a elaboração de políticas públicas relacionadas ao meio ambiente dentro do escopo da aviação civil brasileira.

1.1 PANORAMA DO TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO

De acordo com os dados apresentados no Anuário do Transporte Aéreo 2018 (ANAC, 2019), a demanda do transporte de passageiros no território brasileiro cresceu em praticamente todo o período abordado, de 2009 a 2018, com resultado acumulado de 78% em termos de RPK⁽¹⁾. A única exceção foi o ano de 2016, em que houve queda de 4,5% do RPK em relação ao ano anterior. Considerando-se os mercados doméstico e internacional separadamente, o crescimento do RPK no período foi de 69% e 86%, respectivamente.

De 2009 até 2018, a quantidade de passageiros pagos transportados cresceu 64% no mercado doméstico e 90% no internacional, o que resultou em um aumento total de 69%. A tendência de crescimento manteve-se ininterrupta até o ápice em 2015, com 117,7 milhões passageiros pagos transportados. Após a redução de 6,9% em 2016, o setor voltou a crescer, chegando a 93,6 milhões de passageiros pagos transportados no mercado doméstico e 24,0 milhões no internacional em 2018.

Para o período abordado no Anuário 2018, a quantidade de carga paga e correio transportados pelo modal aéreo aumentou 60% em termos de massa. Contudo, essa variação se deu com períodos intercalados de alta e baixa, sendo que 2018 apresentou uma variação positiva de 12,8% em relação a 2017.

1 RPK – Revenue Passenger Kilometer (i.e., Passageiro Quilômetro Pago Transportado). Refere-se ao volume de Passageiros Quilômetros Transportados, ou seja, a soma do produto entre o número de passageiros pagos e a distâncias das etapas.

Apesar do panorama de crise econômica, as empresas aéreas promoveram diversas mudanças na malha aérea com a finalidade de diminuir a ociosidade dos seus equipamentos, bem como elevar o Índice de Aproveitamento^[2], medido em RPK/ASK^[3], que em 2009 era de 70,6% e que, em 2018, chega a 81,8%.

Ainda que apresente uma tendência de aumento da eficiência, demonstrado pela evolução predominantemente positiva do Índice de Aproveitamento, o crescimento do setor implica em um aumento no consumo de combustível, provocando incrementos nas emissões de poluentes e gases de efeito estufa.

1.2 ESCOPO DO INVENTÁRIO

A Tabela 1 apresenta o quadro resumo do escopo desse Inventário.

Tabela 1: Escopo do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2018.

O que é abordado por este Inventário:	Emissões das aeronaves da aviação civil comercial e privada, tanto em voos regulares (domésticos e internacionais com origem no Brasil) quanto voos da aviação geral ocorridos no território nacional.
O que não é abordado por este Inventário:	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões originadas por uso de equipamentos de rampa e outras atividades de solo; • Emissões de helicópteros; • Aviação militar; • Emissões de aeronaves movidas por etanol; • Emissões de aeronaves movidas por gasolina de aviação (estimativa realizada apenas na metodologia <i>Tier 1 – top down</i>).

1.2.1. Gases e poluentes inventariados

São inventariados os seguintes resíduos da combustão dos motores aeronáuticos neste Inventário:

- **Gases e partículas com possível impacto na qualidade local do ar (i.e., poluentes locais) - CO, COV, NO_x, SO₂ e MP.**
- **Gases de efeito estufa direto - CO₂, CH₄, N₂O.**

2 Índice de Aproveitamento, também conhecido como “taxa de aproveitamento”, é a razão entre a demanda e a oferta de transporte aéreo.

3 ASK – *Available Seat Kilometers* (i.e., Assento Quilômetro Ofertado). Refere-se ao volume de Assentos-Quilômetros Oferecidos, ou seja, a soma do produto entre o número de assentos oferecido e a distância das etapas.

1.3 METODOLOGIA UTILIZADA

O documento **Metodologia de Cálculo — Inventário de Emissões Atmosféricas**⁴ apresenta a metodologia utilizada para o cálculo das estimativas presentes neste Inventário, as quais foram calculadas com base nas metodologias *Tier 1* (abordagem *top-down*) e *Tier 3A* (abordagem *bottom-up*) definidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*). A metodologia *Tier 1* conduz uma abordagem simplificada, baseando-se em dados agregados de querosene de aviação — QAv e gasolina de aviação — AvGas informados pelo Balanço Energético Nacional — BEN. Já a metodologia *Tier 3A* utiliza de informações detalhadas de cada voo, como aeródromos de origem e destino, tempos de táxi e modelo da aeronave.

1.4 ABRANGÊNCIA TEMPORAL DAS ESTIMATIVAS

Os dados de consumo (Metodologia *Tier 1*), as estimativas de consumo e emissão de poluentes (Metodologia *Tier 3A*) e as estimativas de emissão de gases de efeito estufa (Metodologias *Tier 1* e *Tier 3A*) apresentados neste documento referem-se ao período 2005-2018.

⁴ Disponível em <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-da-aviacao-civil>

2 DADOS DE ATIVIDADE – MOVIMENTOS DAS AERONAVES

Os dados de movimentação das aeronaves foram obtidos do Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo (BIMTRA), que se encontra sob a responsabilidade da Assessoria para Assuntos de Tarifas de Navegação Aérea (ATAN), do Departamento de Controle do Tráfego Aéreo (DECEA). Na ocasião da elaboração do Inventário Nacional de Emissões da Aviação Civil 2014, os dados do BIMTRA eram extraídos de forma manual através de consultas *on-line*. Tal processo está sujeito a erros por parte do usuário que realiza a transferência de dados. Portanto, visando eliminar essa fonte de erros, a ANAC obteve junto ao DECEA uma extração completa dos dados do BIMTRA relativos ao período de 2005⁽⁵⁾ a 2017 (a partir de 2018, os dados passaram a ser obtidos via *Web Service*). Em função dessa nova extração e da correção de erros encontrados nas bases de dados consolidadas, além de mudanças metodológicas, as estimativas de emissões para os anos apresentados no Inventário de 2014, isto é, 2005 a 2013, foram recalculadas e as consequências dessa atualização dos dados são discutidas no Apêndice A.

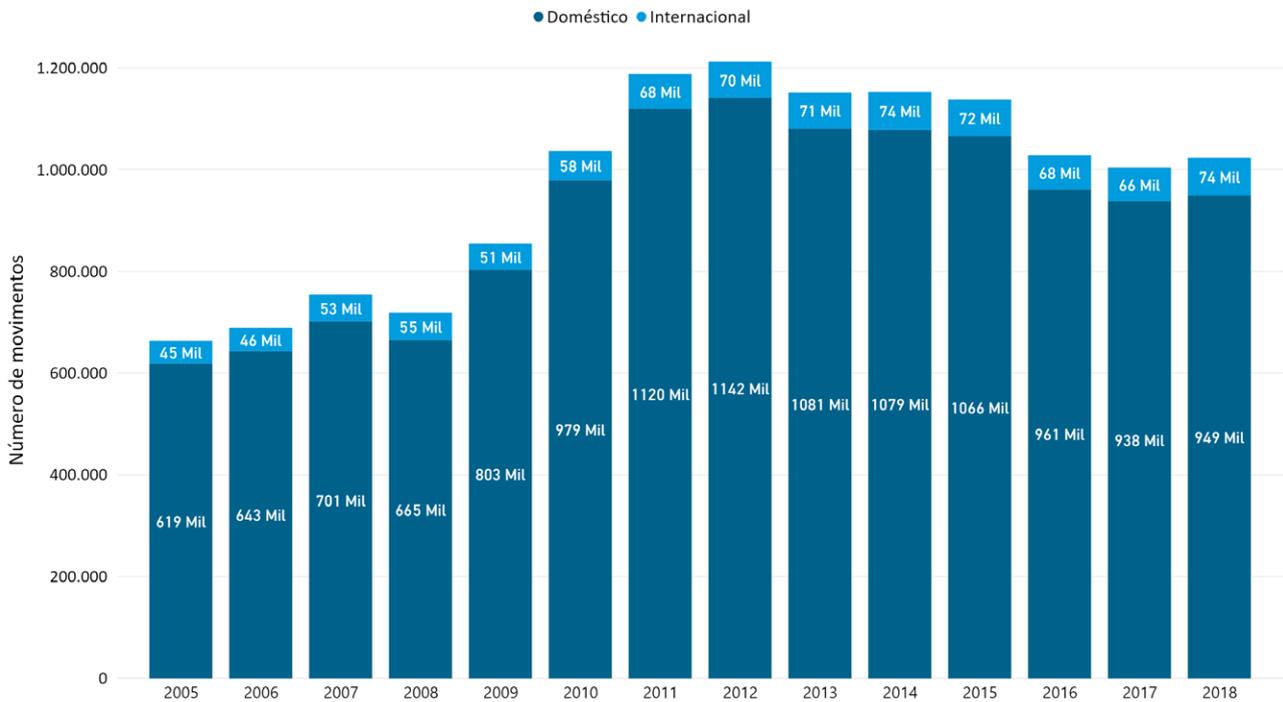
O novo extrato possibilitou a confecção de uma base de dados contendo o número de voos anuais segundo:

- Ano de ocorrência das movimentações (2005-2018);
- Código OACI da aeronave;
- Código OACI dos aeródromos de origem e destino;
- Classificação do voo (doméstico ou internacional);
- Companhia aérea/operador do voo; e
- Origem da companhia aérea (nacional ou estrangeira).

No Gráfico 1 está representada a série histórica do número de movimentos (decolagens) em aeródromos nacionais classificados por tipo de voo, doméstico ou internacional. Nesse gráfico somente são contabilizadas as movimentações cujas estimativas de emissões foram efetivamente calculadas, ou seja, apenas aqueles movimentos cujas informações presentes nos bancos de dados são suficientemente completas para que estimativas sejam feitas. Salienta-se que o Inventário só contabiliza os voos com origem no Brasil. Isso se deve a metodologia aplicada que estima as emissões apenas para os combustíveis comercializados no País.

5 As informações presentes no BIMTRA são a partir do ano de 2005.

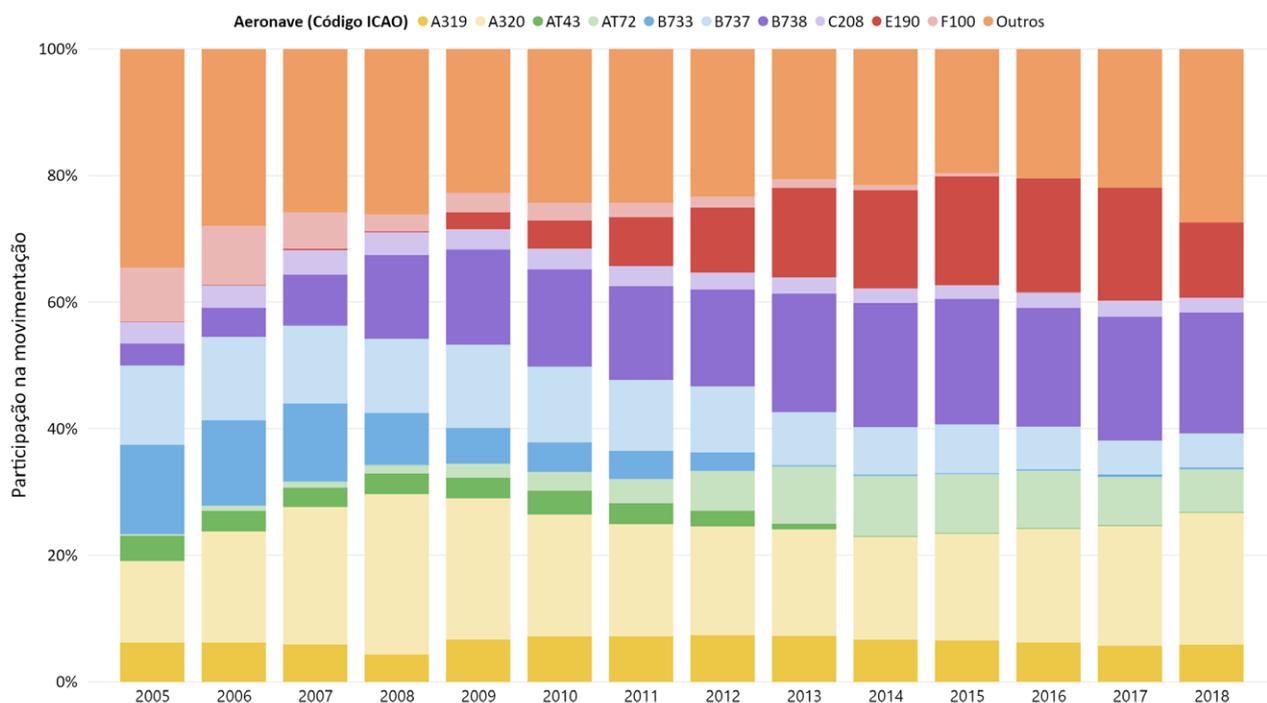
Gráfico 1: Série histórica dos movimentos por tipo de voo.



Similarmente aos resultados observados no Inventário de 2014, destaca-se no gráfico uma queda no número de movimentos para o ano de 2008, cujo universo de movimentações não se apresenta em sua completude em função, principalmente, de uma sub-representação das movimentações do Aeroporto de Congonhas, em São Paulo, conforme já detalhado naquele Inventário. Nota-se ainda a ocorrência do número recorde de movimentações no ano de 2012, ao contrário do que foi apresentado no Inventário 2014, onde ocorreu um crescimento ano após ano, à exceção do ano de 2008. A razão dessa divergência é detalhada no Apêndice A deste Inventário.

Os dados permitem analisar a evolução da participação das aeronaves na frota. A partir do *ranking* das 10 aeronaves com maiores números de movimentos no período de 2005 a 2018, a série histórica do Gráfico 2 foi criada.

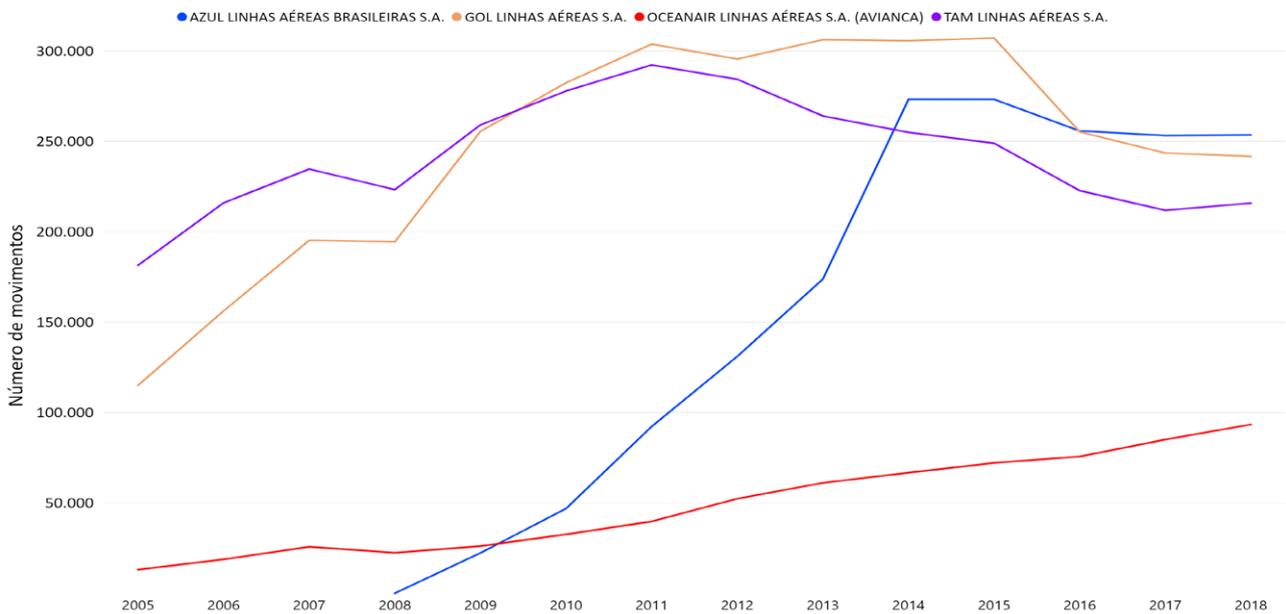
Gráfico 2: Série histórica anual da participação das aeronaves nas movimentações.



Podem-se observar substituições de modelos de aeronaves mais antigas, tais como o Fokker 100 e o ATR-42, por mais modernas como o Embraer 190, indicando uma renovação de frota por parte das companhias. Essas substituições provocam alterações na emissão de determinados gases, uma vez que os fatores de emissão são dependentes do modelo da aeronave.

É possível também efetuar uma análise das movimentações por companhias aéreas conforme demonstrado no Gráfico 3, elaborada a partir do *ranking* das 4 empresas com maior movimentação em 2018:

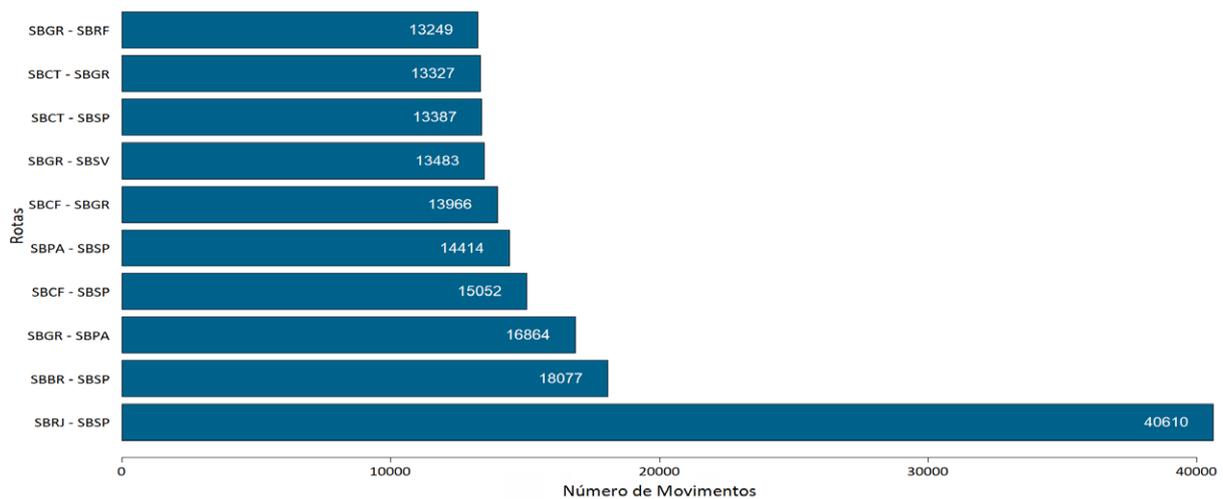
Gráfico 3: Série histórica anual de movimentação companhia aérea.



No ano de 2008, notam-se sensíveis quedas nas movimentações da GOL e da TAM que devem ser desconsideradas, uma vez que são resultado da falha na base de dados já referida anteriormente.

O Gráfico 4 a seguir apresenta os principais pares origem-destino no país em 2018:

Gráfico 4: Principais pares origem-destino em 2018, considerando ambos os sentidos.



Seguida pela ligação Brasília - Congonhas, Guarulhos - Porto Alegre e Confins - Congonhas, a ponte aérea Rio - São Paulo, entre os aeroportos de Congonhas e Santos Dumont, desponta com enorme vantagem sobre os demais pares em número de movimentações.

3 RESULTADOS

Os resultados do **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil** estão organizados em três seções distintas: estimativas de **consumo de combustível**, emissões de poluentes relacionados com a **qualidade do ar local** e emissões de **gases de efeito estufa direto**.

Em função de mudanças metodológicas e atualização das bases de dados, os resultados apresentados diferem daqueles do Inventário 2014. As alterações adotadas e o seu impacto nos resultados são discutidos no Apêndice A.

3.1 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ESTIMADO

O consumo agregado de combustível na aviação civil, como descrito na metodologia de cálculo, pode ser obtido em publicações como o BEN ou os Dados Estatísticos Mensais da ANP, porém a metodologia *Tier 3A* aplicada possibilita estimar o consumo para cada uma das movimentações realizadas no escopo do Inventário.

Esta seção apresenta os resultados dessas estimativas de consumo de combustível, desagregando as movimentações em voos domésticos e internacionais e o consumo por fases de voo, além de comparar o consumo agregado com aquele reportado pelo BEN, que é utilizado nas estimativas da metodologia *Tier 1*.

Num voo, o maior consumo de querosene se dá na fase de cruzeiro. Em relação ao consumo de querosene em 2018, 85,7% ocorreu nessa etapa, enquanto o ciclo LTO foi responsável por 12,5% e o uso de APU, por 1,9%. A participação de cada fase no consumo de acordo com o tipo de movimentação é apresentada no Gráfico 5. A estimativa das participações do uso das APU e de cada fase do ciclo LTO no consumo de combustível está apresentada no Gráfico 6.

Gráfico 5: Distribuição do consumo de combustível por fases de voo em 2018.

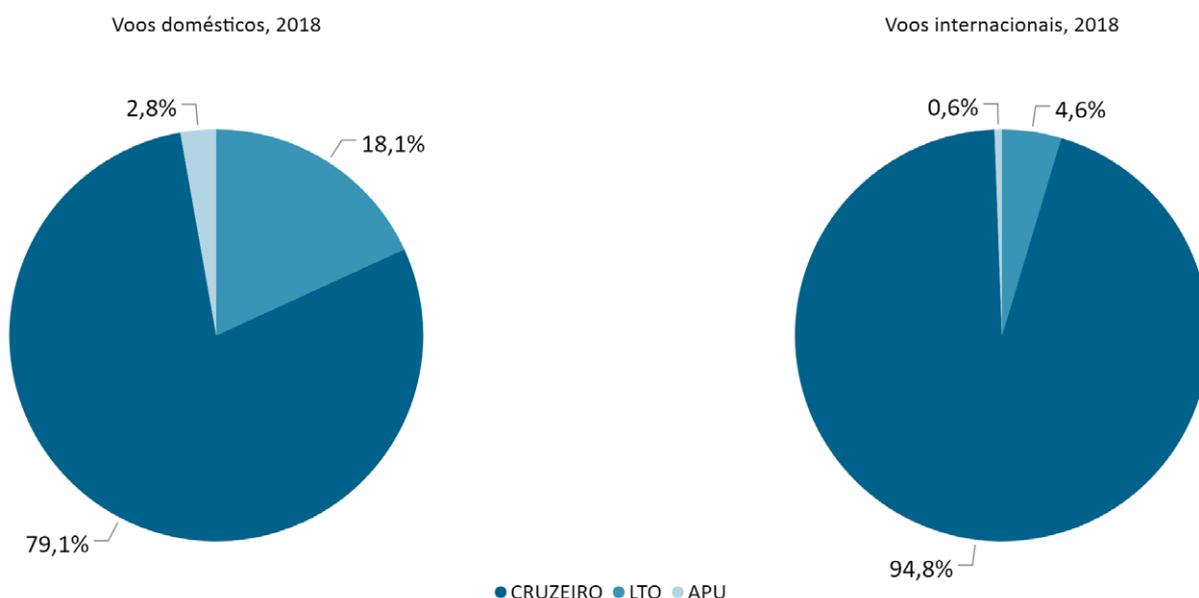
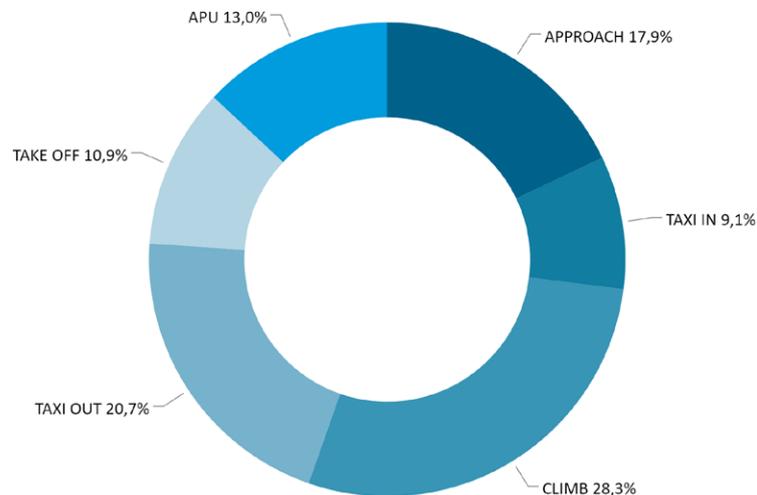


Gráfico 6: Participação das fases do ciclo LTO e do uso das APU em solo no consumo de combustível em 2018.



A evolução do consumo por fase de voo é apresentada no Gráfico 7. Nota-se que as estimativas de consumo de querosene de aviação alcançam o valor máximo em 2015, com 5,7 milhões de toneladas. Já o Gráfico 8 apresenta a comparação de evolução do consumo de combustível estimado pela metodologia Tier 3A e o consumo reportado pelo BEN, ambos divididos entre os tipos de movimentação. Diferentemente do consumo estimado, os dados do BEN apontam um ápice em 2014, ano em que aproximadamente 6,0 milhões de toneladas de querosene de aviação foram comercializados no país.

Gráfico 7: Evolução do consumo de QAv por fase de voo.

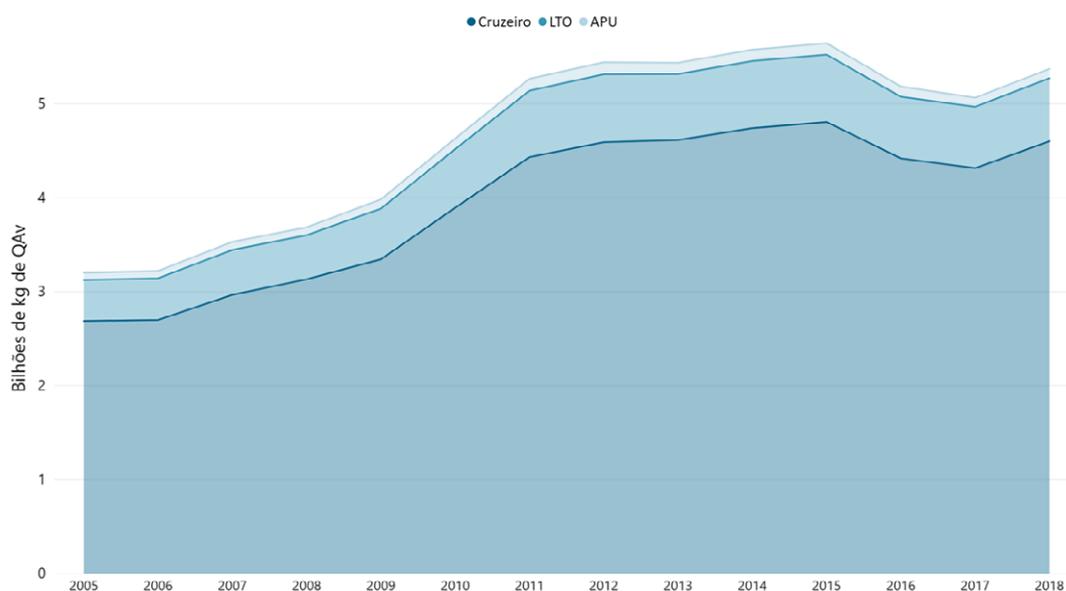
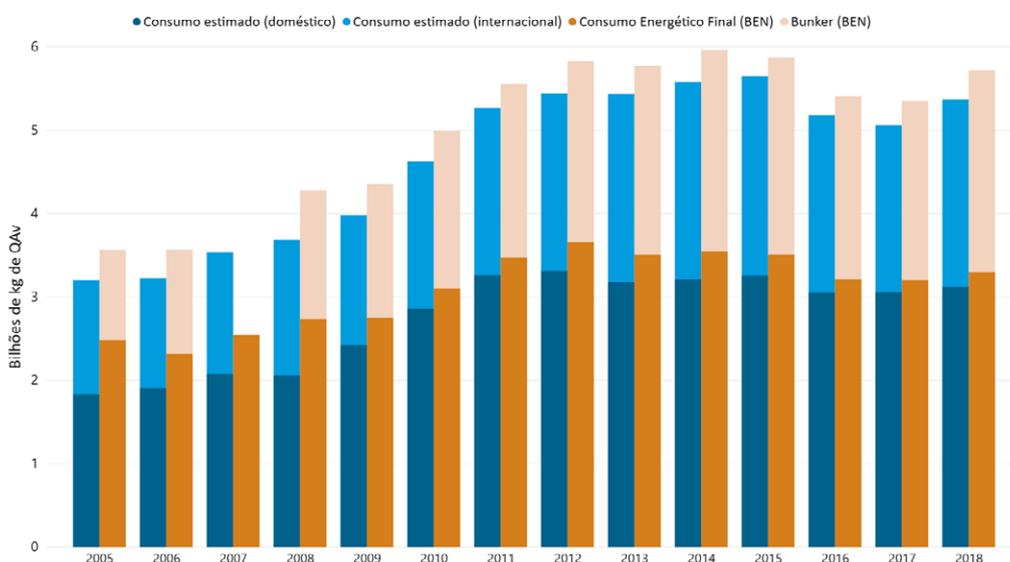


Gráfico 8: Comparação do consumo de querosene de aviação estimado com o reportado pelo BEN (não há dados de Bunker para o ano de 2007).



Já se esperava que o consumo estimado fosse menor do que aquele reportado pelo BEN, pois o escopo deste Inventário não abrange todas as movimentações que ocorrem no país. Esse comportamento é acentuado para o caso das movimentações domésticas, já que grande parte dos voos não contabilizados se dá no âmbito dessas, como a operação de helicópteros, por exemplo. No entanto, a mesma tendência de variação está presente em ambas as evoluções, apontando coerência na evolução das séries, inclusive na distribuição entre os tipos de movimentação. Entretanto, cabe destacar que a evolução do consumo de combustível estimado não reflete de maneira integral a variação no número de movimentos. Essa particularidade e as justificativas para sua existência são abordadas no Apêndice B.

3.2 EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS LOCAIS

Esta seção apresenta as emissões de poluentes atmosféricos locais, responsáveis por impactos negativos na qualidade do ar local. São reportadas as emissões de monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP) das movimentações de aeronaves em aeródromos nacionais, que compreendem o ciclo LTO e o uso das APU. Uma vez que as emissões provenientes da fase de voo em cruzeiro ocorrem a uma altitude muito elevada, considera-se desprezível o seu impacto na qualidade do ar. Dessa forma, essas emissões não foram reportadas nesta seção.

Os gráficos representam a evolução das emissões desses gases por tipo de movimentação (doméstica ou internacional), por tipo de atividade (ciclo LTO ou uso das APU) e por tipo de fase do ciclo LTO (*taxi-out*, *take-off*, *climb*, *approach* e *taxi-in*).

Deve ser destacado que, apesar dos voos com origem no exterior e destino no Brasil não fazerem parte do escopo deste inventário, suas emissões referentes às fases do ciclo LTO associadas ao pouso da aeronave (*approach* e *taxi-in*) e uso da APU para desembarque de passageiros (*gate-in*) foram estimadas, assumindo-se que para toda partida do Brasil para exterior há uma correspondente chegada do exterior ao Brasil.

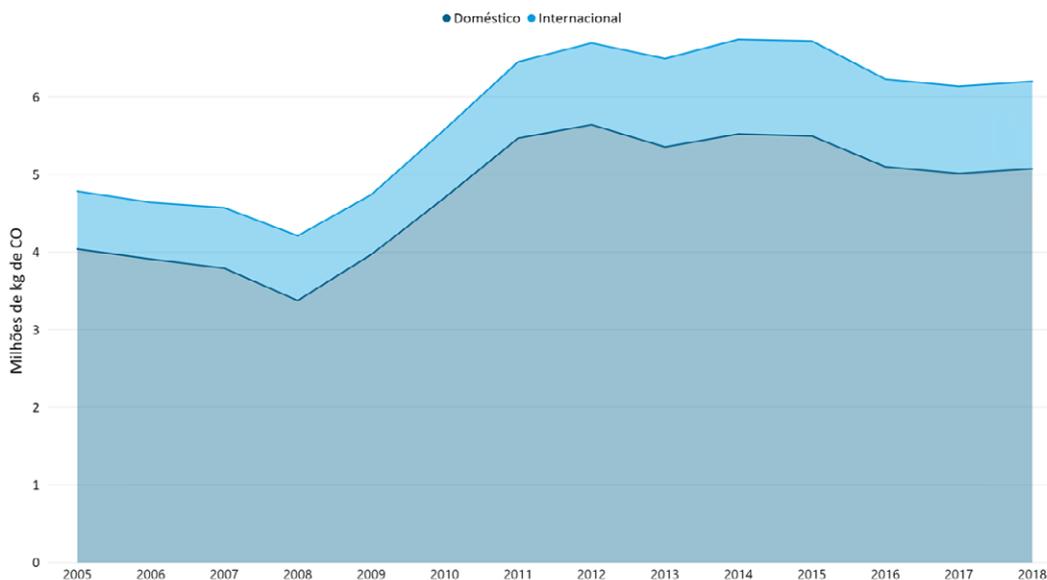
É ainda apresentada a evolução das emissões desses poluentes locais nos cinco aeródromos de maior movimentação do país⁶: Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro - Guarulhos (SBGR), Aeroporto Internacional de Congonhas - São Paulo (SBSP), Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek - Brasília (SBBR), Aeroporto Internacional Antonio Carlos Jobim/ Galeão - Rio de Janeiro (SBGL) e Aeroporto Internacional de Viracopos - Campinas (SBKP).

Ressalva-se a consideração a respeito do problema na contabilização das movimentações no ano 2008, mencionado na seção 2. Esse ano pode apresentar valores que não correspondem à realidade das emissões geradas e, portanto, as tendências podem sofrer alterações nesse período, principalmente para o Aeroporto de Congonhas (SBSP), o que é claramente visível nos gráficos que apresentam as emissões por aeródromo, nos quais as emissões obtidas para 2008 no Aeroporto de Congonhas são consideravelmente inferiores àquelas estimadas para os demais anos, apontando para a incerteza a respeito desses dados de movimentação.

3.2.1. Emissões de monóxido de carbono (CO)

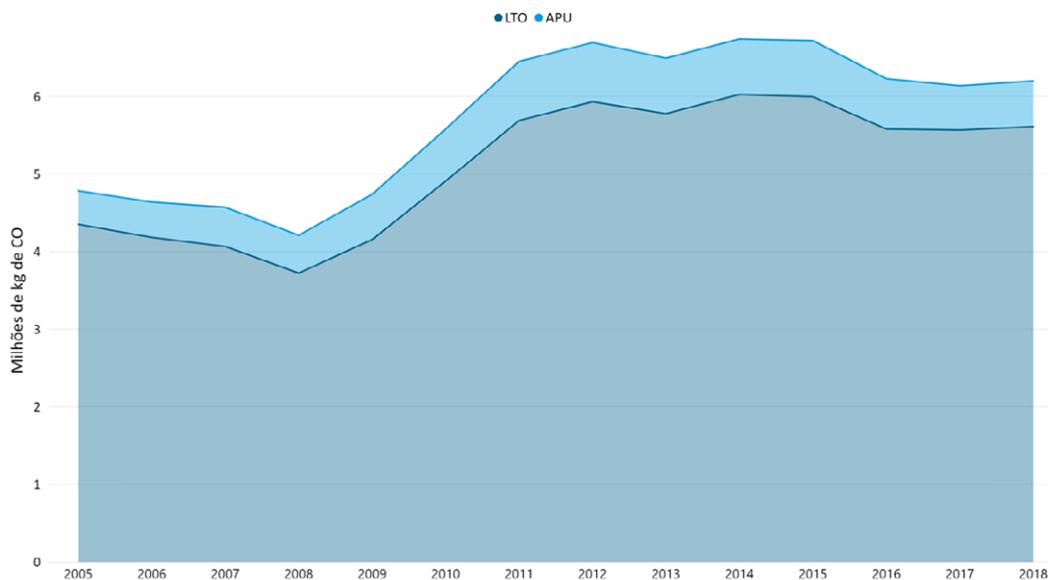
O Gráfico 9 e o Gráfico 10 apresentam, respectivamente, as emissões de monóxido de carbono por tipo de movimentação e por tipo de atividade.

Gráfico 9: Emissões de CO por tipo de movimentação.



⁶ Contabilizadas apenas as movimentações cujas estimativas de emissões foram efetivamente calculadas de acordo com o escopo deste Inventário.

Gráfico 10: Emissões de CO por tipo de atividade



Percebe-se que a evolução da estimativa de emissão de Monóxido de Carbono apresenta diferenças consideráveis em relação as tendências observadas para o consumo de combustível estimado e o número de movimentos, apesar de ambos influenciarem as emissões desse gás. O recorde de emissões, por exemplo, acontece no ano de 2014, enquanto os valores máximos de movimentação e consumo de combustível acontecem em 2012 e 2015, respectivamente. No acumulado do período, o aumento estimado das emissões de CO foi de 29,6%, contra os crescimentos de 54,3% do número de movimentos e 50,1% do consumo de combustível (considerando-se apenas o Ciclo LTO e uso das APU). Isso ocorre porque as emissões de CO são, de forma majoritária, geradas pelas fases em que os motores se encontram em *idle* (*taxi-in* e *taxi-out*) no ciclo LTO. Como mostrado no Gráfico 11, 82,1% das emissões de CO em 2018 são provenientes dessas fases. Dessa maneira, os valores estimados são profundamente dependentes dos tempos de táxi atribuídos aos aeroportos mais movimentados.

Esse comportamento é corroborado pelo Gráfico 12, que exhibe a evolução do nível estimado de emissões para os cinco aeroportos que mais emitem CO. É clara a predominância do aeroporto de Guarulhos, para o qual o pico de emissões também se localiza no ano de 2014. Nesse ano, Guarulhos respondia sozinho por 22,5% das estimativas de emissões de CO. Além disso, de 2005 a 2018, as emissões de Guarulhos cresceram 19,0%, acompanhando o aumento exibido pelo total do setor no período. Essa grande influência é reflexo da importância do aeroporto, o mais movimentado do país, ampliada pelos altos valores de tempos de táxi atribuídos a esse aeródromo, conforme apresentado na seção 4.2.1 do documento Metodologia de Cálculo — Inventário de Emissões Atmosféricas.

Gráfico 11: Emissões de CO por fase em 2018.

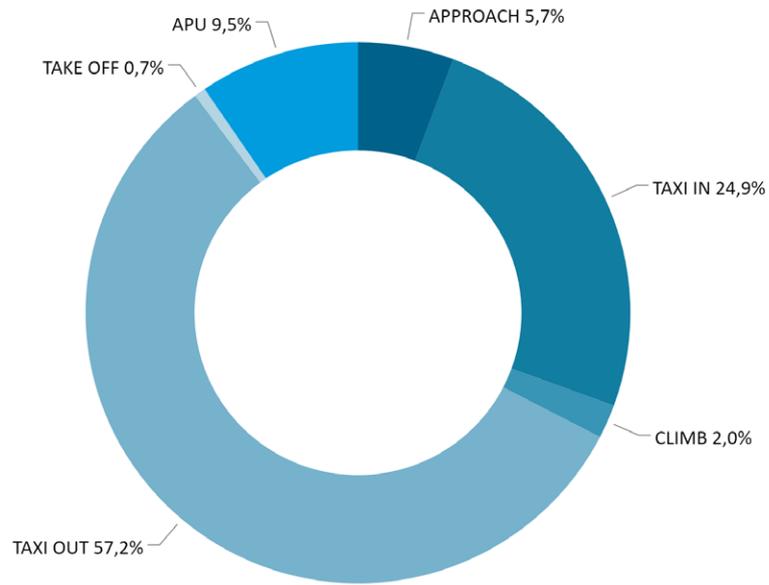
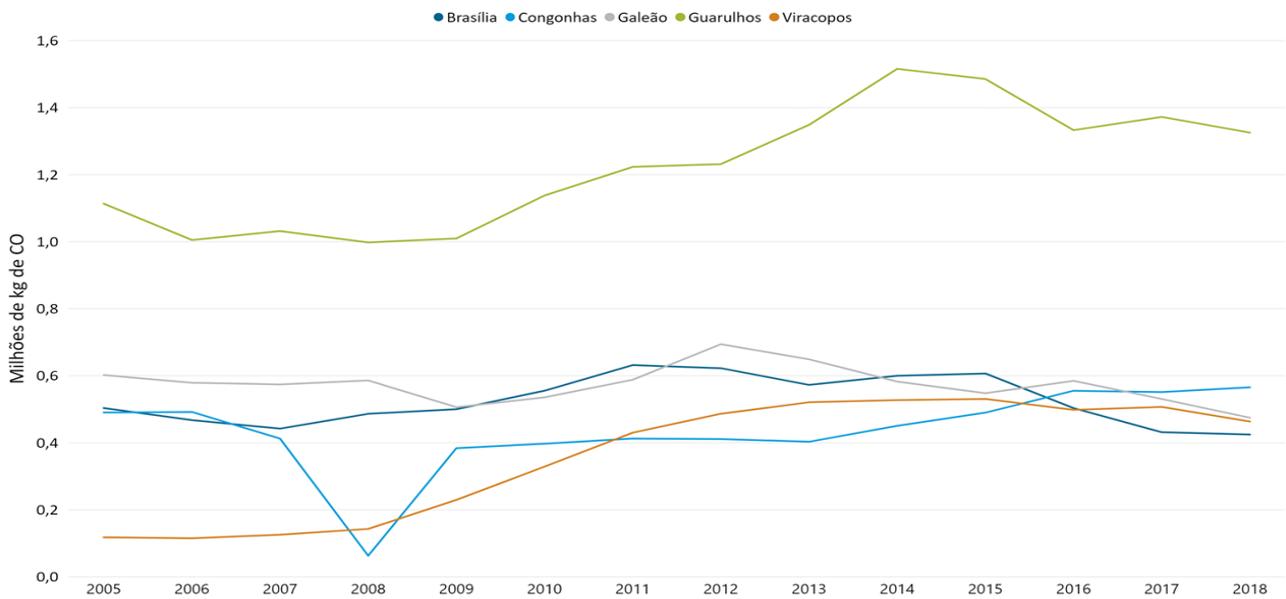


Gráfico 12: Emissões de CO em aeródromos selecionados.



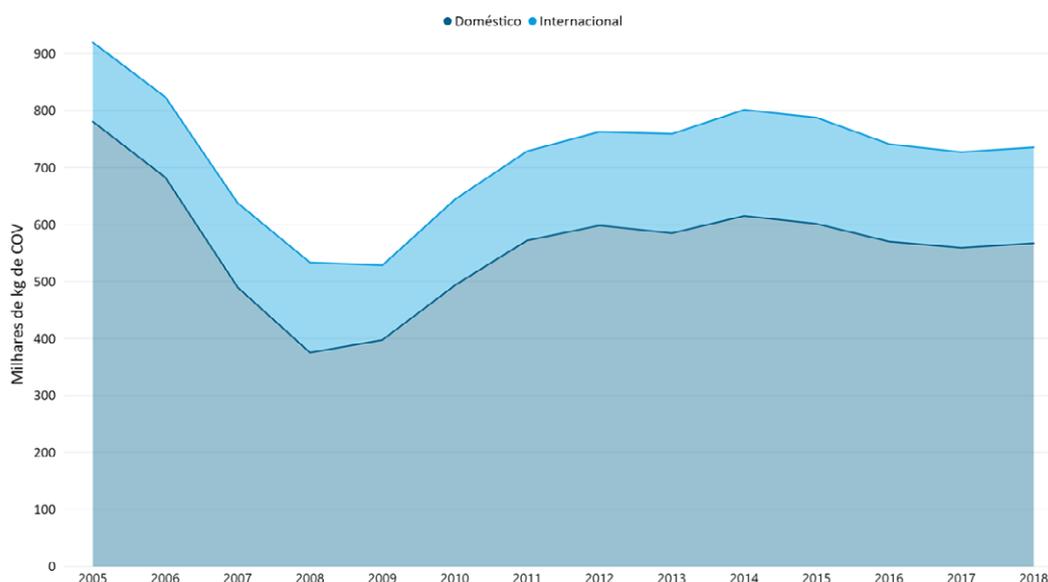
3.2.2. Emissões de compostos orgânicos voláteis (COV)

As emissões de compostos orgânicos voláteis apresentam tendências distintas ao longo da abrangência temporal do Inventário. Entre os anos de 2005 e 2009 houve redução das emissões estimadas e, a partir de 2009, as emissões voltaram a crescer até um pico em 2014. Após esse ano houve redução das emissões em função da retração do setor e finalmente, em 2018, as emissões aumentam novamente acompanhando a recuperação do mercado de transporte aéreo.

A redução inicialmente observada pode ser explicada pela substituição de modelos de aeronaves na frota das companhias por modelos com fatores de emissão menores. Um exemplo é a redução das movimentações das aeronaves do modelo F100 e o aumento das movimentações das aeronaves modelo A320, que pode ser constatada no Gráfico 2. O fator de emissão de HC⁽⁷⁾ de uma aeronave A320, nas fases de *idle* do ciclo LTO, é vinte e nove vezes menor quando comparados ao de uma F100. Além disso, a tendência de crescimento notada a partir de 2009 é resultado do aumento intenso nas movimentações registradas pela base de dados.

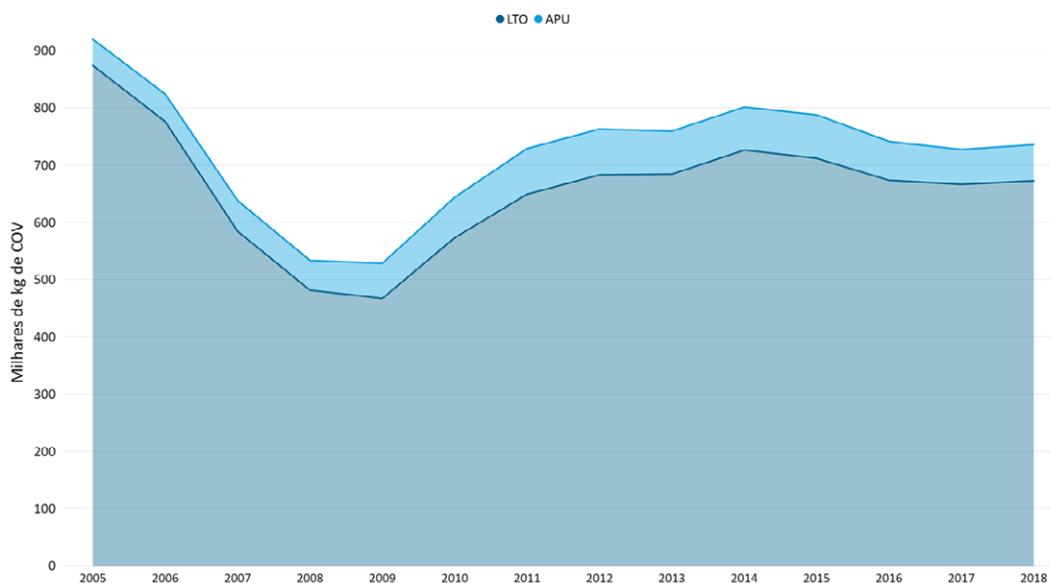
O Gráfico 13 e o Gráfico 14 demonstram essas tendências e mostram, assim como nas emissões de CO, a predominância das emissões de COV geradas por movimentações domésticas (77,1%) e nas fases de *taxi-in* e *taxi-out* (85,9%) em 2018.

Gráfico 13: Emissões de COV por tipo de movimentação.



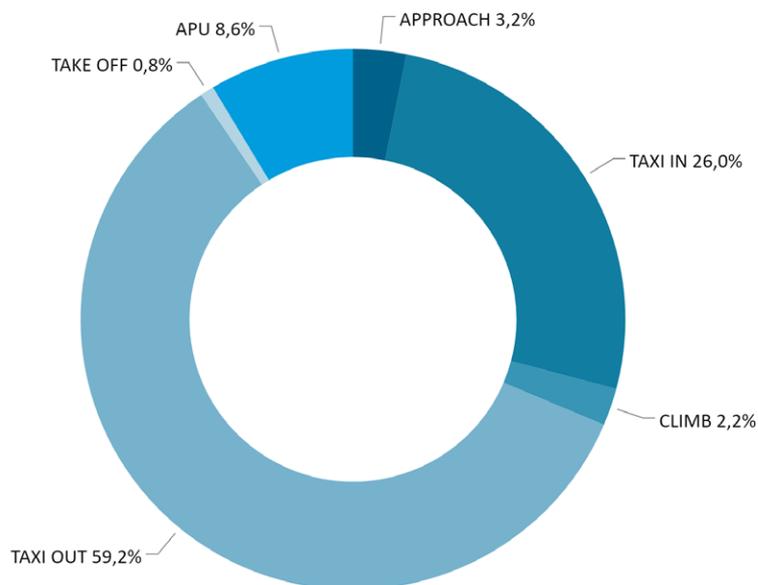
7 Como destacado na seção 4.2.5, as emissões de COV são dependentes do fator de emissão de hidrocarbonetos (HC).

Gráfico 14: Emissões de COV por tipo de atividade.



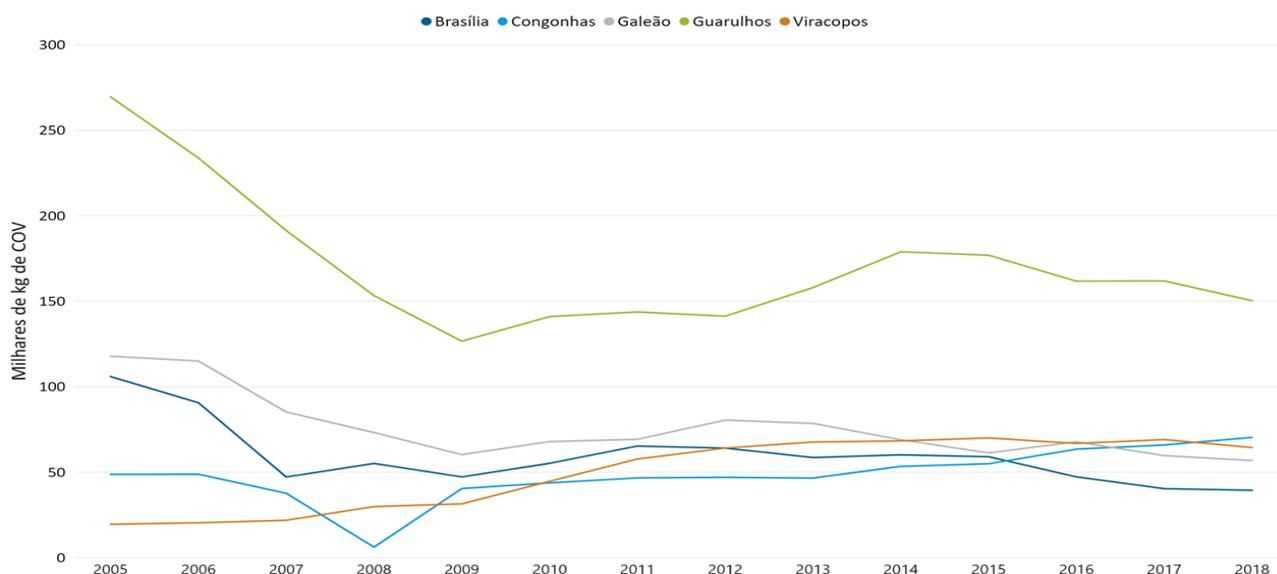
O Gráfico 15 revela que as emissões de COV também são fortemente influenciadas pelas fases de táxi do ciclo LTO: elas corresponderam a 85,2% das emissões em 2018.

Gráfico 15: Emissões de COV por fase em 2018.



As evoluções das emissões dos cinco aeródromos de maiores movimentações no país são mais uma vez influenciadas pelos tempos de táxi, uma vez que essa é a fase predominante na distribuição das emissões. Devido à elevada movimentação, o Aeroporto de Guarulhos é também líder em emissões de Compostos Orgânicos Voláteis, como ilustrado pelo Gráfico 16.

Gráfico 16: Emissões de COV em aeródromos selecionados.



3.2.3. Emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x)

O perfil das emissões de NO_x apresenta distribuição similar aos gases anteriormente apresentados, apontando que a maior parte das emissões provem de movimentações domésticas (80,3%) e do ciclo LTO das movimentações (93,3%) em 2018. Ao longo do escopo temporal das estimativas deste Inventário, a evolução apresentou uma tendência de variação que geralmente acompanha o consumo de combustível do ciclo LTO. O Gráfico 17 e o Gráfico 18 ilustram essas interpretações.

Gráfico 17: Emissões de NO_x por tipo de movimentação.

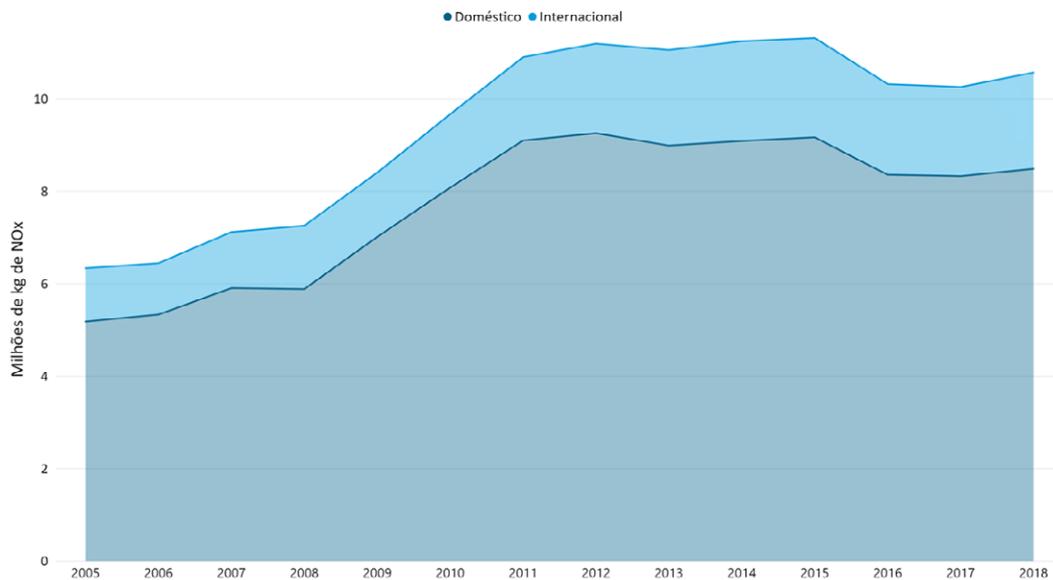
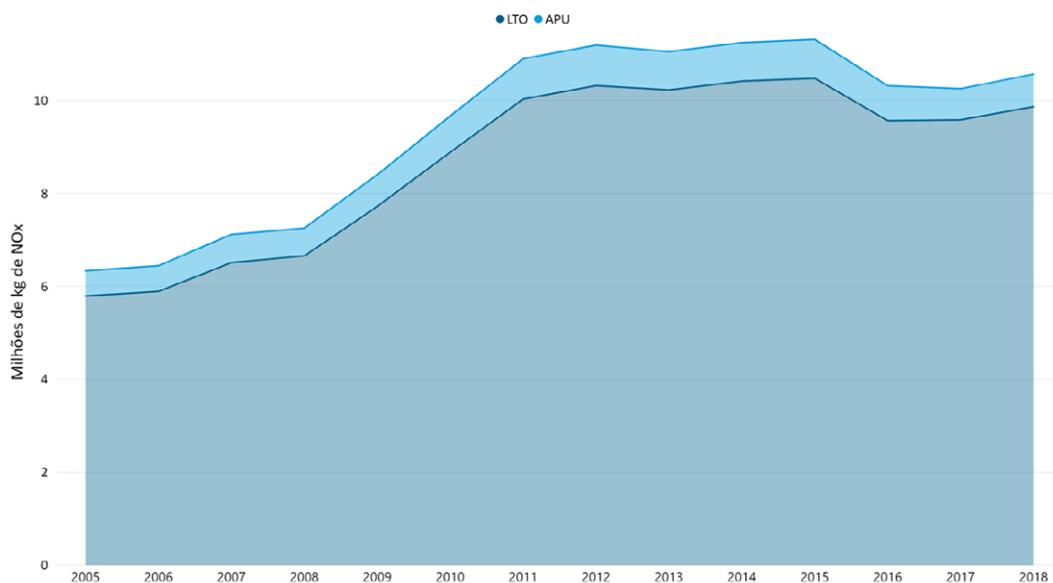


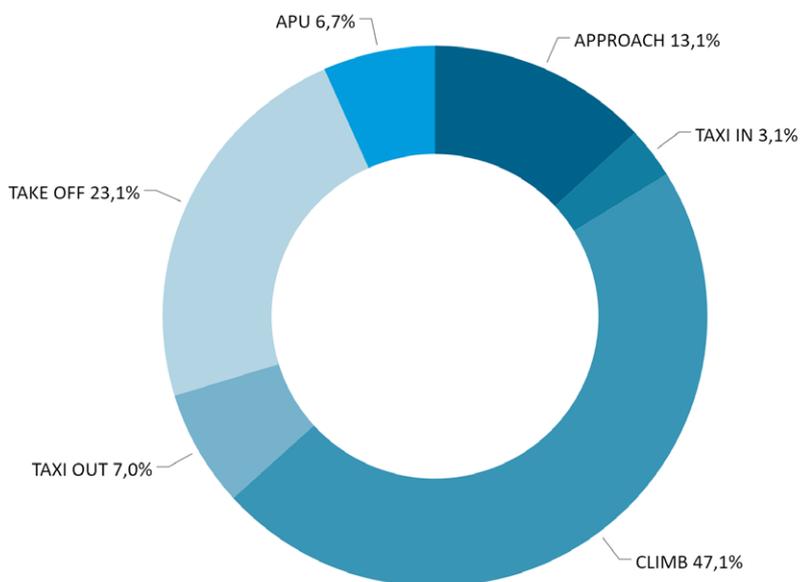
Gráfico 18: Emissões de NO_x por tipo de atividade.



As emissões de NO_x e as dos poluentes representados até aqui (CO e COV) diferem em relação às fases das operações responsáveis pela maior parte das emissões: para aquele gás, as fases de *climb*, *take-off* e *approach* do ciclo LTO são as mais relevantes. Isso ocorre porque a formação desses óxidos é favorecida por condições de temperatura mais elevada, as quais ocorrem durante os regimes de alta potência dos motores. Nessas condições, a reação de combustão é mais eficiente, acarretando em um *trade-off* que resulta na diminuição das emissões de gases provenientes da queima incompleta do carbono presente no combustível (CO e COV, por exemplo) e no aumento das emissões dos óxidos de nitrogênio. Durante o *approach*, apesar da potência não ser tão elevada, as emissões desse gás se tornam relevantes em consequência do tempo em que as aeronaves permanecem nesse regime. A distribuição das emissões entre as fases do ciclo LTO e do uso das APU é apresentada no

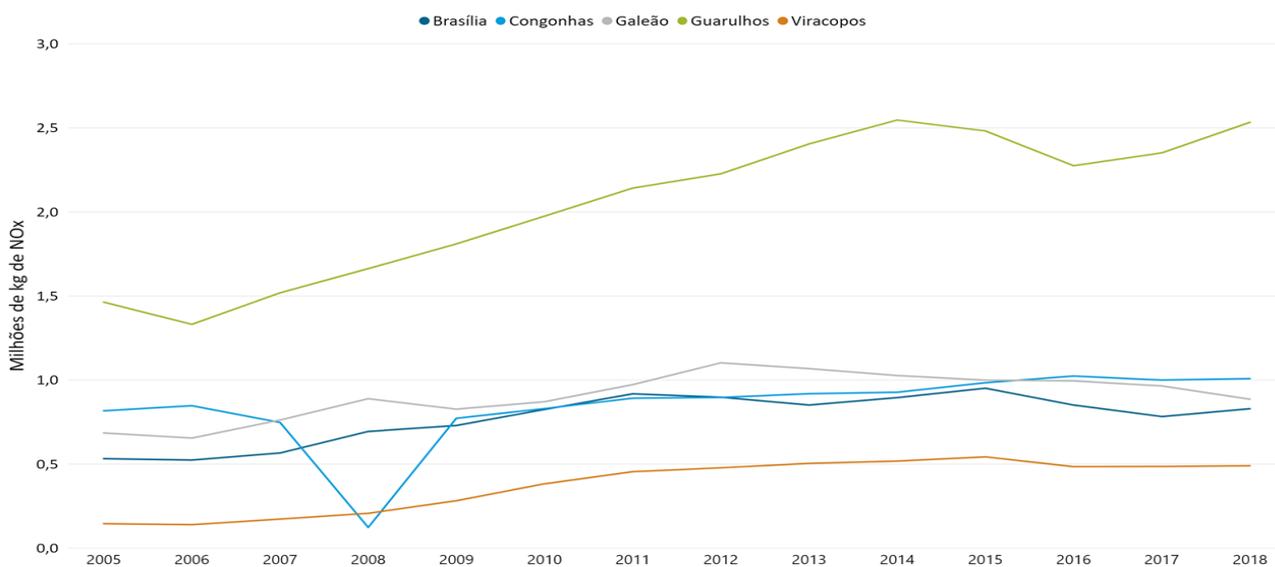
Gráfico 19.

Gráfico 19: Emissões de NO_x por fase em 2018.



Uma vez que os tempos de táxi possuem menor influência nas emissões de óxidos de nitrogênio, sendo o número de ciclos LTO a variável predominante, nota-se, a partir do Gráfico 20, a maior contribuição de Guarulhos, aeroporto de maior movimentação do País, para o qual as emissões em 2018 retornam ao patamar alcançado em 2015.

Gráfico 20: Emissões de NO_x em aeródromos selecionados.

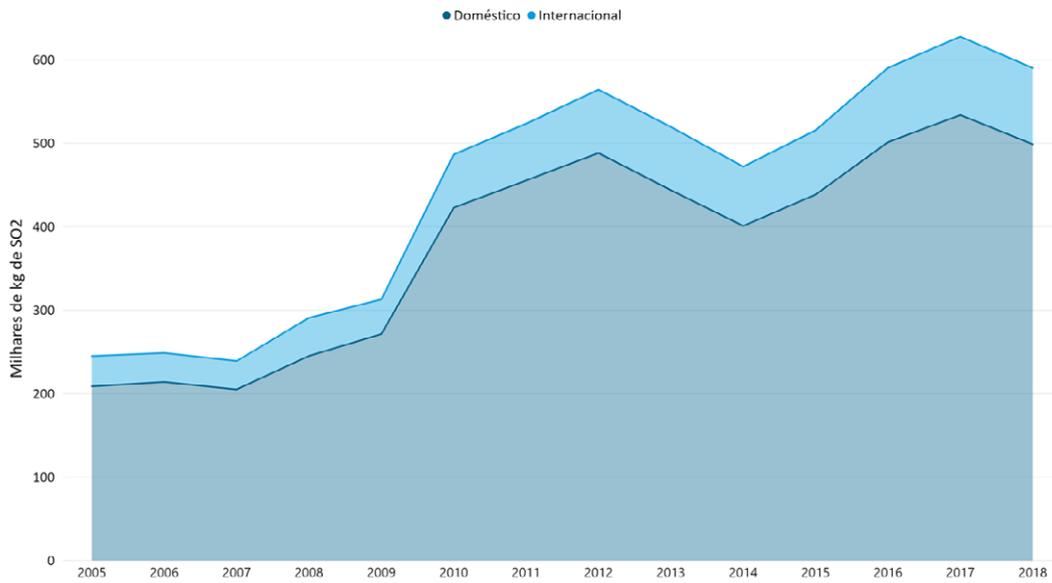


3.2.4. Emissões de dióxido de enxofre (SO₂)

As emissões de dióxido de enxofre reportadas neste Inventário correspondem exclusivamente às provenientes do ciclo LTO das movimentações. A evolução das emissões estimadas é altamente in-

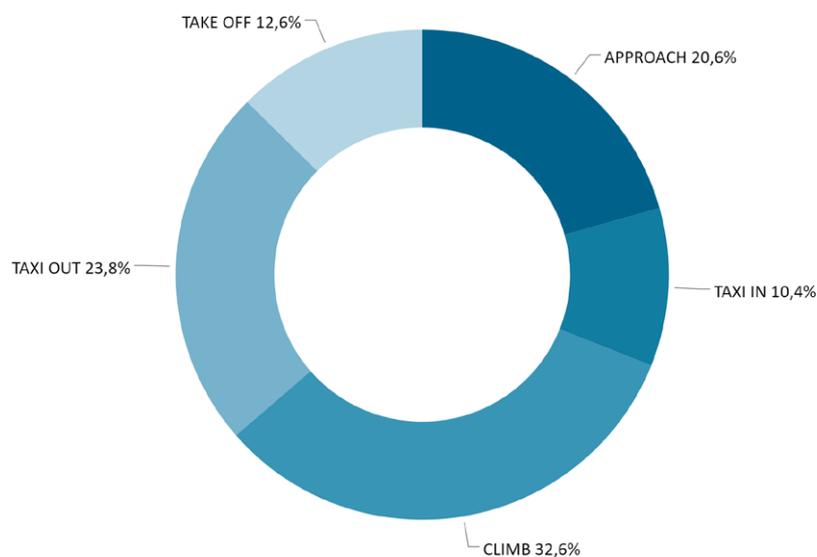
fluenciada pela variação do valor médio anual do teor de enxofre no combustível (a partir do qual são estimadas as emissões desse gás) e pela quantidade de combustível consumido, como pode ser verificado no Gráfico 21. As emissões geradas em movimentações domésticas representaram a maior parcela (84,5%) das 590 toneladas de SO₂ emitidos em 2018.

Gráfico 21: Emissões de SO₂ por tipo de movimentação.



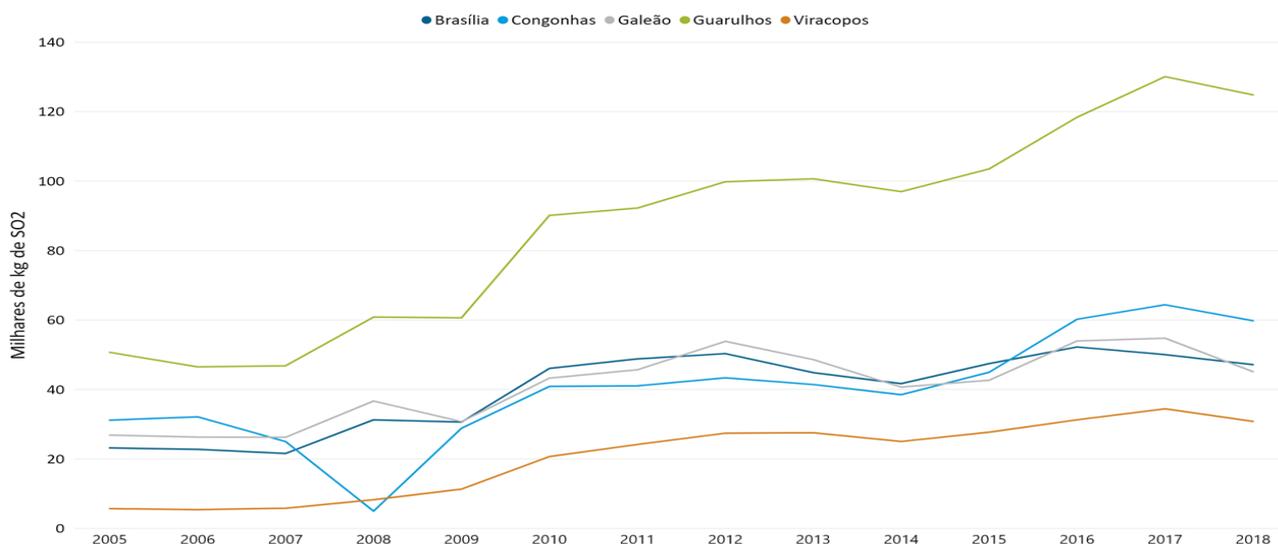
Como as emissões de dióxido de enxofre geradas pelo uso das APU não são estimadas, o Gráfico 22 apresenta as emissões em 2018 distribuídas entre as fases de voo do ciclo LTO, apontando para uma predominância em *climb* (32,6%) e nas fases em *idle* (34,2%).

Gráfico 22: Emissões de SO₂ por fase em 2018.



No que diz respeito às emissões pelos aeródromos de maior movimentação, o Gráfico 23 apresenta as tendências de crescimento das emissões. Ressalva-se a influência do valor médio anual do teor de enxofre no combustível, o qual é maior para os anos mais recentes.

Gráfico 23: Emissões de SO₂ por aeródromo.



3.2.5. Emissões de Material Particulado (MP)

Assim como as estimativas de emissões de SO₂, as emissões reportadas de material particulado são apenas as geradas a partir das fases de voo do ciclo LTO das movimentações. O Gráfico 24 ilustra a evolução das emissões desse poluente. Destacam-se a participação das emissões provenientes das fases de *climb* do ciclo LTO (46,9% em 2018), ilustradas no Gráfico 25, e a proeminência das emissões em Guarulhos, como apresenta o Gráfico 26.



Gráfico 24: Emissões de MP por tipo de movimentação.

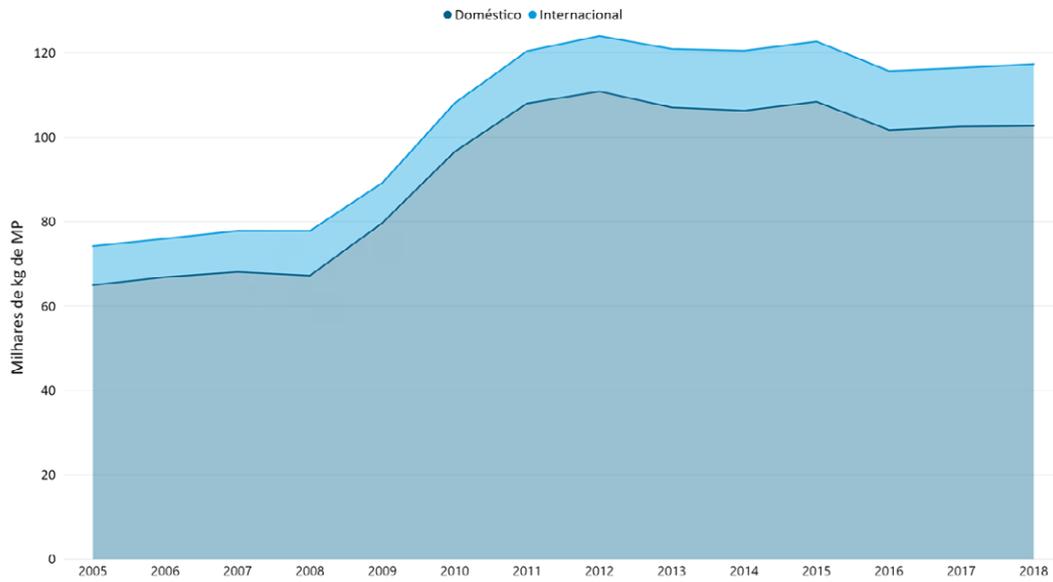


Gráfico 25: Emissões de MP por fase em 2018.

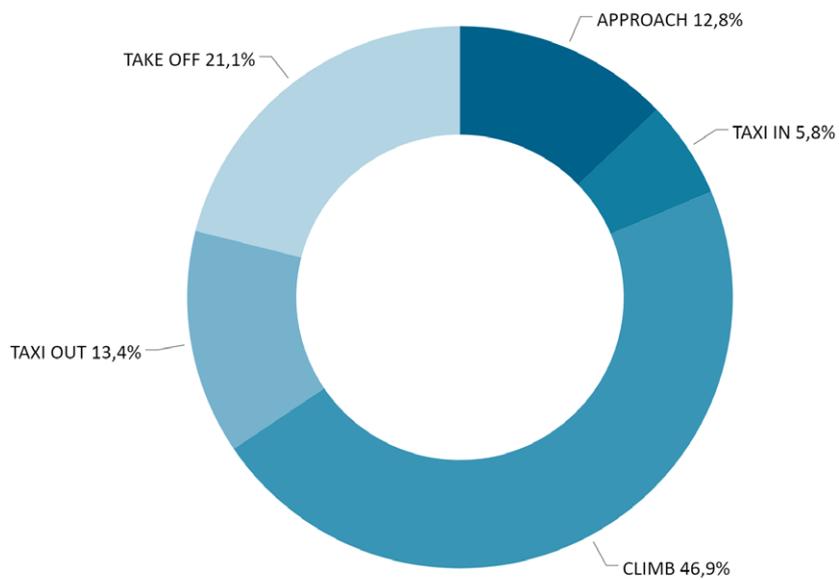
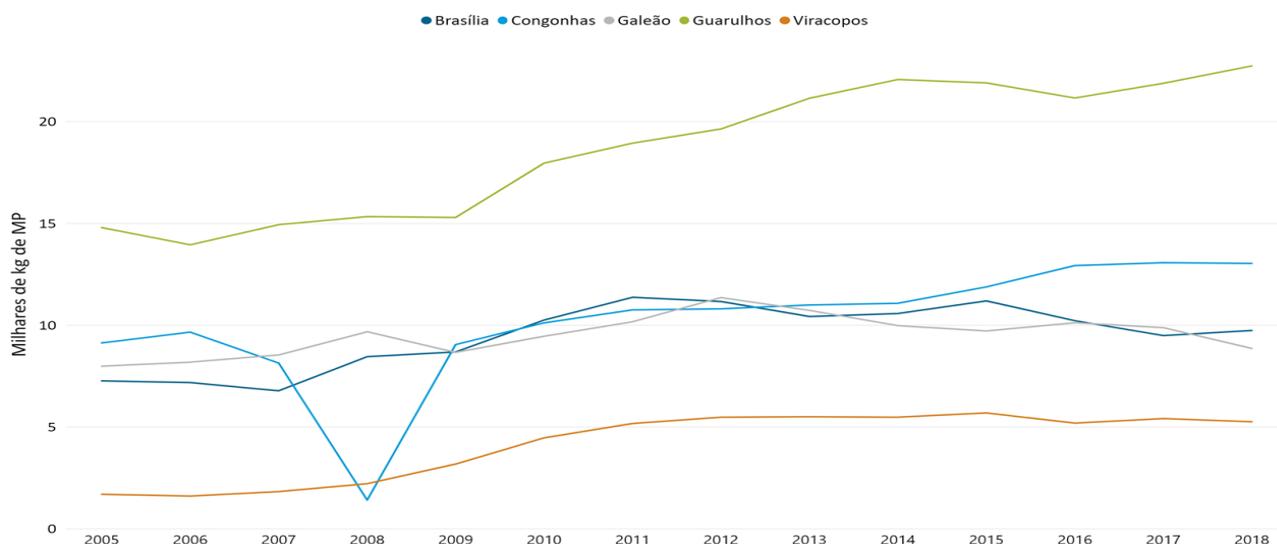


Gráfico 26: Emissões de MP por aeródromo.



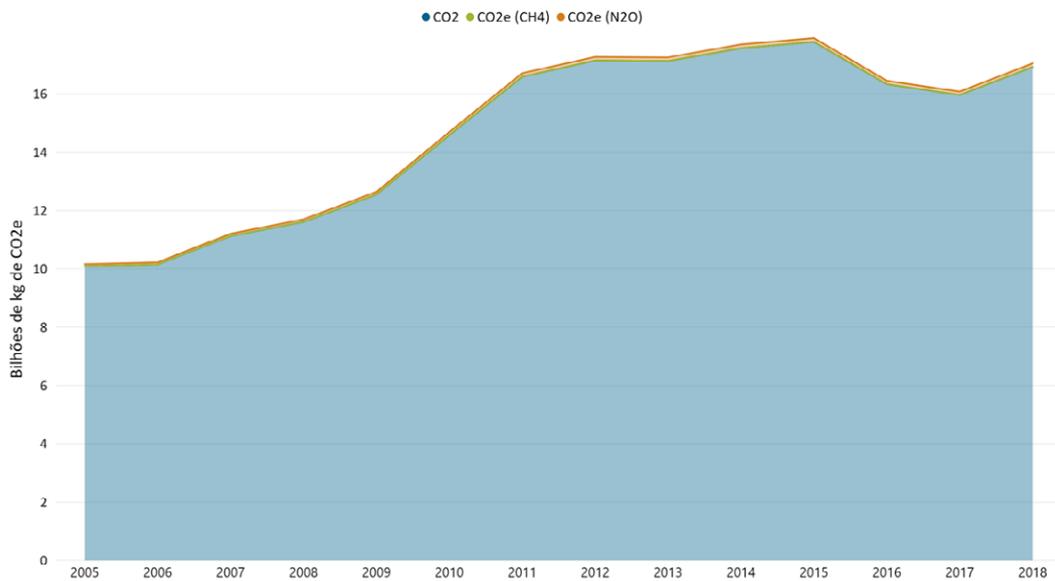
3.3 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DIRETO

As estimativas de gases de efeito estufa (GEE) direto feitas através da metodologia *Tier 3A* e reportadas neste Inventário incluem, além das emissões provenientes da utilização das unidades auxiliares de potência (APU), as fases do ciclo LTO e a fase de cruzeiro das movimentações. São contabilizadas, porém, apenas as emissões geradas pela queima de combustível de voos com partida do território nacional, tanto para movimentações domésticas quanto internacionais. Deste modo, no tocante aos voos internacionais, são considerados apenas aqueles com origem no Brasil e destino no exterior.

Este Inventário reporta, como já descrito, as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Para associar essas emissões a uma metodologia capaz de contemplar os impactos desses três gases no balanço energético do planeta, optou-se pela métrica GWP-100 para sintetizar as emissões em uma medida denominada CO₂ equivalente (CO₂e).

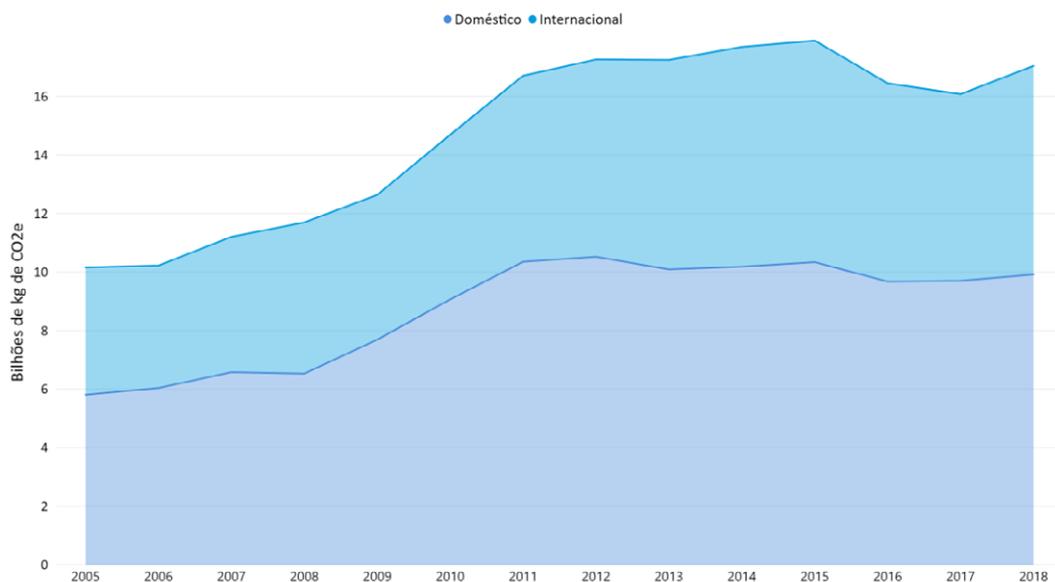
A conversão dos GEE em CO₂e é feita conforme os valores apresentados na Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC. Os fatores GWP são 1 para o CO₂, 28 para o CH₄ e 265 para o N₂O. Apesar do uso da métrica aumentar a participação do metano e do óxido nitroso nas emissões, a maior parte das emissões de CO₂e é proveniente do CO₂, como apresentado no Gráfico 27. Este revela também a tendência de crescimento ao longo do escopo temporal, excetuando-se por uma queda devido à desaceleração do setor nos últimos anos, e mostra o nível mais elevado das emissões em 2015, ano em que se estimou a emissão de 17,9 milhões de toneladas de CO₂e.

Gráfico 27: Emissões de CO₂e por tipo de gás.



Uma vez que as estimativas de emissões de CO₂e levam em conta as emissões provenientes da fase de voo em cruzeiro, a participação das movimentações internacionais aumenta de forma expressiva se comparada à sua importância nas emissões dos poluentes locais (emissões que só contabilizam o ciclo LTO e o uso das APU). Essa participação tem, de maneira geral, crescido ao longo do tempo tendo alcançado, em 2018, 41,8% do total das emissões de CO₂e estimadas. O Gráfico 28 ilustra esse comportamento apresentando a evolução das emissões por tipo de movimentação.

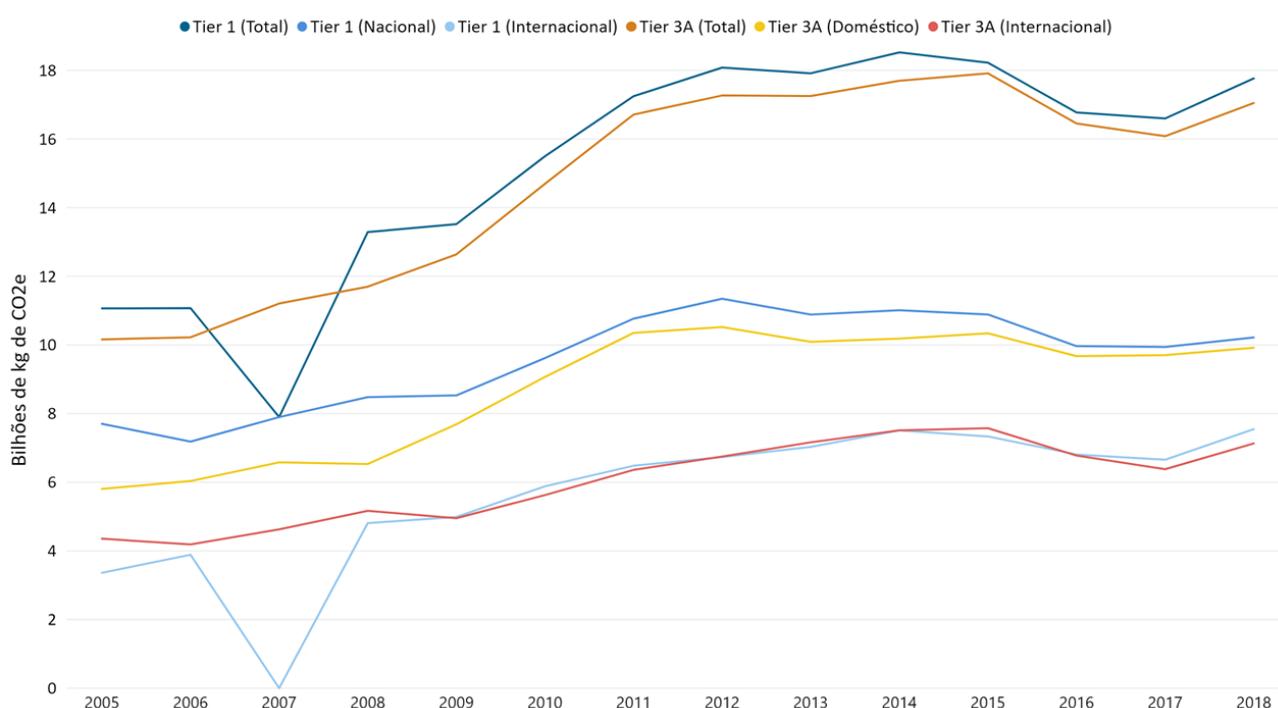
Gráfico 28: Emissões de CO₂e por tipo de movimentação.



Conforme apresentado na seção 1.3 do Inventário, foram feitas estimativas das emissões de gases de efeito estufa direto tanto a partir de dados nacionais agregados de consumo (metodologia *top-down*, Tier 1), quanto a partir do cálculo das emissões geradas em cada uma das movimentações (metodologia *bottom-up*, Tier 3A).

O Gráfico 29 apresenta a evolução dessas emissões, de 2005 até 2018, para as metodologias *Tier 1* e *Tier 3A*. As curvas apresentadas revelam que as emissões a partir da metodologia mais detalhada possuem tendência similar àquela gerada pelas estimativas mais simples, reforçando a qualidade das estimativas. As diferenças mais significativas podem ser percebidas quando consideradas apenas as emissões provenientes das movimentações domésticas entre 2005 e 2008. A partir desse ponto, as diferenças se tornam menos significativas possivelmente devido aos avanços tecnológicos que vêm sendo incorporados nos sistemas de transmissão de dados em aeroportos, aprimorando a qualidade das informações.

Gráfico 29: Comparação entre as estimativas de emissões de CO₂e pelas metodologias *Tier 1* e *Tier 3A*.



A metodologia *Tier 1* é capaz de estimar não só as emissões provenientes na queima da QAv como também da AvGas (gasolina de aviação). A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as emissões de GEE de forma detalhada de acordo com o tipo de movimentação, com o combustível utilizado, com a metodologia das estimativas e com o gás emitido.

Cabe ressaltar as diferenças significativas entre as emissões de CH₄ estimadas a partir de cada metodologia. Isso decorre da utilização de um fator de emissão que leva em consideração a fração de combustível queimado que efetivamente emite CH₄ no método *Tier 1*. Como descrito na seção 5.1 do documento Metodologia de Cálculo — Inventário de Emissões Atmosféricas, considera-se que apenas 10% do combustível é consumido em condições nas quais há emissão desse gás, porém, conforme estimado pelo método *Tier 3A*, essa porcentagem é, aproximadamente, 4%. Dessa forma, é possível considerar que as emissões de CH₄ pela metodologia *Tier 1* estejam superestimadas. Essa diferença é acentuada nas emissões provenientes de movimentações internacionais, dada que a fase de voo em cruzeiro (na qual não há emissão de metano) ganha importância na participação do consumo de combustível, devido as grandes distâncias percorridas.

A Tabela 4 resume as emissões de CO₂e estimadas através dessa metodologia e as compara com as estimadas pela metodologia *Tier 3A*. A partir dos dados apresentados, é nítida a participação majoritária de QAv nas emissões, resultado do baixo consumo de AvGas na aviação civil brasileira.

Tabela 2: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações domésticas em Gg.

Combustível	Querosene de Aviação								Gasolina de Aviação			
	Tier 1				Tier 3A				Tier 1			
Metodologia	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
2005	7644,0	5,3x10 ⁻²	2,1x10 ⁻¹	7702,1	5764,4	2,7x10 ⁻³	1,6x10 ⁻¹	5805,7	124,2	8,9x10 ⁻⁴	3,5x10 ⁻³	125,2
2006	7128,7	5,0x10 ⁻²	2,0x10 ⁻¹	7182,9	5992,1	2,8x10 ⁻³	1,6x10 ⁻¹	6035,0	158,2	1,1x10 ⁻³	4,5x10 ⁻³	159,4
2007*	7838,1	5,5x10 ⁻²	2,2x10 ⁻¹	7897,7	6532,1	3,0x10 ⁻³	1,8x10 ⁻¹	6578,9	162,7	1,2x10 ⁻³	4,6x10 ⁻³	164,0
2008	8414,7	5,9x10 ⁻²	2,4x10 ⁻¹	8478,7	6484,3	3,0x10 ⁻³	1,8x10 ⁻¹	6530,7	136,5	9,7x10 ⁻⁴	3,9x10 ⁻³	137,6
2009	8464,8	5,9x10 ⁻²	2,4x10 ⁻¹	8529,2	7632,7	3,4x10 ⁻³	2,1x10 ⁻¹	7687,4	136,5	9,7x10 ⁻⁴	3,9x10 ⁻³	137,5
2010	9543,3	6,7x10 ⁻²	2,7x10 ⁻¹	9615,9	9001,6	3,9x10 ⁻³	2,4x10 ⁻¹	9066,1	155,6	1,1x10 ⁻³	4,4x10 ⁻³	156,8
2011	10683,6	7,5x10 ⁻²	3,0x10 ⁻¹	10764,8	10277,0	4,4x10 ⁻³	2,8x10 ⁻¹	10350,7	157,5	1,1x10 ⁻³	4,5x10 ⁻³	158,7
2012	11260,8	7,9x10 ⁻²	3,1x10 ⁻¹	11346,4	10445,5	4,5x10 ⁻³	2,8x10 ⁻¹	10520,4	170,6	1,2x10 ⁻³	4,9x10 ⁻³	171,9
2013	10802,0	7,6x10 ⁻²	3,0x10 ⁻¹	10884,2	10016,9	4,3x10 ⁻³	2,7x10 ⁻¹	10088,8	170,6	1,2x10 ⁻³	4,9x10 ⁻³	171,9
2014	10928,3	7,6x10 ⁻²	3,1x10 ⁻¹	11011,4	10110,9	4,4x10 ⁻³	2,7x10 ⁻¹	10183,6	170,6	1,2x10 ⁻³	4,9x10 ⁻³	171,9
2015	10804,7	7,6x10 ⁻²	3,0x10 ⁻¹	10886,9	10264,7	4,4x10 ⁻³	2,8x10 ⁻¹	10338,5	142,6	1,0x10 ⁻³	4,1x10 ⁻³	143,7
2016	9889,0	6,9x10 ⁻²	2,8x10 ⁻¹	9964,3	9605,1	4,1x10 ⁻³	2,6x10 ⁻¹	9674,2	128,0	9,1x10 ⁻⁴	3,7x10 ⁻³	129,0
2017	9865,8	6,9x10 ⁻²	2,8x10 ⁻¹	9940,8	9632,3	4,3x10 ⁻³	2,6x10 ⁻¹	9701,5	114,9	8,2x10 ⁻⁴	3,3x10 ⁻³	115,8
2018	10140,5	7,1x10 ⁻²	2,8x10 ⁻¹	10217,7	9845,5	4,3x10 ⁻³	2,7x10 ⁻¹	9916,6	108,4	7,7x10 ⁻⁴	3,1x10 ⁻³	109,3

* Não há informação do consumo de combustível em movimentações internacionais para o ano de 2007 na fonte consultada, conforme descrito no documento Metodologia de Cálculo – Inventário de Emissões Atmosféricas.

Tabela 3: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações internacionais em Gg.

Combustível	Querosene de Aviação							
	Tier 1				Tier 3A			
Metodologia	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
2005	3.336,7	2,3x10 ⁻²	9,3.10 ⁻²	3.362,1	4.323,3	4,7x10 ⁻⁴	1,2x10 ⁻¹	4.355,2
2006	3.858,4	2,7x10 ⁻²	1,1.10 ⁻¹	3.887,7	4.157,0	4,5x10 ⁻⁴	1,2x10 ⁻¹	4.187,7
2007	N/A	N/A	N/A	N/A	4.593,8	4,9x10 ⁻⁴	1,3x10 ⁻¹	4.627,7
2008	4.772,3	3,3x10 ⁻²	1,3.10 ⁻¹	4.808,6	5.129,1	5,3x10 ⁻⁴	1,4x10 ⁻¹	5.167,0
2009	4.951,4	3,5x10 ⁻²	1,4.10 ⁻¹	4.989,1	4.914,9	5,2x10 ⁻⁴	1,4x10 ⁻¹	4.951,1
2010	5.836,4	4,1x10 ⁻²	1,6.10 ⁻¹	5.880,8	5.585,3	5,9x10 ⁻⁴	1,6x10 ⁻¹	5.626,6
2011	6.431,5	4,5x10 ⁻²	1,8.10 ⁻¹	6.480,5	6.314,1	6,7x10 ⁻⁴	1,8x10 ⁻¹	6.360,6
2012	6.682,7	4,7x10 ⁻²	1,9.10 ⁻¹	6.733,5	6.698,1	7,1x10 ⁻⁴	1,9x10 ⁻¹	6.747,5
2013	6.976,2	4,9x10 ⁻²	2,0.10 ⁻¹	7.029,3	7.110,3	7,5x10 ⁻⁴	2,0x10 ⁻¹	7.162,8
2014	7.453,7	5,2x10 ⁻²	2,1.10 ⁻¹	7.510,5	7.456,8	8,0x10 ⁻⁴	2,1x10 ⁻¹	7.511,8
2015	7.279,2	5,1x10 ⁻²	2,0.10 ⁻¹	7.334,5	7.518,0	8,0x10 ⁻⁴	2,1x10 ⁻¹	7.573,5
2016	6.757,0	4,7x10 ⁻²	1,9.10 ⁻¹	6.808,4	6.727,3	7,5x10 ⁻⁴	1,9x10 ⁻¹	6.776,9
2017	6.606,7	4,6x10 ⁻²	1,8.10 ⁻¹	6.656,9	6.333,2	7,3x10 ⁻⁴	1,8x10 ⁻¹	6.379,9
2018	7.488,5	5,2x10 ⁻²	2,1.10 ⁻¹	7.545,5	7.078,4	7,5x10 ⁻⁴	2,0x10 ⁻¹	7.130,6

Tabela 4: Emissões de CO₂e estimadas pelas metodologias Tier 1 e Tier 3A por combustível, em Gg.

Ano	Querosene de Aviação (Tier 1)	Gasolina de Aviação (Tier 1)	Total (Tier 1)	Total (Tier 3a)
2005	11.064,3	125,2	11.189,4	10.160,8
2006	11.070,7	159,4	11.230,1	10.222,7
2007	7.897,7	164,0	8.061,7	11.206,5
2008	13.287,3	137,6	13.424,9	11.697,7
2009	13.518,6	137,5	13.655,9	12.638,5
2010	15.496,7	156,8	15.653,5	14.692,7
2011	17.245,3	158,7	17.404,0	16.711,4
2012	18.080,0	171,9	18.251,9	17.267,9
2013	17.913,5	171,9	18.085,4	17.251,6
2014	18.521,9	171,9	18.693,8	17.695,3
2015	18.221,4	143,7	18.365,1	17.912,0
2016	16.772,7	129,0	16.901,8	16.451,1
2017	16.597,8	115,8	16.713,6	16.081,4
2018	17.763,2	109,3	17.872,4	17.047,3

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação do Inventário Brasileiro de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2019 (ano base 2018) reforça o compromisso da Agência Nacional de Aviação Civil com o desenvolvimento de ações referentes à mitigação dos impactos ambientais das atividades do setor de transporte aéreo. Esse Inventário também incorpora uma série de informações importantes para a realização da gestão da qualidade local do ar e para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, no que se refere ao tratamento do impacto das emissões atmosféricas decorrentes das atividades da aviação civil.

Os dados publicados nesta edição do Inventário atualizam e revisam uma série histórica, que vem sendo compilada desde o ano de 2005, para a maioria dos tópicos tratados no seu escopo. Isto proporciona oportunidade às instituições, públicas e privadas, de embasarem seus estudos e atividades de pesquisas com a finalidade de subsidiar a tomada de decisões e o gerenciamento das atividades relacionadas ao meio ambiente e seus impactos aos mais diversos biomas e setores da economia.

As contribuições deste Inventário podem permear os mais diversos setores da economia. Para o setor de transportes, o Inventário pode ser um instrumento útil para subsidiar as discussões e fomentar o planejamento da matriz energética do país com políticas favoráveis ao desenvolvimento de combustíveis que apresentem menores impactos ao meio ambiente, em especial os combustíveis renováveis. Já no setor de energia, a principal contribuição está relacionada ao compromisso brasileiro em disponibilizar os resultados de emissões de gases de efeito estufa e que devem ser reportados nas Comunicações Nacionais do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Um fato importante, que representa um marco nos esforços da Agência em mitigar os impactos das operações aéreas ao meio ambiente, trata-se da oficialização do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) como um instrumento oficial para disponibilização dos resultados de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Publicado no Diário Oficial da União em 18 de outubro de 2017, o Decreto nº 9.172 estabelece em seu Art. 7º, inciso IV que, para garantir a confiabilidade e a atualização periódica dos dados de atividades e de fatores de emissão adequados para o Estado brasileiro, serão consideradas as informações geradas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), reforçando o compromisso em aperfeiçoar o trabalho realizado por meios de novas metodologias e o escopo do Inventário.

Os resultados apresentados neste documento foram compilados e reportados buscando o aprimoramento das metodologias do Inventário de 2014, com as devidas atualizações das informações técnicas e bases de dados, resultando em reformulação das séries históricas. Dentre as possíveis melhorias que podem vir a serem implementadas em versões futuras deste Inventário está o detalhamento das rotas de cruzeiro e a identificação dos motores instalados em cada aeronave. Além disso, outro avanço possível seria a inclusão das operações de helicópteros e de aeronaves com motores alternativos, inclusive aquelas movidas a etanol. Entretanto, essa evolução depende da colaboração dos atores que participam, direta ou indiretamente, da elaboração do Inventário, pois as informações do setor são provenientes da ação de todos os envolvidos nas atividades do setor de transporte aéreo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRP, 2012. AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM (ACRP): Report 64 – Handbook for Evaluating Emissions and Costs of APU and Alternative Systems, Transportation Research Board, Washington, D.C. 86p.

ANAC, 2014. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014. 74p.

ANAC, 2019. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Metodologia de Cálculo — Inventário de Emissões Atmosféricas, 1ª edição. 27p.

ANAC, 2019. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Anuário do Transporte Aéreo 2018, volume único, 1ª edição. 184p.

ANP, 2018. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Dados Estatísticos Mensais, disponível em http://www.anp.gov.br/images/DADOS_ESTATISTICOS/importacao_exportacao/Importacoes_Exportacoes_m3.xlsx [Acessado em dez/2018]

ANTT, 2012. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Transporte Ferroviário de Cargas. 53p.

DECEA, 2018. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. BIMTRA – Banco Informações do Movimento de Tráfego Aéreo, 2005 – 2017, acessível à ANAC através do Termo de Cooperação Específico Nº002/ DECEA-ANAC/2008.

EASA, 2018. EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY - ICAO Emissions Databank updated nov/2017, disponível em <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

EMEP/CORINAIR 2013. EUROPEAN MONITORING AND EVALUATION PROGRAMME. Emission Inventory Guidebook 2013, disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

EMEP/EEA 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, disponível em <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-2016/view>

EPE, 2018. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2018, Ano Base 2017.

EUROCONTROL, 2003. ATM Flight Efficiency and its Impact on the environment - 2002 Study, July 2003. 71p.

FAA & EPA, 2009. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION & US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions from Aircraft Equipped With Turbofan, Turbojet and Turboprop Engines (2009), 19p.

FOI, 2013. SWEDISH DEFENSE RESEARCH AGENCY. Base de dados de emissões de motores Turbo-hélice. Comunicação pessoal.

IPCC, 1996. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, UK Meteorological Office, Bracknell

IPCC, 1999. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Aviation and the global Atmosphere. 373p.

IPCC, 2000. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2000 Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 2 – ENERGY. 95p.

IPCC, 2006. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy, Chapter 3 Mobile Combustion. 78p.

MCT, 2004. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. 1ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MCT, 2010. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. 2ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2V.

MCT, 2016. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. 3ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MMA, 2011. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 111p.

MMA, 2014. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 ano base 2012. 114p.

OACI, 2010. ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. ICAO Annex 16 “International standards and recommended practices, Environmental protection”, Volume II “Aircraft engine emissions”.

OACI, 2011. ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. Doc 9889 Airport Air Quality Manual – First Edition – 2011. 200p.

APÊNDICE A - INFORMATIVO DE MUDANÇAS ENTRE OS INVENTÁRIOS DE 2014 E 2019

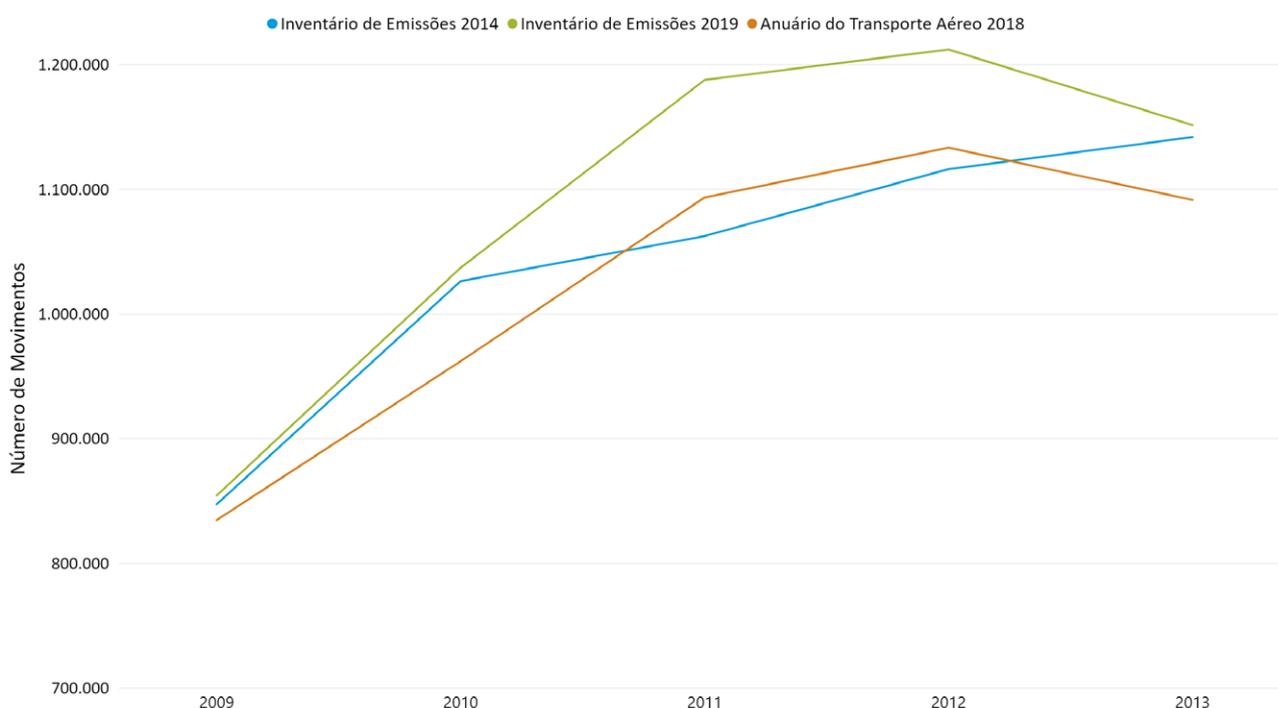
Nesta seção, serão apresentadas as inovações metodológicas aplicadas nesta edição do Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil em relação à edição de 2014. Serão apontadas as atualizações das fontes de dados, as correções de erros encontrados e as alterações de métodos de cálculo bem como o impacto dessas mudanças no resultado agregado.

1.1 MOVIMENTAÇÕES

De acordo com a Nota Técnica nº 66/2016/SRI/DF/ANAC, foi detectado no ano de 2012, em particular nos meses de janeiro e fevereiro, um número médio notadamente inferior aqueles observados nos meses restantes do ano de 2012. Tal fato se deve a um processo de reconstrução da base de dados no período, que estava comprovadamente com perda de dados, a partir de informações mais completas obtidas posteriormente junto ao DECEA. Ainda segundo a Nota Técnica, havia possivelmente uma repetição de dados ou ainda falta deles em determinadas datas devido ao processo de extração manual de dados do BIMTRA. Por outro lado, o pico em 2012 segue a tendência verificada no Anuário do Transporte Aéreo 2018, elaborado e divulgado pela Gerência de Acompanhamento de Mercado (GEAC) da Superintendência de Acompanhamento de Serviços Aéreos (SAS/ANAC).

No Gráfico 30 é apresentada uma comparação da evolução no número de movimentos para os anos de 2009 a 2013 entre o Inventário 2014, o Anuário do Transporte Aéreo 2018 e o Inventário 2019.

Gráfico 30: Comparação da evolução do número de movimentos entre o Anuário 2018 e as versões 2014 e 2019 do Inventário.

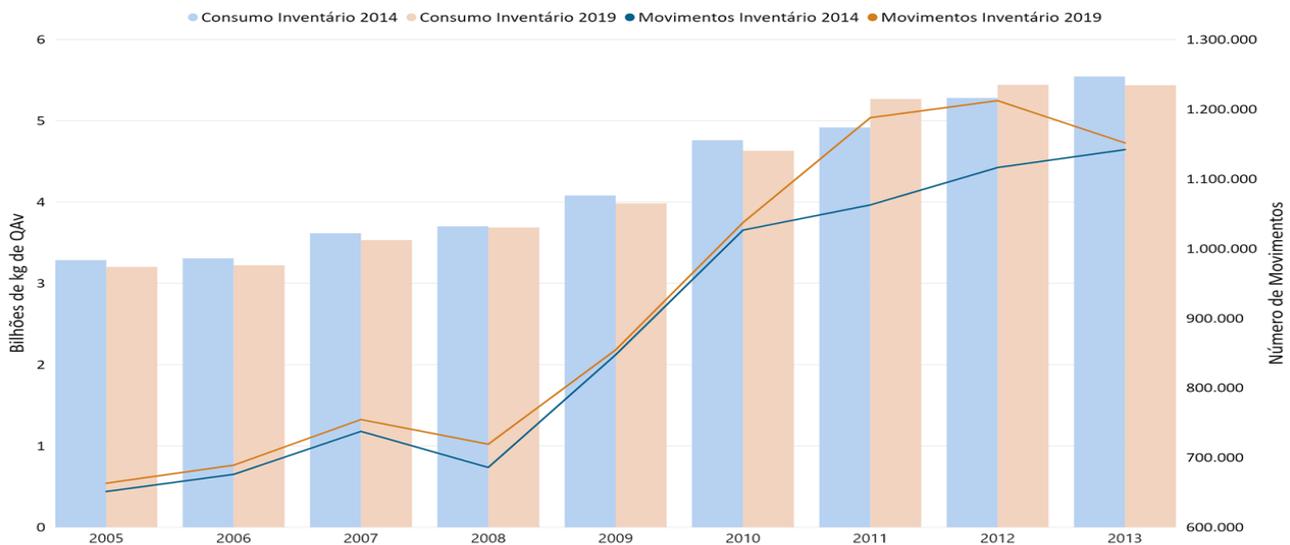


Nota-se que tanto o anuário quanto este Inventário de emissões apresentam crescimento das movimentações no período até o ano de 2012. Salienta-se que as diferenças entre os dados de movimentos apresentados no Inventário 2014 e os presentes neste Inventário são decorrentes da nova extração de dados do BIMTRA.

Vale ressaltar que o Anuário 2018 apenas contabiliza os voos regulares e não regulares, o que justifica o maior número de movimentos dos Inventários cujo escopo também inclui a aviação geral. Entretanto, nota-se que na edição do Inventário de 2014 o número de movimentos contabilizados para os anos de 2011 e 2012 é inferior aos valores informados pelo Anuário. Isso confirma a inconsistência dos dados utilizados anteriormente e aponta a necessidade de correção da série histórica.

Naturalmente, com a mudança na quantidade de movimentos de uma edição para a outra, o consumo de querosene de aviação e as emissões de gases e poluentes também são afetados da mesma forma. Como exemplo, no Gráfico 31, é apresentada a evolução das discrepâncias entre consumo total e a quantidade de movimentos de cada Inventário, ficando evidente a influência da falha no resultado. Ressalta-se que o mesmo gráfico apresenta o consumo total final dos dois Inventários, depois de realizadas todas as mudanças destacadas neste Apêndice, o que possibilita a visualização da soma das influências de cada modificação metodológica descrita a seguir, inclusive as relativas à movimentação.

Gráfico 31: Comparação da evolução do consumo de combustível (colunas) e do número de movimentos (linhas) entre as versões 2014 e 2019 do Inventário.



1.2 CONSUMO DE CRUZEIRO

O cálculo do consumo da etapa de cruzeiro do voo é realizado por interpolação linear nas tabelas fornecidas pela EMEP/EEA (2016), cruzando a distância efetiva de voo com a aeronave utilizada. Uma amostra dos valores fornecidos de consumo de querosene de aviação em cruzeiro para algumas aeronaves e distâncias selecionadas é mostrada na Tabela 5. O consumo de combustível é dado em quilogramas, já a distância, em milhas náuticas.

Tabela 5: Consumo de QAv em kg por distância e aeronave

Distância (mn)	Aeronave (Código OACI)						
	A320	A321	A332	A333	A343	A345	A346
125	1.062,6	1.279,2	2.491,8	2.498,3	2.790,0	2.503,3	3.337,6
250	1.831,1	2.196,8	4.252,2	4.265,3	4.654,2	4.248,8	5.677,9
500	2.949,3	3.689,1	6.839,6	6.762,0	7.744,3	7.131,7	9.677,2
750	4.200,4	5.303,6	9.588,5	9.352,6	11.009,7	10.117,1	13.873,2
1000	5.439,0	6.896,3	12.361,2	11.971,8	14.238,5	13.170,1	18.078,7
1500	7.994,8	10.176,9	18.037,8	17.332,0	20.869,3	19.406,7	26.667,7
2000	10.464,9	13.367,0	23.607,8	22.594,9	27.337,0	25.551,4	35.124,1

Para cada movimento, tem-se a aeronave utilizada e os aeródromos de partida e destino. Tomando as coordenadas geográficas de cada aeródromo calcula-se a distância direta entre os aeródromos, que é convertida para distância efetiva, como descrito na seção 3.3. Entretanto, o resultado para a distância efetiva quase nunca coincide com os valores de distância representados na tabela, fazendo-se necessária uma interpolação. Essa interpolação é feita de forma linear entre as distâncias da tabela imediatamente inferior e imediatamente superior à distância efetiva calculada. Dessa forma, são obtidos os valores aproximados de consumo para o voo em questão.

Algumas das diferenças metodológicas entre os Inventários são provenientes de considerações feitas a respeito dessa interpolação, como no caso de voos de curta distância ou voos em que a distância é superior à disponível na tabela para aquela aeronave. A seguir são explicadas as mudanças em cada um dos casos.

1.2.1 Interpolação de voos de curta distância

No Inventário de 2014, em voos em que a distância efetiva fosse menor que 125 milhas náuticas, a interpolação era realizada entre as distâncias de 125 e 250 milhas náuticas, o que na verdade se tornava uma extrapolação, levando muitas vezes a valores de consumo irreais.

Com a atualização metodológica, optou-se por modificar esse cálculo. Para isso, considerou-se que um voo com distância efetiva igual a zero milhas náuticas consumiria zero quilogramas de combustível. Assim, a interpolação pôde ser feita entre 0 e 125mn, sem necessidade de extrapolação.

Embora essa mudança não tenha afetado o resultado agregado significativamente, acredita-se que o consumo de cruzeiro se tornou mais representativo da realidade.

1.2.2 Voos com partida e destino no mesmo aeroporto

Não é possível, por meio dos dados e métodos disponíveis atualmente, estimar a distância percorrida em um voo que decola e pousa no mesmo aeroporto. Dessa forma, a distância efetiva calculada nesses casos é sempre zero. No método do Inventário de 2014, como o cálculo era realizado por meio de extrapolação, o resultado do consumo para voos desse tipo era bastante impreciso, muitas vezes resultando em consumo negativo. Nesta edição, devido ao novo método de interpolação, o consumo de cruzeiro desses voos é sempre zero, sendo contabilizados apenas o combustível utilizado no ciclo LTO e no uso de APU.

Como o número de voos com partida e destino no mesmo aeroporto é muito pequeno em relação ao total, praticamente não se nota a diferença dessas mudanças no resultado agregado.

1.2.3 Distâncias além dos limites da tabela

Em alguns casos, devido à conversão de aeronaves ou trocas de motor, a distância efetiva de um voo pode ser superior ao valor de consumo máximo da tabela para a aeronave em questão. Nesse caso, é necessária uma extrapolação utilizando os valores da tabela referentes às duas maiores distâncias.

Devido a um erro no código do programa que fazia os cálculos, os voos com distância além da tabela não eram calculados no Inventário 2014. Para esta nova edição, o erro foi corrigido e a extrapolação é realizada normalmente. Esta também não é uma mudança com grandes reflexos no resultado agregado, mas que propicia estimativas certamente mais precisas.

1.2.4 Atualização da tabela EMEP/EEA

Em 2016, a EMEP/EEA atualizou a tabela de estimativa de consumo de cruzeiro. A fim de acompanhar os avanços metodológicos desta fonte, optou-se por incorporar essas atualizações ao novo Inventário. Os valores de consumo de algumas aeronaves foram afetados significativamente, em geral reduzindo o consumo de cruzeiro. Além disso, na nova tabela, para algumas aeronaves, foi aumentado limite máximo de distância de 6500 milhas náuticas para 7000 milhas náuticas. A influência dessas mudanças no resultado agregado varia de acordo com o período analisado. Em geral, quanto mais recente o período, menos ele é afetado. Entretanto, para períodos mais próximos de 2005 a variação ultrapassa os 10%.

1.3 CONSUMO DA APU

1.3.1 Algoritmo de cálculo de consumo e emissões da APU

O código do programa que calculava o consumo de combustível devido ao uso de APU para o Inventário 2014 apresentava um erro que impedia a identificação do tipo de APU de cada aeronave. Dessa forma, era atribuído o tipo *Narrow Body* a todas as aeronaves, mesmo aquelas que não possuíam APU. Para o Inventário 2018, esse problema foi corrigido.

1.3.1.1 Tempo de uso de APU

Neste inventário também foram ajustados os tempos de uso de APU. No Inventário 2014, era utilizado o tempo de 75 minutos para todos os voos conforme orientação da OACI (2011). Na atual edição, esse parâmetro foi mantido para os anos de 2005 a 2016, sendo que para 2017 e 2018 valores mais acurados foram obtidos junto aos operadores aéreos.

Tanto a alteração do código do programa quanto a do tempo de uso também não são significativas para o resultado agregado, uma vez que a parcela de consumo devido ao uso de APU é baixo em relação ao total e as aeronaves mais utilizadas já têm APU do tipo *Narrow Body*.

1.4 TEMPOS DE TÁXI

Os tempos médios de táxi por aeroporto, que afetam o consumo e as emissões do ciclo LTO, também foram atualizados para os anos de 2014 a 2018, aumentando a gama de aeroportos com tempos de táxi calculados. Isso trouxe resultados mais precisos para os anos mais recentes, embora os valores referentes ao início da série (2005 a 2013) tenham se mantido os mesmos devido à indisponibilidade de dados na base da ANAC.

1.5 MATERIAL PARTICULADO

A metodologia de cálculo de material particulado foi completamente remodelada. No Inventário de 2014 utilizava-se as tabelas da EMEP/EEA de 2013 para estimar as emissões de material particulado para aeronaves com motores *turbofan* e turboélice. Entretanto, a OACI recomenda em seu DOC 9889^[8], a metodologia FOA 3.0 para as estimativas de emissão de material particulado para aeronaves com motores *turbofan*. Essa metodologia foi adotada para o Inventário 2019 como descrito no DOC, excluindo-se as estimativas para aeronaves turboélice.

A diferença dos resultados das duas metodologias é altamente relevante. Mesmo considerando apenas as aeronaves com motores *turbofan*, o resultado de massa total de material particulado agregado por ano no Inventário 2019 é cerca de três a quatro vezes maior que na última edição. Isso se dá pela mudança na forma de cálculo e pelo aprimoramento das fontes de dados.

Comparando a metodologia recomendada pela OACI com versão mais recente das tabelas EMEP/EEA para material particulado, de 2016, esta diferença se reduz bastante. Isso confirma a evolução da metodologia.

1.6 CONVERSÃO DE AERONAVES

A fim de aumentar ao máximo o número de movimentos com emissões calculadas, realizou-se uma busca por aeronaves que não estavam na base de dados do último Inventário. Essa busca resultou em um incremento de oito aeronaves com possibilidade de cálculo e ainda propiciou a correção de algumas correlações de aeronaves e motores.

1.7 ATUALIZAÇÃO DA EEDB

A fonte de dados de fatores de emissão para o ciclo LTO é a EEDb da OACI. A edição 2019 do Inventário utiliza a versão 24 desta planilha, de novembro de 2017, que apresenta uma gama de motores providos de dados de emissão significativamente maior. Além do número de motores disponíveis, os valores dos fatores de emissão também foram atualizados com dados mais precisos. Esta nova tabela foi utilizada para todos os anos abrangidos pelo Inventário.

1.8 FATOR DE EMISSÃO DE SO₂

No Inventário 2014, o fator de emissão de SO₂ utilizado, que é proporcional ao teor de enxofre do querosene de aviação, foi baseado em dados fornecidos pela Petrobras à época da confecção do documento. Para a atual edição, optou-se por utilizar o teor de enxofre variável a cada ano, dessa vez obtido junto à ANP, visto que o valor sofre variações de acordo com o lote de produção e é possível que os dados fornecidos em 2014 já não sejam mais representativos dos períodos mais recentes.

As emissões de SO₂ são calculadas multiplicando o consumo de combustível pelo fator de emissão de SO₂, e, portanto, são bastante sensíveis à variação do teor de enxofre do combustível. Dessa maneira, a mudança afeta significativamente a estimativa da quantidade global de dióxido de enxofre emitido.

Ressalta-se também que, ainda considerando a alta sensibilidade das emissões de SO₂ ao teor de enxofre, a evolução da série histórica também foi significativamente alterada dada a relevante variação da fração de enxofre com o tempo.

1.9 TABELA DE AERÓDROMOS

A base de dados de aeródromos também foi atualizada desde a última versão do Inventário. Novos aeroportos foram incluídos e as coordenadas geográficas de outros foram corrigidas. Essa atualização também não gerou mudanças perceptíveis no resultado agregado.

APÊNDICE B - ESCLARECIMENTOS SOBRE A DISPARIDADE ENTRE CONSUMO E NÚMERO DE MOVIMENTOS

A evolução do consumo de combustível estimado não reflete de maneira integral a variação na movimentação, especialmente para o período entre 2012 e 2016. Conforme constatado pelo Gráfico 32, mesmo com uma redução na intensidade do tráfego, o consumo não diminui na mesma proporção, podendo inclusive aumentar. Isso ocorre devido a um aumento na média de consumo por voo (Gráfico 33), ou seja, os movimentos que percorrem trajetos mais longos e com aeronaves mais pesadas e com maior consumo, tornaram-se mais significativos. É o que se pode concluir observando o Gráfico 34 e o Gráfico 35, que mostram a evolução da parcela de consumo das cinco aeronaves e rotas, respectivamente, que apresentam maior consumo médio.

Gráfico 32: Consumo estimado de querosene de aviação em comparação com o número de movimentos.

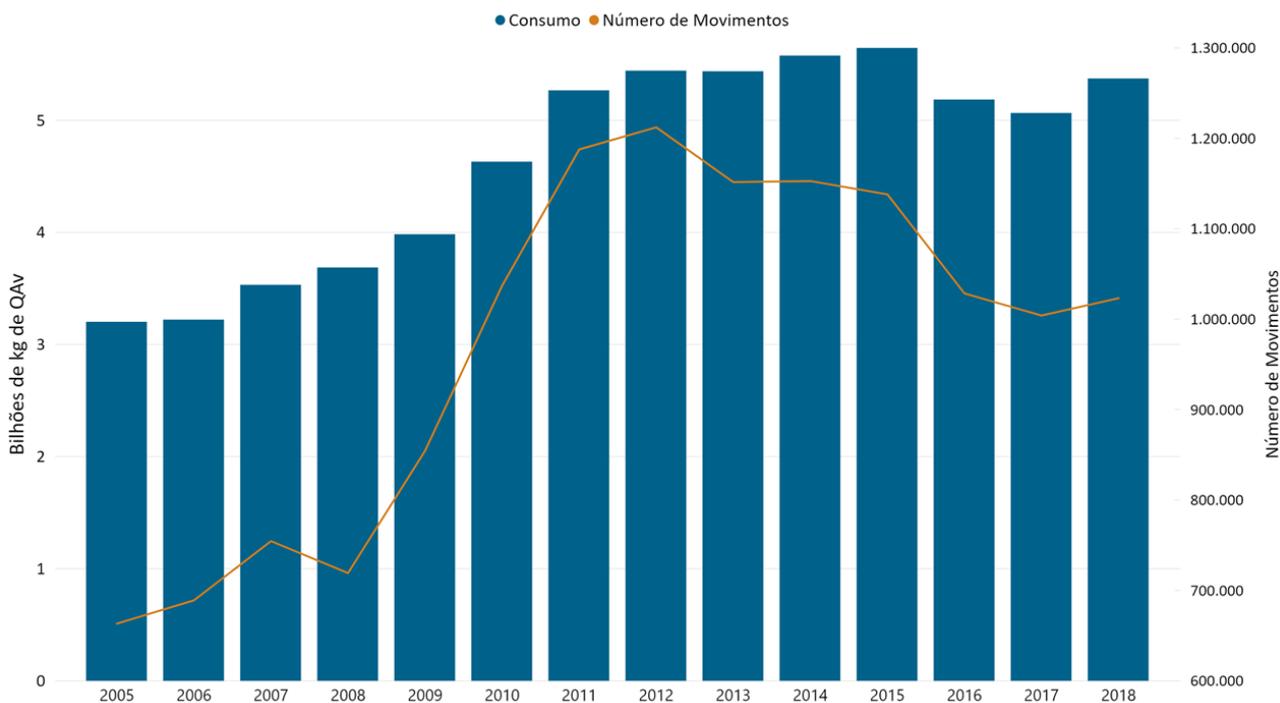


Gráfico 33: Consumo médio estimado de querosene de aviação em comparação com o número de movimentos.

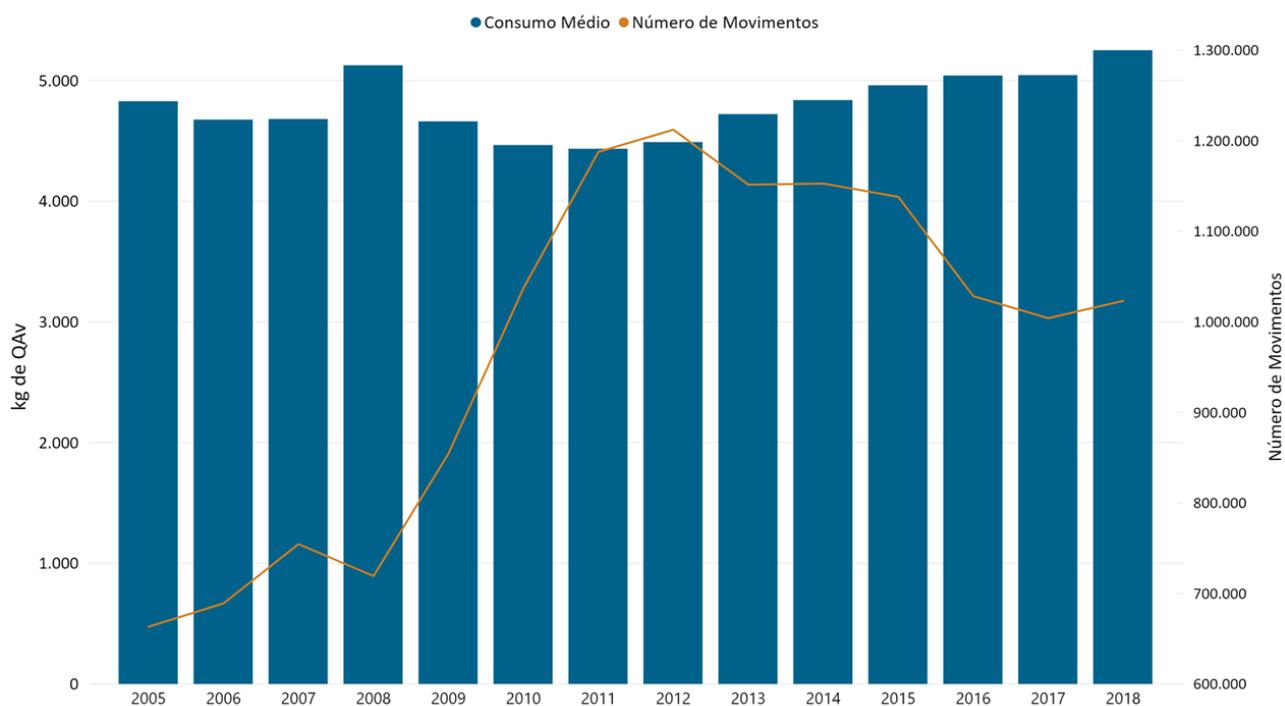


Gráfico 34: Evolução do consumo de querosene de aviação das cinco aeronaves com maior consumo médio.

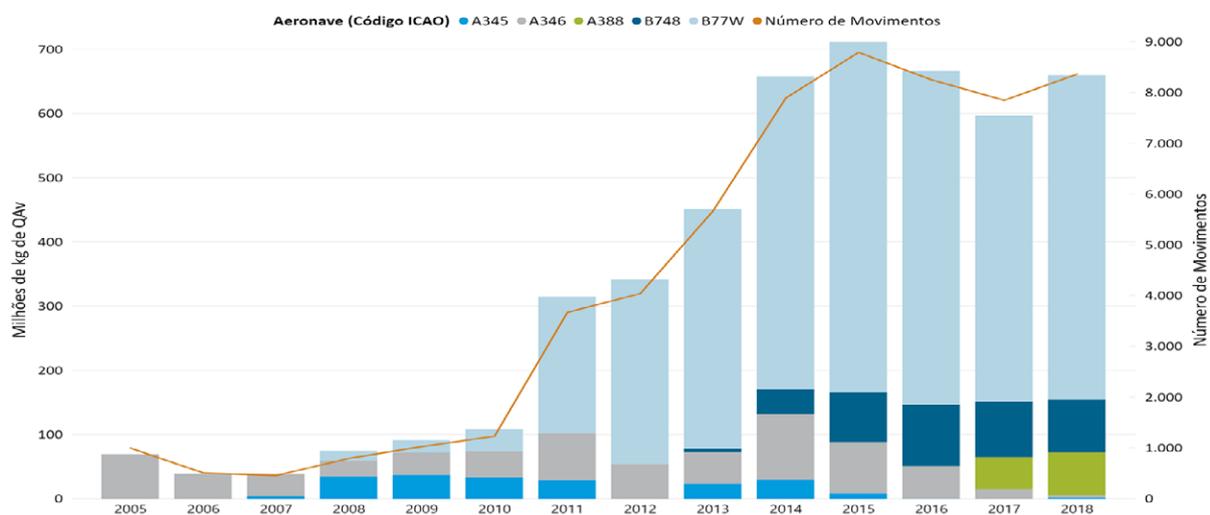
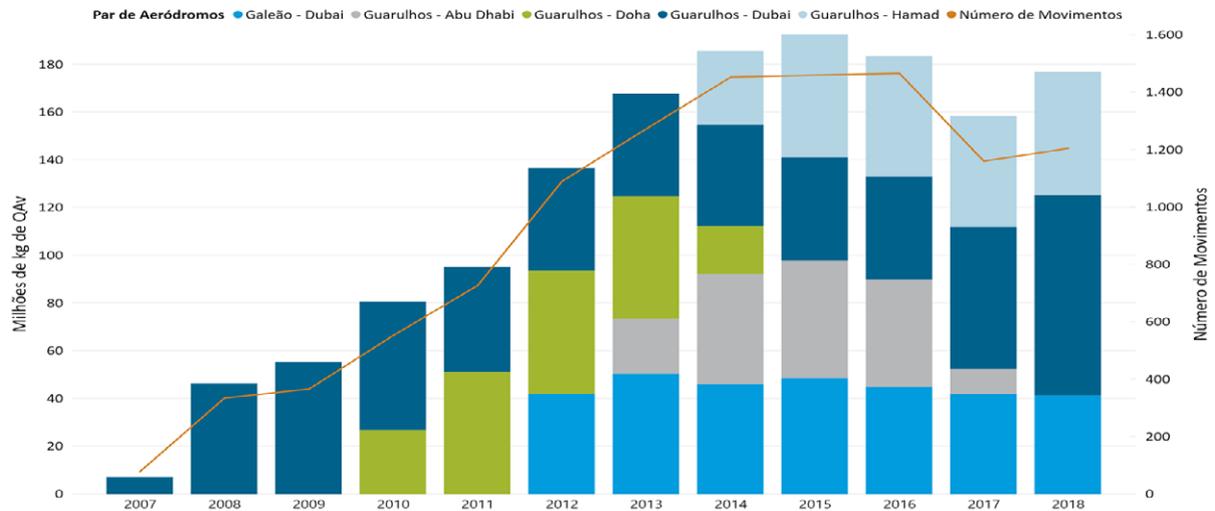
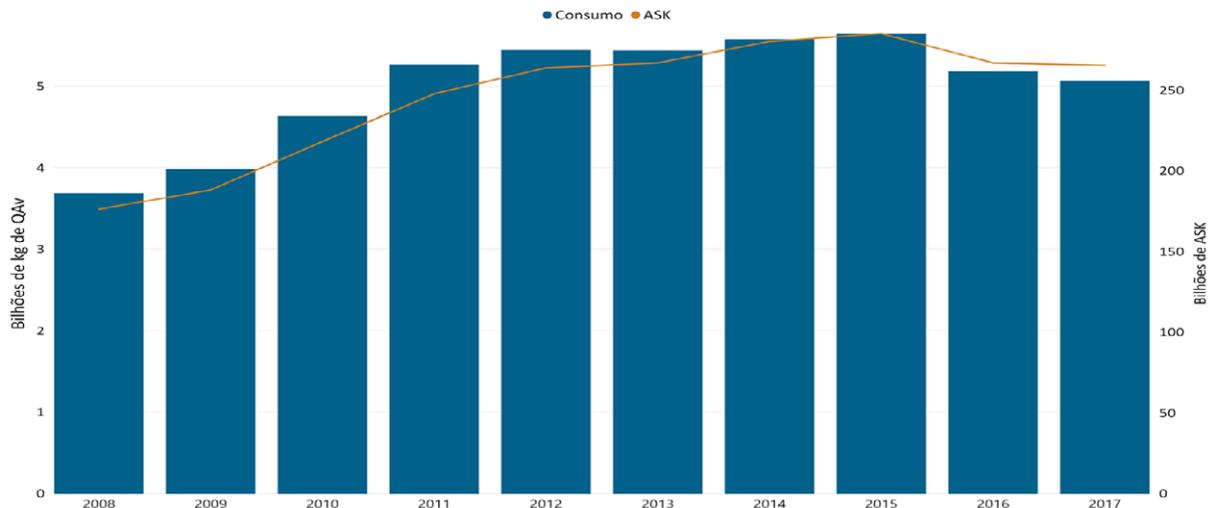


Gráfico 35: Evolução do consumo de querosene de aviação das cinco rotas de maior consumo médio.



Ainda pode-se comprovar essa correlação observando o valor de ASK, que representa a oferta do transporte aéreo de passageiros levando em consideração a quantidade de assentos disponíveis e a distância percorrida, ou seja, considera o porte da aeronave e o tamanho da rota. No Gráfico 36 fica evidente que o consumo de querosene acompanha com certa precisão a variação de ASK.

Gráfico 36: Evolução da oferta do transporte aéreo (ASK) em relação ao consumo de querosene de aviação.





ANAC

AGÊNCIA NACIONAL
DE AVIAÇÃO CIVIL