



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.17.12.05-TDI

**IMPACTO PROVOCADO PELAS CONDIÇÕES  
METEOROLÓGICAS SOBRE A CARGA DE  
TRABALHO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO E  
SOBRE AS EMISSÕES DE CO2 NOS TERMINAIS DE  
SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO**

Adilson Cleómenes Rocha

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pela Dra. Maria Paulete Pereira Martins, aprovada em 19 de junho de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NNAGG5>>

INPE  
São José dos Campos  
2017

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

**Membros:**

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial  
(ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos  
Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.17.12.05-TDI

**IMPACTO PROVOCADO PELAS CONDIÇÕES  
METEOROLÓGICAS SOBRE A CARGA DE  
TRABALHO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO E  
SOBRE AS EMISSÕES DE CO2 NOS TERMINAIS DE  
SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO**

Adilson Cleómenes Rocha

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pela Dra. Maria Paulete Pereira Martins, aprovada em 19 de junho de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NNAGG5>>

INPE  
São José dos Campos  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Rocha, Adilson Cleómenes.

R582i Impacto provocado pelas condições meteorológicas sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego e sobre as emissões de CO2 nos terminais de São Paulo e Rio de Janeiro / Adilson Cleómenes Rocha. – São José dos Campos : INPE, 2017.  
xxviii + 243 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.17.12.05-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.  
Orientadora : Dra. Maria Paulete Pereira Martins.

1. Emissões atmosféricas. 2. Gerenciamento de tráfego aéreo.  
3. Carga de trabalho. 4. Simulação. 5. Inventário de emissões.  
I.Título.

CDU 551.5:347.823.21

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Adilson Cleómenes Rocha**

"IMPACTO PROVOCADO PELAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS SOBRE A CARGA DE TRABALHO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO E SOBRE AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NOS TERMINAIS DE SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Doutor(a)** em  
**Meteorologia**

Dr. Clovis Angeli Sansigolo



---

Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

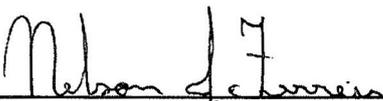
Dra. Maria Paulete Pereira Martins



---

Orientador(a) / INPE / Natal - RN

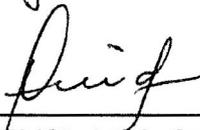
Dr. Nelson Jesus Ferreira



---

Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Cleiton Almeida Ataíde



---

Convidado(a) / ICEA / São José dos Campos - SP

Dr. Alexandre de Barros Barreto



---

Convidado(a) / ICEA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

( ) unanimidade

São José dos Campos, 19 de junho de 2017



## POR SEUS FRUTOS

Nem pelo tamanho.

Nem pela configuração.

Nem pelas ramagens.

Nem pela imponência da copa.

Nem pelos rebentos verdes.

Nem pelas pontas ressequidas.

Nem pelo aspecto brilhante.

Nem pela apresentação desagradável.

Nem pela antiguidade do tronco.

Nem pela fragilidade das folhas.

Nem pela casca rústica ou delicada.

Nem pelas flores perfumadas ou inodoras.

Nem pelo aroma atraente.

Nem pelas emanções repulsivas.

Árvore alguma será conhecida ou amada pelas aparências exteriores, mas sim pelos frutos, pela utilidade, pela produção.

Assim também nosso espírito em plena jornada...

Ninguém que se consagre realmente à verdade dará testemunho de nós pelo que nós parecemos, pela superficialidade de nossa vida, pela epiderme de nossas atitudes ou expressões individuais percebidas ou apreciadas de passagem, mas sim pela substância de nossa colaboração no progresso comum, pela importância de nosso concurso no bem geral.

— "Pelos frutos os conhecereis" — disse o Mestre.

— "Pelas nossas ações seremos conhecidos" — repetiremos nós.

Texto retirado do Livro Fonte Viva.

Autor: Emmanuel, por Francisco Cândido Xavier.



*Dedico este trabalho a minha querida e amada família, Marina, Ariane, Aline e Rafael, a meus amados pais, João e Claudete, e aos amigos da espiritualidade, todos esses abnegados e pacientes companheiros de jornada da vida eterna.*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por permitir e iluminar o meu caminho durante este grande desafio, fato que permitiu o meu crescimento profissional e, principalmente, humano.

A minha família, esposa, filhas e neto, que me deram força, e apoio espiritual.

A meus pais, João e Claudete que sempre me incentivaram.

A minha orientadora, Profa. Dra. Maria Paulete Pereira Martins, pela postura profissional, confiante, serena e amiga, atitudes que tornaram a jornada mais tranquila e segura.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade e pelos mestres que me auxiliaram com ensinamentos oportunos e apropriados.

Aos ex-diretores do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), o Sr Cel Av Paulo Roberto Sigaut Ferraz, o Sr Cel Av Ricardo Barion, e Sr Cel Av Leandro por suas visões de futuro, pelo amplo apoio e autorização para desenvolver esta pesquisa.

A toda a equipe do Laboratório de Pesquisa e Simulação em Tráfego Aéreo do ICEA e, principalmente, ao Maj Esp CTA Alexandre Luiz Dutra Bastos pela enorme contribuição na realização e críticas das simulações de tráfego aéreo realizadas.

À Divisão Operacional do Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), na figura de Ten Cel Av James Souza Short e do Maj Esp Met José Eduardo Gonçalves Platenik, por gentilmente cederem informações operacionais de gerenciamento de tráfego aéreo, fator indispensável e sem as quais este trabalho não conseguiria atingir seu objetivo.

Às secretárias da pós-graduação e ao pessoal da biblioteca do INPE, no período de realização do meu curso, pela disponibilidade e prontidão no auxílio técnico solicitado.

A todos aqueles que contribuíram e/ou torceram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.



## RESUMO

Este trabalho estima o impacto provocado pelas condições meteorológicas sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo e sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, dentro das áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro, em dias específicos de 2014, por meio do emprego do *Total Airspace and Airport Modeller* – TAAM. Ele contribui com informações que servirão de base para o planejamento e a tomada de decisão no contexto do meio ambiente e mudanças climáticas e do transporte aéreo nacional, este em relação à segurança e eficiência operacional. Destaca, ainda, a necessidade de melhorar o gerenciamento do tráfego aéreo com o objetivo de otimizar os custos das empresas aéreas. Foram realizadas oito simulações, com 2.192 voos, utilizando as configurações-padrão do simulador. Em todas elas, foram inseridas somente as regras de tráfego aéreo vigentes em 2014, além das ações de gerenciamento de fluxo empregadas pelo CGNA, em nível nacional, durante a presença das condições meteorológicas significativas. Uma serviu de base, e, em outras sete, foram incluídas condições de mau tempo em dias, horários e setores específicos da TMA-SP e TMA-RJ. Os resultados demonstram como a carga de trabalho dos controladores é impactada pelos movimentos das aeronaves nos setores da TMA-SP e da TMA-RJ em decorrência do mau tempo. Tratando-se de emissões de CO<sub>2</sub>, percebe-se que a presença de condições meteorológicas adversas ao voo provoca um aumento que varia entre 9% e 13%, 8% e 15%, e 9% e 11%, na TMA-SP e na TMA-RJ juntas, somente na TMA-SP, e somente na TMA-RJ, respectivamente. Em termos de quantidade, isso representa valores estimados que variam entre mais de 3.900 toneladas e mais de 4.050 toneladas diárias de CO<sub>2</sub> na área total de estudo. Algumas peculiaridades do trabalho deverão ser levadas em conta por parte dos interessados para o melhor uso das informações presentes nesta tese.

Palavras-chave: Emissões Atmosféricas. Gerenciamento de Tráfego Aéreo. Carga de trabalho. Simulação. Inventário de Emissões.



**IMPACT DUE TO WEATHER CONDITIONS ON THE AIR TRAFFIC  
CONTROLLERS WORKLOAD AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN SÃO PAULO AND  
RIO DE JANEIRO TERMINAL AREAS**

**ABSTRACT**

This work estimates the impact caused by weather conditions on air traffic controllers' workload and CO<sub>2</sub> emissions, in the terminal areas of São Paulo and Rio de Janeiro, on specific days of 2014, through the use of *Total Airspace and Airport Modeller* - TAAM. It contributes with information that will serve as a basis for planning and decision making in the context of the environment and climate change and national air transport, in relation to safety and operational efficiency. It also highlights the need to improve air traffic management to optimize airline costs. Eight simulations, with 2,192 flights, were performed using the simulator's default settings. In all of them, only the air traffic rules that were in effect in 2014 were inserted, in addition to the flow management actions employed by CGNA, at the national level, during the presence of significant meteorological conditions. One of them served as a base, and, in the other seven, bad weather conditions were included in days, times and specific sectors of TMA-SP and TMA-RJ. The results demonstrate how the workload of the controllers is impacted by aircraft movements in the TMA-SP and TMA-RJ sectors due to bad weather. In the case of CO<sub>2</sub> emissions, it can be seen that the presence of adverse weather conditions causes an increase ranging from 9% to 13%, 8% to 15%, and 9% to 11%, in TMA-SP and TMA-RJ together, only TMA-SP, and only TMA-RJ, respectively. In terms of quantities, this represents estimated values ranging from more than 3,900 tonnes to more than 4,050 tonnes of CO<sub>2</sub> per day in the total area of study. Some peculiarities of the work should be taken into account by the interested parties for the best use of the information present in this thesis.

Keywords: Atmospheric emissions. Air Traffic Management. Workload. Simulation. Emissions Inventory.



## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Figura 2.1 – Evolução da quantidade de voos – mercados doméstico e internacional - 2005 a 2014. ....               | 9           |
| Figura 2.2 – Participação dos 20 principais aeroportos na quantidade de decolagens – mercado doméstico, 2014. .... | 10          |
| Figura 2.3 - Divisão do espaço aéreo brasileiro e seus respectivos órgãos de controle regionais. ....              | 11          |
| Figura 2.4 – Espaços aéreos controlados e controles do espaço aéreo. ....  | 13          |
| Figura 2.5 – Áreas de controle terminais de São Paulo e do Rio de Janeiro. ...                                     | 14          |
| Figura 2.6 – Aspectos relacionados à carga de trabalho dos ATCOs. ....   | 20          |
| Figura 2.7 – Fatores relacionados à carga de trabalho dos ATCOs. ....  | 21          |
| Figura 3.1 – Emissões de aeronaves .....   | 23          |
| Figura 3.2 – Fases do voo. ....  | 23          |
| Figura 3.3 – Ciclo LTO. ....   | 24          |
| Figura 3.4 - Principais emissões derivadas da aviação e seus respectivos processos. ....                           | 28          |
| Figura 3.5 – Incertezas na quantificação das emissões. ....  | 33          |
| Figura 4.1 – Microburst ou downdraft. ....   | 38          |
| Figura 4.2 – Visibilidade aeronáutica. ....  | 41          |
| Figura 4.3 – Formação de gelo em aeronaves. ....   | 43          |
| Figura 4.4 – Intensidade da formação de gelo .....   | 44          |
| Figura 4.5 – Características de uma microexplosão. ....  | 47          |
| Figura 4.6 – Técnicas de voo nas proximidades de nuvens cumulonimbus (Cb).<br>.....                                | 48          |
| Figura 4.7 – Perigos do voo através de nuvens de cinzas vulcânicas. ....   | 50          |
| Figura 4.8 – Formação de Linha de Instabilidade frontal. ....  | 56          |
| Figura 5.1 – Diagrama sequencial dos passos idealizados para simulações realizadas no TAAM. ....                   | 75          |
| Figura 7.1 – Área de estudo. ....  | 81          |
| Figura 7.2 – Setores da Área de Controle Terminal de São Paulo (TMA-SP)..  | 81          |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.3 – Setores da Área de Controle Terminal do Rio de Janeiro (TMA-RJ).....                            | 82  |
| Figura 7.4 – Situação sinótica dos sete dias com os maiores atrasos no tráfego aéreo nacional, em 2014. .... | 83  |
| Figura 8.1 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01, por rodada por hora, em minutos.....          | 101 |
| Figura 8.2 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01 Alto, por rodada por hora, em minutos.....     | 102 |
| Figura 8.3 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-02, por rodada por hora, em minutos.....          | 103 |
| Figura 8.4 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-03, por rodada por hora, em minutos.....          | 103 |
| Figura 8.5 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-04, por rodada por hora, em minutos.....          | 104 |
| Figura 8.6 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-05, por rodada por hora, em minutos.....          | 105 |
| Figura 8.7 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-06, por rodada por hora, em minutos.....          | 105 |
| Figura 8.8 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-07 Baixo, por rodada por hora, em minutos.....    | 108 |
| Figura 8.9 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-07, por rodada por hora, em minutos.....          | 109 |
| Figura 8.10 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-08, por rodada por hora, em minutos.....         | 110 |
| Figura 8.11 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-09 GR, por rodada por hora, em minutos.....      | 111 |
| Figura 8.12 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-10 SP, por rodada por hora, em minutos.....      | 114 |
| Figura 8.13 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01, por rodada por hora, em minutos.....         | 116 |
| Figura 8.14 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-12 SJ, por rodada por hora, em minutos.....      | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 8.15 – Estimativa da carga de trabalho nas oito rodadas de simulação nos setores da TMA-SP, em minutos. .... | 119 |
| Figura 8.16 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-01, por rodada por hora, em minutos. ....                     | 122 |
| Figura 8.17 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-02, por rodada por hora, em minutos. ....                     | 122 |
| Figura 8.18 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-03, por rodada por hora, em minutos. ....                     | 124 |
| Figura 8.19 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-04, por rodada por hora, em minutos. ....                     | 124 |
| Figura 8.20 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-05, por rodada por hora, em minutos. ....                     | 125 |
| Figura 8.21 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-06 GL, por rodada por hora, em minutos. ....                  | 126 |
| Figura 8.22 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-07 RJ, por rodada por hora, em minutos. ....                  | 127 |
| Figura 8.23 – Estimativa da carga de trabalho nas oito rodadas de simulação nos setores da TMA-RJ, em minutos. .... | 129 |
| Figura 8.24 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-01. ....  | 131 |
| Figura 8.25 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-01 Alto. ....   | 132 |
| Figura 8.26 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-02. ....  | 133 |
| Figura 8.27 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-03. ....  | 133 |
| Figura 8.28 – variação da quantidade de emissão no setor SP-04. ....  | 134 |
| Figura 8.29 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-05. ....  | 134 |
| Figura 8.30 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-06. ....  | 135 |
| Figura 8.31 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-07 Baixo. ....  | 136 |
| Figura 8.32 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-07. ....  | 136 |
| Figura 8.33 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-08. ....  | 137 |
| Figura 8.34 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-09 GR. ....   | 138 |
| Figura 8.35 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-10 SP. ....   | 138 |
| Figura 8.36 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-11 KP. ....   | 139 |
| Figura 8.37 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-12 SJ. ....   | 140 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 8.38 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-01.....       | 145 |
| Figura 8.39 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-02.....       | 145 |
| Figura 8.40 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-03.....       | 146 |
| Figura 8.41 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-04.....       | 147 |
| Figura 8.42 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-05.....       | 147 |
| Figura 8.43 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-06 GL.....    | 148 |
| Figura 8.44 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-07 RJ.....    | 149 |
| Figura 8.45 – Total de emissões de CO <sub>2</sub> na área de estudo..... | 154 |
| Figura 8.46 – Total de emissões de CO <sub>2</sub> na TMA-SP.....         | 155 |
| Figura 8.47 – Total de emissões de CO <sub>2</sub> na TMA-RJ.....         | 156 |

## LISTA DE TABELAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Tabela 3.1 - Resumo dos dados de entrada necessários para os três tipos de metodologia de inventários.....   | 31          |
| Tabela 6.1 – Pesquisas realizadas considerando um ou mais parâmetros que definem a capacidade de um Sistema ATM segundo DECEA (2010).<br>.....           | 77          |
| Tabela 7.1 – Sete dias de maiores atrasos nas operações de pouso e decolagem nos aeroportos nacionais sob a coordenação do CGNA, em 2014. ....           | 80          |
| Tabela 7.2 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 24/01/2014. .... | 84          |
| Tabela 7.3 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 25/01/2014. .... | 85          |
| Tabela 7.4 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 28/02/2014. .... | 86          |
| Tabela 7.5 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 15/04/2014. .... | 87          |
| Tabela 7.6 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 28/06/2014. .... | 88          |
| Tabela 7.7 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 17/12/2014. .... | 89          |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 7.8 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 23/12/2014. .... | 90  |
| Tabela 7.9 – Limites verticais da atmosfera considerados na configuração do TAAM para os setores das TMA-SP e TMA-RJ. ....                               | 94  |
| Tabela 7.10 - Limites verticais da atmosfera considerados para os resultados deste trabalho.....   | 94  |
| Tabela 8.1 – Descrição da carga de trabalho.....   | 97  |
| Tabela 8.2 – Resultado da carga de trabalho total diária executada nos setores da TMA-SP, em minutos. ....   | 98  |
| Tabela 8.3 – Estimativa da variação da carga de trabalho total diária nos setores da TMA-SP, em minutos.....   | 99  |
| Tabela 8.4 – Resultado da carga de trabalho total diária estimada nos setores da TMA-RJ, em minutos.....   | 120 |
| Tabela 8.5 – Estimativa da variação da carga de trabalho total diária nos setores da TMA-RJ, em minutos. ....  | 121 |
| Tabela 8.6 – Estimativas de emissões de CO <sub>2</sub> em cada setor da TMA-SP, por rodada. ....  | 131 |
| Tabela 8.7 – Número de aeronaves estimadas por setor da TMA-SP, por rodada, por dia. ....  | 131 |
| Tabela 8.8 – Variação na quantidade estimada de emissões de CO <sub>2</sub> , por rodada, na TMA-SP.....   | 140 |
| Tabela 8.9 – Variação no número de aeronaves por setor, por rodada, na TMA-SP (em %). ....   | 141 |
| Tabela 8.10 – Coeficiente de correlação de Pearson para a TMA-SP.....  | 142 |
| Tabela 8.11 – Estimativas de emissões de CO <sub>2</sub> em cada setor da TMA-RJ, por rodada. ....   | 144 |
| Tabela 8.12 – Número de aeronaves estimadas por setor, por rodada, por dia. ....   | 144 |
| Tabela 8.13 – Variação no número de aeronaves por setor da TMA-RJ, por rodada (em %). ....   | 149 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 8.14 – Variação na quantidade estimada de emissões de CO <sub>2</sub> , por rodada, na TMA-RJ. .... | 150 |
| Tabela 8.15 – Coeficiente de correlação de Pearson para a TMA-RJ. ....                                     | 151 |



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| ANAC            | - | Agência Nacional de Aviação Civil  |
| APP             | - | <i>Approach Control</i>  |
| ATC             | - | Controle de Tráfego Aéreo ( <i>Air Traffic Control</i> )                       |
| ATCO            | - | Controlador de Tráfego Aéreo ( <i>Air Traffic Controller</i> )                 |
| ATFM            | - | Gerenciamento de Fluxo do Tráfego Aéreo ( <i>Air Traffic Flow Management</i> ) |
| ATS             | - | Serviço de Tráfego Aéreo ( <i>Air Traffic Service</i> )                        |
| CCD             | - | <i>Climb/Cruise/Descent</i>  |
| CCM             | - | Complexos Convectivos de Mesoescala  |
| CINDACTA        | - | Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo                 |
| CGNA            | - | Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea                                     |
| CO              | - | Monóxido de Carbono  |
| CO <sub>2</sub> | - | Dióxido de Carbono   |
| COV             | - | Compostos Orgânicos Voláteis   |
| DECEA           | - | Departamento de Controle do Espaço Aéreo                                       |
| FIFA            | - | <i>Fédération Internationale de Football Association</i>                       |
| FIR             | - | <i>Flight Information Region</i>   |
| ICAO            | - | <i>International Civil Aviation Organization</i>                               |
| HNQ             | - | Hidrocarbonetos não Queimados  |
| LI              | - | Linhas de Instabilidades   |
| LTO             | - | <i>Landing and Take Off</i>  |
| MCT             | - | Ministério da Ciência e Tecnologia   |
| NO <sub>x</sub> | - | Óxidos de Nitrogênio   |
| OACI            | - | Organização de Aviação Civil Internacional                                     |
| RDSO            | - | Relatórios Diários de Situação Operacional                                     |
| RPL             | - | <i>Repetitive Flight Planning</i>  |
| SID             | - | Decolagem Padrão por Instrumento ( <i>Standard Instrument Departure</i> )      |
| SISCEAB         | - | Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro                                 |

|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| SO <sub>2</sub> | - | Dióxido de Enxofre  |
| SRPV            | - | Serviço Regional de Proteção ao Voo   |
| STAR            | - | Rota Padrão de Chegada em Terminal ( <i>Standard Terminal Arrival Route</i> ) |
| TAAM            | - | <i>Total Airspace and Airport Modeller</i>                                    |
| TMA             | - | Área de Controle Terminal ( <i>Terminal Area</i> )                            |
| ZCAS            | - | Zonas de Convergência do Atlântico Sul  |
| ZCOU            | - | Zonas de Convergência de Umidade  |

## SUMÁRIO

|        | <u>Pág.</u>  |
|--------|--|
| 1      | INTRODUÇÃO ..... 1   |
| 1.1.   | Motivação ..... 1  |
| 1.2.   | Importância do Trabalho..... 3                                     |
| 1.3.   | Benefícios Potenciais do Trabalho ..... 4                          |
| 1.4.   | Hipótese da Pesquisa..... 5  |
| 1.5.   | Objetivos ..... 5  |
| 1.6.   | Estrutura do Trabalho..... 6                                       |
| 2      | GERENCIAMENTO E CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO ..... 9                   |
| 2.1.   | Contextualização ..... 9   |
| 2.2.   | O Tráfego Aéreo no Brasil ..... 10                                 |
| 2.3.   | Controle do Tráfego Aéreo no Brasil ..... 12                       |
| 2.4.   | Gerenciamento do Tráfego Aéreo no Brasil ..... 15                  |
| 2.5.   | Carga de Trabalho dos Controladores ..... 17                       |
| 3      | EMISSIONES POR AERONAVES..... 23                                   |
| 3.1.   | Contextualização ..... 23  |
| 3.2.   | Emissões Locais..... 24  |
| 3.3.   | Emissões em Rota ..... 27  |
| 3.4.   | Inventários de Emissões da Aviação..... 30                         |
| 3.5.   | Incertezas..... 32   |
| 4      | INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA AVIAÇÃO ..... 35        |
| 4.1.   | Contextualização ..... 35  |
| 4.2.   | Parâmetros Meteorológicos e seus Impactos sobre a Aviação ..... 36 |
| 4.2.1. | Turbulência/cisalhamento do vento ..... 36                         |
| 4.2.2. | Teto baixo e/ou visibilidade restrita ..... 38                     |
| 4.2.3. | Formação de gelo..... 42   |
| 4.2.4. | Nuvens cumulonimbus e trovoadas ..... 45                           |
| 4.2.5. | Cinzas vulcânicas..... 49  |
| 4.3.   | Condições Meteorológicas e Gerenciamento do Tráfego Aéreo ..... 50 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.4.    | Fenômenos Meteorológicos na Área de Estudo.....                | 53  |
| 5       | SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO AÉREO.....                                | 59  |
| 5.1.    | Contextualização .....   | 59  |
| 5.2.    | Simulações de Tráfego Aéreo .....                              | 60  |
| 5.2.1.  | Tipos de modelos de simulação .....                            | 60  |
| 5.2.2.  | Métodos de simulações.....                                     | 62  |
| 5.2.3.  | Modelos de simulação de tráfego aéreo.....                     | 63  |
| 5.2.4.  | Vantagens e desvantagens das simulações .....                  | 64  |
| 5.2.5.  | Revisão da literatura.....                                     | 66  |
| 5.3.    | O Total Airspace and Airport Modeller (TAAM) .....             | 68  |
| 5.3.1.  | Funcionalidades .....  | 69  |
| 5.3.2   | Estrutura e componentes .....                                  | 70  |
| 5.3.3   | Simulações.....  | 73  |
| 5.3.4   | Limitações .....   | 76  |
| 6       | CONTRIBUIÇÃO DESTE TRABALHO.....                               | 77  |
| 7       | DADOS E METODOLOGIA DE TRABALHO .....                          | 79  |
| 7.1     | Os Dados Utilizados .....                                      | 79  |
| 7.1.1   | Tráfego aéreo.....   | 79  |
| 7.1.2   | Relatórios Diários de Situação Operacional (RDSO) .....        | 79  |
| 7.1.3   | A configuração do TAAM.....                                    | 80  |
| 7.1.4   | Área de estudo .....   | 81  |
| 7.1.5   | Condições meteorológicas predominantes na área de estudo ..... | 82  |
| 7.2     | Metodologia de Produção dos Resultados .....                   | 90  |
| 8       | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                    | 97  |
| 8.1     | Variação da Carga de Trabalho dos Controladores .....          | 97  |
| 8.1.1   | TMA-SP.....  | 97  |
| 8.1.1.1 | Carga de trabalho diária total por rodada e por setor .....    | 98  |
| 8.1.1.2 | Carga de trabalho por rodada por hora do dia .....             | 101 |
| 8.1.1.3 | Carga de trabalho por setor e por hora do dia.....             | 117 |
| 8.1.2   | TMA-RJ .....   | 120 |
| 8.1.2.1 | Carga de trabalho diária total por rodada e por setor.....     | 120 |
| 8.1.2.2 | Carga de trabalho por rodada por hora do dia .....             | 122 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 8.1.2.3 | Carga de trabalho por setor e por hora do dia.....   | 128 |
| 8.2     | Estimativa das Emissões de CO <sub>2</sub> .....   | 130 |
| 8.2.1   | TMA-SP .....   | 130 |
| 8.2.2   | TMA-RJ .....   | 143 |
| 8.2.3   | Discussão geral sobre as emissões de CO <sub>2</sub> .....   | 152 |
| 8.3     | Discussão sobre os Dados, Simulação e Procedimentos .....  | 157 |
| 8.4     | Particularidades do Trabalho.....  | 158 |
| 9       | CONCLUSÕES .....   | 161 |
| 10      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....  | 167 |
|         | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 169 |
|         | APÊNDICE A – Imagens de Radar de São Roque .....   | 181 |
|         | APÊNDICE B – Imagens de Radar do Pico do Couto.....  | 189 |
|         | APÊNDICE C – Imagens de Satélite da Região Sudeste .....   | 195 |
|         | APÊNDICE D – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos ....   | 203 |
|         | APÊNDICE E – Carga de trabalho e número de aeronaves por setor, por hora –<br>TAAM. Cada 2.000 pontos corresponde a 1 min..... | 211 |



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1. Motivação**

A Organização de Aviação Civil Internacional – OACI (International Civil Aviation Organization – ICAO) possui cinco objetivos estratégicos: melhorar a segurança dos processos que compõem a aviação civil global; aumentar a capacidade do sistema global de aviação civil, bem como melhorar sua eficiência; minimizar os efeitos ambientais adversos derivados das atividades da aviação civil; promover o desenvolvimento de um sistema robusto e economicamente viável para o transporte aéreo; e melhorar as condições de segurança física e as facilidades existentes no contexto da aviação civil global (ICAO, 2017).

No âmbito operacional, a busca pela melhoria dos processos e pelo aumento da capacidade e eficiência do sistema que compõe a aviação civil perpassa pela identificação e compreensão dos fatores intervenientes a esse contexto sistêmico. A mitigação dos efeitos ambientais adversos, derivados dessas atividades, bem como a promoção da melhoria, robustez e viabilidade do sistema, depende de ações intimamente relacionadas aos potenciais problemas encontrados.

No contexto acadêmico internacional, as pesquisas buscam a manutenção ou o aumento da capacidade do espaço aéreo por meio da criação de algoritmos capazes de definir e automatizar procedimentos que relacionam condições meteorológicas adversas à capacidade do espaço aéreo, no intuito de mitigar possíveis sobrecargas laborais e melhorar o trânsito das aeronaves em regiões de interesse. No que tange às emissões atmosféricas advindas desses equipamentos, o estudo aprofundado da interferência dos compostos químicos no balanço radiativo da atmosfera é o foco da preocupação atual. Isso ocorre tendo em vista os possíveis efeitos climáticos globais, regionais e locais produzidos. Sabe-se que, apesar de a quantidade de emissões em voo ser relativamente pequena quando comparada a outras fontes antrópicas, a maior

parte das emissões ocorre em uma região relativamente estável, na média e alta troposfera, sendo as aeronaves as únicas fontes presentes nessa região.

No aspecto nacional, as pesquisas também têm buscado informações que promovam uma melhoria nos procedimentos relacionados à capacidade do espaço aéreo. Nesses casos, elas consideram as taxas de transferência de tráfego, determinadas pela geometria de um setor, restrições operacionais, e questões relacionadas aos fatores humanos, estes estabelecidos principalmente por parâmetros de carga de trabalho (BAUM; MULLER, 2008; TEIXEIRA, 2007; OLIVEIRA; AIRES, 2007). Sob o ponto de vista ambiental, os trabalhos realizados por Rocha (2012a), Brito e Sousa Junior (2009), e Araújo (2008) estimam as quantidades de emissões realizadas pela aviação, sendo eles casos raros nessa temática no Brasil. Registra-se que essas pesquisas nacionais não consideram nos resultados a presença de mau tempo como fator contribuinte para a disponibilidade ou indisponibilidade do espaço aéreo e os possíveis impactos ocasionados ao meio ambiente.

Sabe-se que as condições adversas de tempo inserem características no espaço aéreo que imprimem a essa região rápidas mudanças nas condições operacionais num curto espaço de tempo (CONSIGLIO et al., 2011). Isso gera um grande desafio ao sistema de gerenciamento de tráfego aéreo, pois as decisões táticas, tomadas para equilibrar a demanda de voo à capacidade, podem promover alterações na complexidade do espaço aéreo local, modificando a trajetória das aeronaves e, conseqüentemente, a carga de trabalho dos controladores e as emissões de compostos químicos derivados da queima de combustível fóssil. Nesse contexto, esta pesquisa procura contribuir com informações para diminuir o tamanho da lacuna de conhecimento sobre esse assunto.

Quando se foca na região de estudo desta tese, percebe-se que ela apresenta características únicas no âmbito nacional. Por estar entre a região dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, é a que possui a maior densidade demográfica e o maior índice de urbanização do país. Essa região é a principal responsável pela geração de riquezas econômicas, relacionadas a atividades industriais,

bancos, mercado de capitais, empresas nacionais e multinacionais etc. Quanto ao clima, ele varia entre o tropical úmido e tropical semiúmido (FRANCISCO, 2017).

O turismo também é uma fonte de movimentação econômico-financeira e, conseqüentemente, de aporte de pessoas para essa região. O Rio de Janeiro, com suas belas paisagens e movimentos culturais, e São Paulo, com o seu potencial urbano, financeiro, hoteleiro e de entretenimento, movimentam fortemente a economia nacional. Em decorrência disso e do movimento aéreo associado a essa realidade, Rocha (2012a) identificou que essa região apresenta as maiores taxas de emissão de poluentes derivados do transporte aéreo civil regular.

Em atenção a esses fatos, esta tese é motivada pela necessidade de obter informações que atendam à maioria dos objetivos estratégicos da OACI, além de fechar uma lacuna no conhecimento sobre o comportamento do tráfego aéreo e seu conseqüente impacto sobre a carga de trabalho do controlador e as emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub>, quando em presença de fatores intervenientes ao sistema – no caso em questão, as condições meteorológicas adversas.

## **1.2. Importância do Trabalho**

Entende-se que a importância deste trabalho está diretamente relacionada à necessidade de melhor avaliar o impacto simulado que a presença de mau tempo tem sobre a capacidade operacional de alguns órgãos de tráfego aéreo em uma região estratégica do país. Com os resultados obtidos, será possível identificar e empregar medidas de gerenciamento de fluxo capazes de melhorar o balanceamento entre a demanda de tráfego e as capacidades do espaço aéreo. Além disso, permitirá arbitrar sobre medidas que consigam solucionar, de forma preventiva, possíveis saturações e congestionamentos em setores onde o controle do espaço aéreo é fator limitante. As informações obtidas neste trabalho também servem de referência para compor ações de monitoramento da segurança do espaço aéreo, em conformidade com os padrões

estabelecidos pela OACI. Todos esses princípios estão de acordo com o DECEA (2010).

Além disso, levando-se em conta o contexto de elevação das emissões da aviação nas últimas décadas, Lee et al. (2005) destacam que os impactos provocados por essa fonte antrópica sobre o clima têm sido investigados com foco na forçante radiativa (Radiative Forcing – RF), a partir de alterações químicas e físicas na atmosfera terrestre. Sabe-se que as emissões de aeronaves afetam positivamente a RF a partir do CO<sub>2</sub>. Dessa forma, entende-se que as informações obtidas sobre o acréscimo da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera poderão compor o Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa e auxiliar em diversos estudos sobre forçante radiativa e mudanças climáticas globais, regionais e locais.

### **1.3. Benefícios Potenciais do Trabalho**

Os resultados encontrados nesta pesquisa poderão propiciar os seguintes benefícios:

- a) Compreensão e formalização da influência das condições meteorológicas sobre o gerenciamento da navegação aérea e emissões de gás carbônico da aviação;
- b) Contribuir com informações que permitam a adoção de ações estratégicas para minimizar os impactos operacionais no ATS;
- c) Motivar a produção de estudos relacionados à Forçante Radiativa e a mudanças climáticas a partir das informações de emissões produzidas por aeronaves;
- d) Possibilitar a identificação de regiões com potenciais problemas ambientais e de saúde, possivelmente vinculadas às emissões da aviação; e
- e) Possibilitar a adoção de ações políticas ambientais com o objetivo de mitigar prejuízos na região de estudo, possivelmente vinculadas às emissões da aviação.

#### **1.4. Hipótese da Pesquisa**

Considerando a importância dos resultados para as atividades de gerenciamento do transporte aéreo, para a gestão de emissões atmosféricas e para os estudos climáticos, esta tese considera como hipótese de trabalho que as condições meteorológicas adversas aumentam a carga de trabalho dos controladores e as emissões de CO<sub>2</sub>, dentro das áreas de terminais de São Paulo e Rio de Janeiro.

#### **1.5. Objetivos**

Considerando o exposto no item anterior, o objetivo geral deste trabalho é estimar, por meio do simulador TAAM, o impacto provocado pelas condições meteorológicas sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo e sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, dentro das áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro, em dias específicos de 2014.

Para atingir tal proposição, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- a) Identificar os sete dias em que houve os maiores atrasos na malha aérea nacional;
- b) Identificar e registrar as condições meteorológicas presentes nos dias em que ocorreram os maiores atrasos na malha aérea nacional;
- c) Coletar os dados que representem os voos da malha aérea em um período do ano estipulado;
- d) Realizar uma simulação completa do tráfego aéreo nacional ideal, sem quaisquer interferências, inoperâncias de meios de suporte técnico/operacional, nem a presença de condições meteorológicas adversas;
- e) Realizar as simulações completas do tráfego aéreo nacional para os sete dias em que houve os maiores atrasos na malha aérea nacional, considerando somente a presença de condições meteorológicas adversas existentes;

- f) Avaliar e discutir os resultados dos impactos provocados pelo mau tempo sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo e sobre as emissões de CO<sub>2</sub> nas áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro; e
- g) Concluir sobre o impacto identificado.

## **1.6. Estrutura do Trabalho**

Esta tese foi desenvolvida com base no referencial teórico descrito entre os capítulos 2 e 5. O Capítulo 2 apresenta os parâmetros-base para a realização do gerenciamento e controle do tráfego aéreo nacional, com ênfase em aspectos relativos à carga de trabalho dos controladores. O Capítulo 3 discorre sobre as características e os impactos produzidos pela dispersão de poluentes derivados da aviação. Destaca a importância da realização de inventários de emissões produzidas pelas aeronaves e as incertezas que acompanham tal iniciativa. O Capítulo 4 trata das condições meteorológicas de tempo que afetam as operações aéreas, caracterizando os parâmetros meteorológicos mais relevantes e que podem provocar impactos sobre a operação e navegação aérea. Além disso, destaca a interferência das condições meteorológicas sobre as ações de gerenciamento de tráfego aéreo. Nele também se identificam os principais fenômenos meteorológicos que atuam na área de estudo deste trabalho. A base teórica de apoio para a realização desta tese se encerra no Capítulo 5, com a caracterização e a importância do emprego de simulações e simuladores de tráfego aéreo, dentre eles o uso do TAAM.

No Capítulo 6, são abordados os aspectos relacionados aos dados e à metodologia empregada para a obtenção dos resultados. Nele é possível encontrar a descrição, origem e confiabilidade da base de dados empregada, além das condições meteorológicas presentes nos dias utilizados nas simulações. São apresentados ainda os setores avaliados no trabalho e como os resultados foram obtidos por meio da configuração utilizada nas simulações.

O Capítulo 7 é reservado para a apresentação dos resultados e discussão. O impacto da presença das condições meteorológicas adversas em dias específicos de 2014 sobre a carga de trabalho do controlador e sobre as emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> é avaliado, discutido e descrito tomando em conta a área total do estudo e as áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro, estas de modo distinto.

A conclusão sobre os achados da pesquisa e a proposta de trabalhos futuros podem ser encontradas nos Capítulos 8 e 9, respectivamente. Essas informações agregam valor indispensável ao assunto proposto nesta tese.

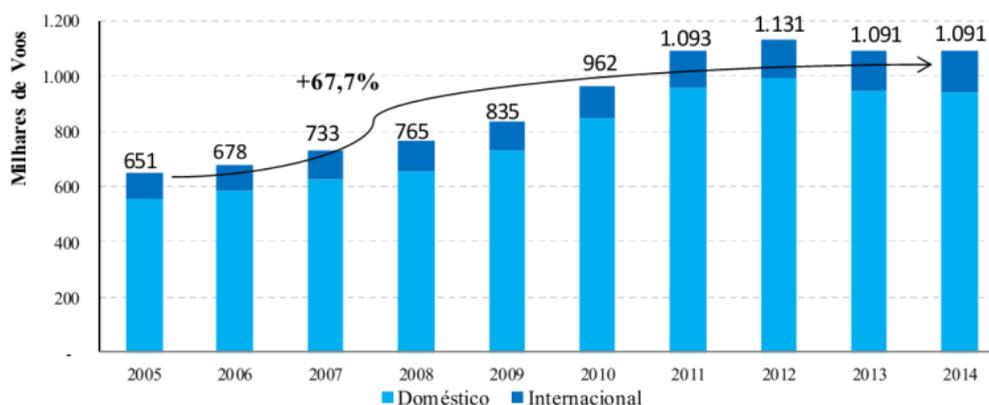


## 2 GERENCIAMENTO E CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO

### 2.1. Contextualização

O ano de 2014 foi atípico para o cenário do transporte aéreo nacional. Nele, pode-se destacar a realização da Copa do Mundo da FIFA, as eleições presidenciais e a desaceleração das atividades econômicas. Mesmo assim, o transporte aéreo realizou o número recorde de 117 milhões de passageiros pagantes, tendo sido 95,9 milhões em voos domésticos e 21,3 milhões em voos internacionais. Assim, o setor incluiu mais de 68 milhões de passageiros no período de 2005 a 2014. Quando se leva em conta a evolução da demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros e do mercado internacional para voos com origem ou destino no Brasil, verifica-se que a primeira mais que dobrou e a segunda quase duplicou entre os anos citados. O crescimento médio desses dois mercados foi de 11,3% e 7,9% ao ano, respectivamente (ANAC, 2014a). Observando-se a Figura 2.1, é possível perceber a tendência no aumento desses valores.

Figura 2.1 – Evolução da quantidade de voos – mercados doméstico e internacional - 2005 a 2014.

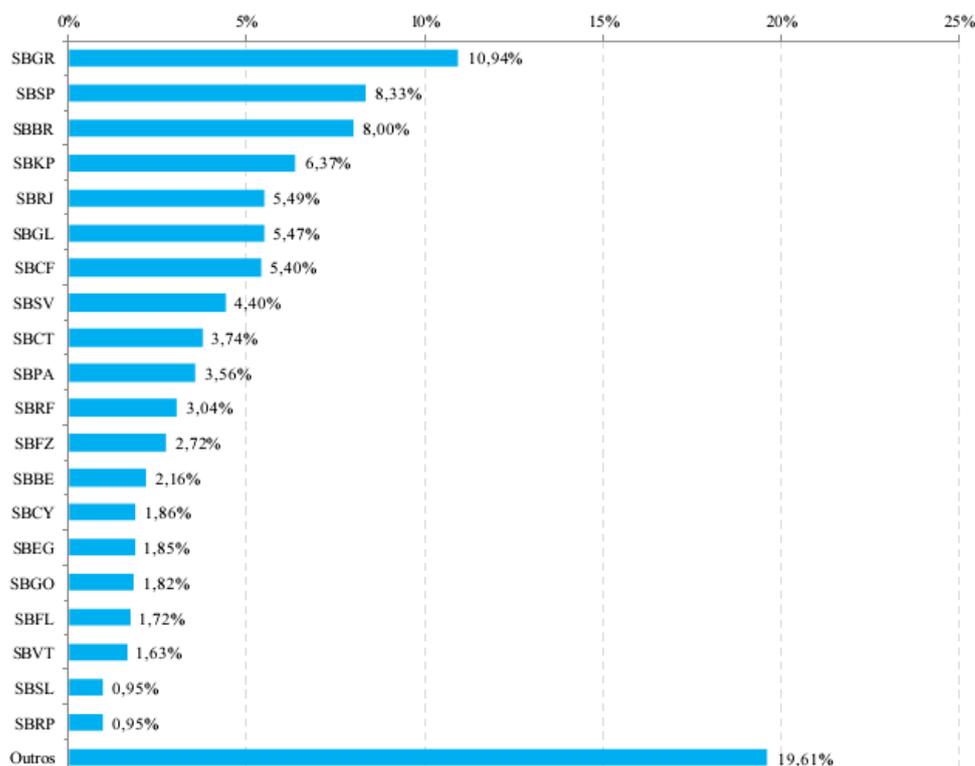


Fonte: ANAC (2014a).

Quando se considera o movimento de decolagens domésticas, descrito na Figura 2.2, verifica-se que os cinco aeroportos inseridos na área de estudo deste trabalho (Guarulhos – SBGR, Congonhas – SBSP, Campinas – SBKP, Galeão – SBGL, e Santos Dumont – SBRJ) contribuem com 36,6% do total, em um país de dimensão continental como o Brasil. Nesse contexto, vale destacar

a importância da realização de pesquisas sobre as diversas atividades associadas ao transporte aéreo na TMA-SP e TMA-RJ, região estratégica para o país.

Figura 2.2 – Participação dos 20 principais aeroportos na quantidade de decolagens – mercado doméstico, 2014.



Fonte: ANAC (2014a).

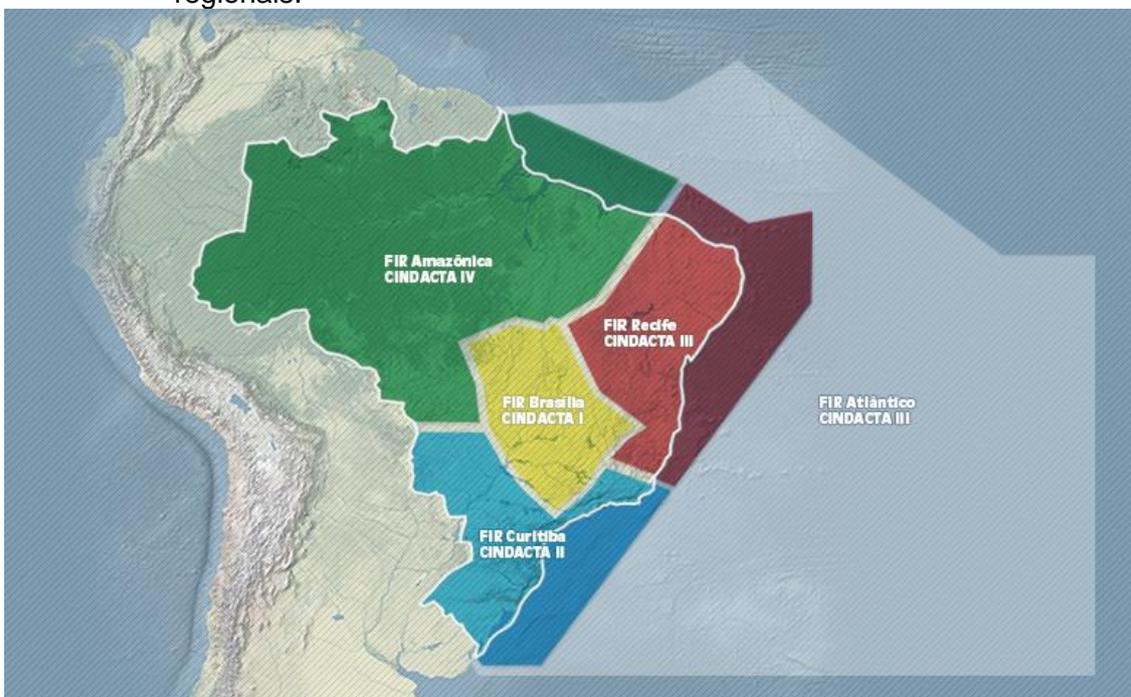
## 2.2. O Tráfego Aéreo no Brasil

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é a autoridade nacional subordinada ao Comando da Aeronáutica que, por atribuição legal, planeja, gerencia, monitora e controla todas as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento, além de promover as telecomunicações, no contexto do Comando da Aeronáutica. É quem viabiliza, ordena, promove o fluxo seguro e eficaz dos voos no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro – SISCEAB (DECEA, 2016a).

Uma área superior a 22 milhões de quilômetros quadrados sofre vigilância contínua e diuturna pelo DECEA, no que diz respeito ao processo de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo. Quatro grandes “bases” operacionais fazem esse trabalho: os Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA). Além dessas organizações militares, o Serviço Regional de Proteção ao Voo de São Paulo (SRPV-SP) é responsável pelo serviço de controle ao longo das áreas terminais entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, onde existe o maior tráfego aéreo do país. Para assegurar o equilíbrio entre a capacidade e a demanda em aeródromos e setores onde os voos são controlados, o DECEA criou o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea – CGNA (DECEA, 2016a).

As figuras 2.3 e 2.5 esquematizam a região de responsabilidade dos CINDACTA e do SRPV-SP, respectivamente, em relação à prestação de serviços de controle da navegação aérea nacional. O CGNA é o responsável por ordenar os fluxos e manter as capacidades do espaço aéreo em toda essa região.

Figura 2.3 - Divisão do espaço aéreo brasileiro e seus respectivos órgãos de controle regionais.



Fonte: DECEA (2016a).

### **2.3. Controle do Tráfego Aéreo no Brasil**

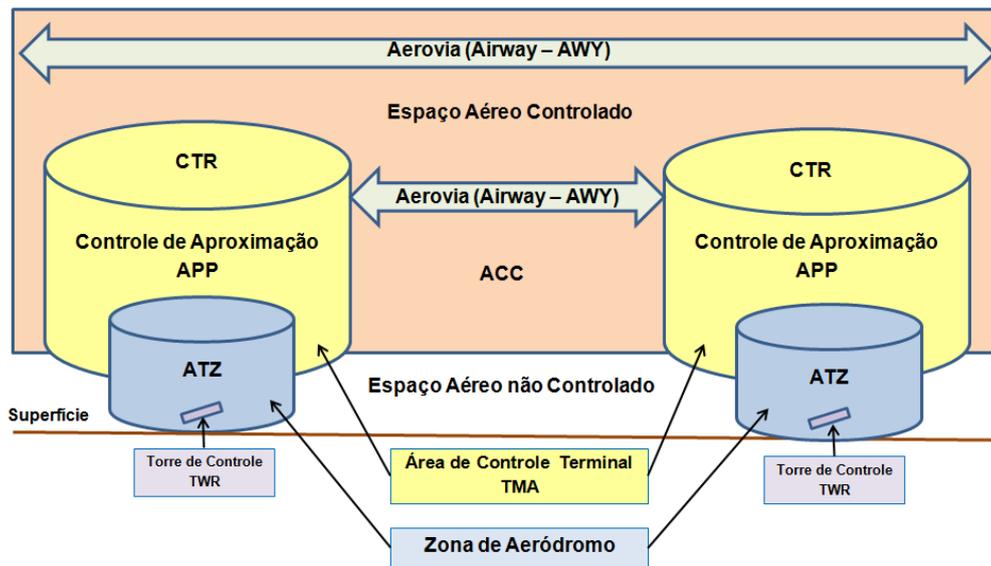
No espaço aéreo de responsabilidade do Brasil, ocorrem diuturnamente voos comerciais, militares e de aviação geral. Além disso, também estão presentes vários outros eventos que ocupam o espaço aéreo, tais como lançamentos de foguetes e sondas, paraquedismos, voos de asa delta etc. A análise detalhada desses eventos e de sua convivência concomitante tem por objetivo estabelecer estruturas, procedimentos e regras para uma demanda preestabelecida e futura dessas condições. Assim, é possível adotar ações adequadas para cada tipo de usuário ou para o espaço aéreo, estabelecendo aerovias seguras, procedimentos diversos para decolagens, pousos e separações em voo, delimitando áreas restritas, proibidas ou de alerta para quem utiliza essas regiões. Esse processo requer a concepção e implantação de órgãos de controle de tráfego, equipamentos específicos, tais como radares e recursos de telecomunicações, auxílios à navegação, e o não menos importante dimensionamento de pessoal que exercerá essas atividades (DECEA, 2016a).

Para que ocorra uma ordenação apropriada do tráfego, considera-se fundamental a estruturação das diversas regiões do espaço aéreo. É nesse contexto que controladores, pilotos e todos os usuários desse ambiente atmosférico têm as responsabilidades e os deveres bem definidos de acordo com os interesses dos envolvidos (DECEA, 2016b).

Segundo o que caracteriza o DECEA (2014b), são estabelecidos três conceitos com o objetivo de organizar o espaço aéreo: espaço aéreo controlado; espaço aéreo não controlado; e espaço aéreo condicionado. O primeiro é aquele onde todos os movimentos aéreos são controlados por um órgão de tráfego aéreo e os pilotos são orientados a cumprir manobras preestabelecidas, com o objetivo de garantir a segurança dos seus voos. Esses espaços são caracterizados pela presença de Aerovias (Airways – AWY), Áreas de Controle (Terminal Areas – TMA), e Zonas de Controle (Control – CTR). O segundo é onde as aeronaves voam em ambiente parcialmente conhecido e sujeito às regras do ar definidas pelo DECEA (2016b). Porém, não existe a prestação do serviço de controle do

tráfego aéreo. Nesse caso, são fornecidos somente os serviços básicos de informação de voo e de alerta. Por último, o espaço aéreo condicionado define as regiões onde são realizadas atividades específicas que não permitem a aplicação dos serviços de tráfego aéreo.

Figura 2.4 – Espaços aéreos controlados e controles do espaço aéreo.



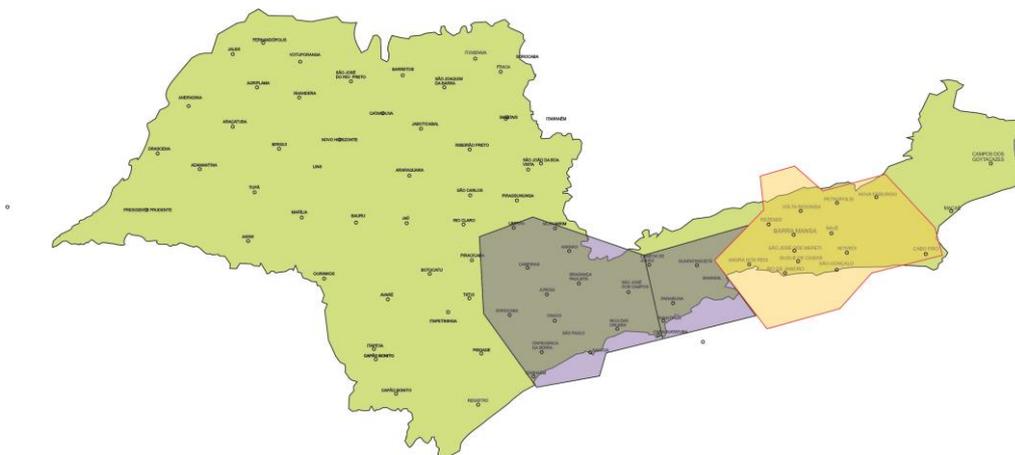
Fonte: o autor, adaptado do DECEA (2014b).

A partir desse contexto, o DECEA (2010) estabelece o Gerenciamento de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management – ATM*), que pode ramificar-se em dois segmentos: o Gerenciamento de Fluxo do Tráfego Aéreo (*Air Traffic Flow Management – ATFM*) e o Serviço de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Service – ATS*). O ATFM entra em ação todas as vezes em que é excedida a capacidade de infraestrutura aeronáutica ou aeroportuária instalada. Essas ações consistem, basicamente, na adoção de iniciativas relacionadas a três fases de planejamento: a estratégica, que constitui todas as coordenações com prestadores de serviços aeroportuários e de aeronaves envolvidos nos eventos a eles relacionados; a pré-tática, que são aquelas que terão início 24 horas antes da utilização do espaço aéreo e que levam em conta as possíveis modificações na infraestrutura aeroportuária e aeronáutica, nas condições atmosféricas e na demanda de tráfego aéreo; e a operação tática, que consiste em ações necessárias em decorrência de situações imprevisíveis que ocorrem no dia do movimento de tráfego acompanhado. O ATS é a prestação de serviço

que é realizada entre um operador, alocado em um órgão de tráfego aéreo, e o piloto da aeronave ou outro usuário por meio dos recursos disponibilizados pelo SISCEAB. Para cada nível de complexidade estabelecido pelas condições do tráfego aéreo, existirá um tipo de serviço prestado.

O ATS é prestado em todo o espaço aéreo que se superpõe ao território nacional (ver Figura 2.3), incluindo águas territoriais e jurisdicionais, bem como o espaço aéreo que tenha sido objeto de Acordo Regional de Navegação Aérea (DECEA, 2014b). Ele é proporcionado por todos os órgãos ATS subordinados/jurisdicionados dentro dos respectivos espaços aéreos de suas responsabilidades. Esses órgãos são divididos da seguinte forma: serviços de controle de tráfego aéreo, que compreendem o controle de área (*Area Control Center – ACC*), o controle de aproximação (*Approach Control – APP*) e o controle de aeródromo (*Tower Control – TWR*); o serviço de informação de voo; e o serviço de alerta. Os serviços de controle de tráfego aéreo e de alerta são prestados diretamente por controladores de tráfego aéreo e compõem a sua carga de trabalho. O controle de aproximação, responsabilidade de um APP, é realizado em uma área de controle terminal (TMA). Uma TMA é definida como a região “situada na confluência de rotas ATS e nas imediações de um ou mais aeródromos” (DECEA, 2014b, p. 16).

Figura 2.5 – Áreas de controle terminais de São Paulo e do Rio de Janeiro.



A região destacada representa a área de estudo desta Tese.  
Fonte: adaptado do DECEA (2016a).

## 2.4. Gerenciamento do Tráfego Aéreo no Brasil

Um sistema de transporte aéreo eficiente propicia substanciais benefícios à sociedade. A baixa disponibilidade desse recurso e os altos custos estão intimamente vinculados à relação capacidade versus demanda existente nos aeroportos e nas regiões do espaço aéreo controlado.

Em determinadas condições operacionais e/ou ambientais, os principais aeroportos brasileiros sofrem com indisponibilidades de pátios para receber aeronaves ou, até mesmo, excedem sua capacidade de utilização de pista, fazendo com que, por exemplo, as aeronaves se mantenham em voo ou em espera no solo.

Para o DECEA

a capacidade do sistema ATM depende de muitos fatores, incluindo a estrutura das rotas, a precisão de navegação da aeronave que usa o espaço aéreo, os fatores relacionados com as condições meteorológicas e a carga de trabalho de controlador (DECEA, 2010, p. 16).

Dentro do contexto do SISCEAB, busca-se a todo momento prover capacidade suficiente para garantir que o tráfego aéreo se mantenha no nível operacional máximo ou, ao menos, aceitável. O ATM procura justamente atender ao equilíbrio entre a demanda por tráfego aéreo e a disponibilidade dos aeródromos e/ou do espaço por onde circulam as aeronaves. Ele tem por objetivo

representar o dinâmico e integrado gerenciamento de tráfego e do espaço aéreo de forma segura, econômica e eficiente, mediante provimento de serviços contínuos, em colaboração com todos os participantes (DECEA, 2010, p. 9).

Para que o ATM exerça sua atribuição de modo pleno e eficaz, faz-se necessário conhecer ou prever a demanda de voos e a capacidade dos aeródromos e das regiões do espaço aéreo nacional. Poderá haver um aumento significativo nas atividades de controle do tráfego e a diminuição da segurança do voo em setores do espaço aéreo com a presença de condições de tempo adversas. Isso pode ocorrer, pois muitos voos procurarão evitar

áreas com condições de tempo severas, direcionando os voos para determinadas regiões menores, por mais tempo. Isso cria dificuldades para separar as aeronaves entre si e aumenta o perigo de possíveis colisões. Por consequência, haverá um aumento na complexidade do espaço aéreo por onde circulará a nova demanda de voo. Nesse contexto, o ATFM pode ser acionado, com a função de

contribuir para um fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e eficiente, assegurando que a capacidade do Controle de Tráfego Aéreo (Air Traffic Control – ATC) seja utilizada na sua máxima extensão possível e que o volume de tráfego seja compatível com as capacidades declaradas pela autoridade competente (DECEA, 2010, p. 9).

Para efeito de planejamento de gestão do espaço aéreo nacional, o DECEA (2010) discorre que a capacidade do ATC deverá ser revisada periodicamente em relação à demanda de tráfego, a fim de prover o uso flexível do espaço aéreo, melhorar a eficiência das operações aéreas e permitir o adequado aumento dessa capacidade. Se uma determinada capacidade do ATC for regularmente superada, fato que promove atrasos contínuos e frequentes nos voos, ou ainda quando for possível prever repetidas restrições na capacidade do espaço aéreo, a autoridade deverá adotar medidas julgadas apropriadas com o objetivo de maximizar o uso da capacidade do sistema existente. Além disso, deverá desenvolver planos para aumentar a capacidade com o objetivo de atender à demanda real ou prevista.

Para o DECEA (2014a), a determinação da capacidade dos setores ATC considera: fatores de planejamento e fatores relativos às operações ATC. Os fatores de planejamento são condições empregadas para simplificar modelos matemáticos ou aspectos operacionais que determinam a capacidade dos setores ATC. Dentre vários, os mais importantes são aqueles relacionados às condições ideais de sequenciamento e de coordenação de tráfego aéreo; à equidade das equipes operacionais diante de seu desempenho operacional; e às condições técnicas e operacionais de todos os equipamentos de radionavegação, auxílios visuais, e equipamentos de telecomunicação (VHF/Telefonia) funcionando sem restrições. Para os fatores relativos às

operações ATC, são considerados os seguintes parâmetros: tempos médios de permanência em um determinado setor; tempos médios de atividade secundária do controlador; tempos médios de comunicação com a aeronave; fator cognitivo do controlador; fator de convergência relativo ao tempo de permanência no setor; corredor visual; configuração das pistas de pouso; rota-padrão de chegada em terminal (Standard Terminal Arrival Route – STAR); distribuição de setores ATC; distribuição das aerovias no setor; procedimentos operacionais específicos; e procedimentos de navegação aérea (Standard Instrument Departure – SID, Instrument Approach. Charts – IAC etc). Todos esses parâmetros aqui citados podem ser melhor compreendidos ao se consultar o DECEA (2014a). Vários destes sofrem interferência diante da presença de mau tempo.

De modo geral, o ATM nacional segue rigorosamente as Regras do Ar, definidas pelo DECEA (2016b), os procedimentos estabelecidos pelo Serviço de Tráfego Aéreo, observados em DECEA (2014b), além de outros relacionados a acordos regionais, tal como o que pode ser observado em SRPV (2014a; 2014b). Esses requisitos operacionais também seguem o que estabelece a Convenção de Aviação Civil Internacional, fato que gera ações operacionais efetivas por parte dos controladores de tráfego aéreo presentes nos órgãos ATC.

## **2.5. Carga de Trabalho dos Controladores**

Para o DECEA (2014a, p. 9), a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo é “o tempo utilizado pelo ATCO (Air Traffic Controller) no processamento de todas as tarefas que uma posição de controle exige, em um intervalo de tempo, para manter o tráfego rápido, seguro e ordenado”. Assim como essa, um grande número de definições sobre carga de trabalho pode ser encontrado na literatura.

Seguindo essa mesma referência, define-se o “Número de Pico” como

a capacidade de controle simultâneo que um determinado setor ATC tem condições de manter, por, no máximo, 19 (dezenove) minutos

(contínuos ou não) no intervalo de uma hora, a fim de atender a um aumento de demanda de curta duração. Durante esse período, o ATCO experimentará uma sobrecarga de trabalho controlada (DECEA, 2014a, p. 15).

Nesse contexto, devem ser tomadas medidas de gerenciamento de fluxo caso a capacidade-limite do setor, ou seja, o número de pico, mantenha-se por um tempo superior a dezenove minutos.

Considerando como revisão da literatura que trata do assunto carga de trabalho, Erzberger (2004) associa a carga de trabalho do controlador ao emprego do monitoramento e controle da separação entre as aeronaves, fator esse conhecido como a condição de restrição primária para o estabelecimento da capacidade do espaço aéreo. Esse trabalho põe em destaque a importância da automatização de ações dos controladores com o objetivo de minimizar os riscos e melhorar os benefícios do emprego de novos conceitos sobre espaço aéreo.

Knorr e Walter (2011) destacam a relevância na determinação da relação entre a trajetória das aeronaves e a carga de trabalho do controlador, além de propor uma nova abordagem para medir a complexidade do espaço aéreo.

Já Meckiff et al. (1998) definem a complexidade do espaço aéreo como o grau de dificuldade que uma determinada condição de tráfego aéreo impõe ao controlador.

Tobaruela et al. (2012) consideram indispensável estimar corretamente todos os fatores que afetam a capacidade do espaço aéreo, dentre eles a carga de trabalho dos controladores.

Barnhart et al. (2012) realizam sua pesquisa lançando luz sobre as tendências e oportunidades na área de gerenciamento da demanda e capacidade do espaço aéreo realizado pela aviação. Eles descrevem iniciativas que as empresas aéreas e as autoridades de aviação civil devem adotar no planejamento de voo, como medidas táticas, em resposta às dinâmicas das

condições reais de tráfego, inclusive diante de condições significativas de tempo ou rupturas nos horários dos voos.

Jeppesen (2008) descreve como a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo é calculada por meio do simulador TAAM. Ela leva em conta a soma de cinco parâmetros: o movimento do tráfego aéreo ou a carga de trabalho básica, o tipo e grau de severidade dos conflitos, as coordenações realizadas, os níveis de mudança por meio da subida e descida durante o voo, e a mudança de nível FLAS (*Flight Level Allocation Schemes*). Assim, observa-se que, nesse cálculo, os parâmetros mentais, subjetivos, não são levados em conta.

A carga de trabalho básica é calculada pela seguinte fórmula:

$$W = N + \left( \left( \frac{\sqrt{(1 + 4(N - P)^2)} - 1}{2(N - P)} + 1 \right) \frac{M}{2} \right) * T$$

onde  $W$  é a carga de trabalho básica,  $N$  é o número de aeronaves que voam pelo setor;  $F$  é o fator de ajuste;  $P$  é o fator de ponto de mudança (*Turning Point Factor*); e  $M$  é o fator de movimento.

A carga de trabalho, advinda do tipo e grau de severidade dos conflitos, é determinada considerando a trajetória da aeronave. Ela é calculada multiplicando-se um fator de ação de coordenação pelo fator de severidade do conflito e pelo número de aeronaves com o tipo e grau de severidade do conflito (JEPPESEN, 2008, p. 48).

A carga de trabalho derivada das coordenações realizadas é calculada em função do tipo de ação de coordenação realizada. Ela é calculada pela multiplicação de um fator de ação de coordenação pelo número de aeronaves que sofrem as coordenações (JEPPESEN, 2008, p. 48).

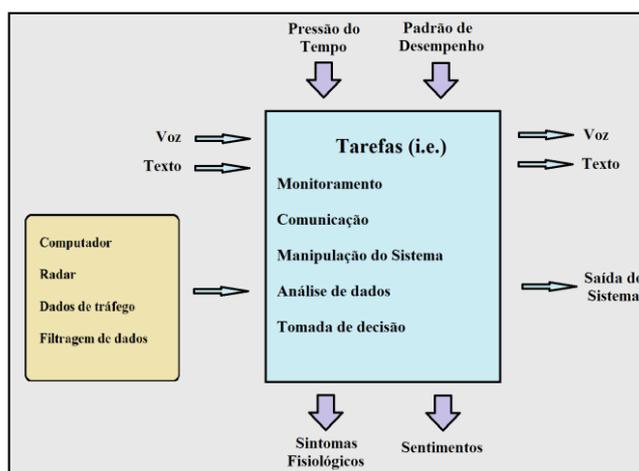
A carga de trabalho obtida em função de mudanças de níveis de voo é determinada pelo tipo de solicitação de liberação da altitude do setor para iniciar subida ou descida. Ela é calculada pela multiplicação de um fator de

liberação da altitude pelo número de aeronaves que sofrem essa liberação (JEPPESEN, 2008, p. 48).

A carga de trabalho determinada pela consideração da mudança de nível FLAS é calculada pelo produto do fator de mudança do nível FLAS com o número de aeronaves que sofrem essa ação (JEPPESEN, 2008, p. 48).

Brooker (2003) destaca a importância do conceito “carga de trabalho” no contexto da capacidade do espaço aéreo, apresentando diversas pesquisas sobre esse assunto. Esse pesquisador entende que o conceito de carga de trabalho é um fator determinante para a definição da capacidade do sistema ATC. A Figura 2.6 esquematiza alguns aspectos relacionados à carga de trabalho dos ATCO, segundo esse autor.

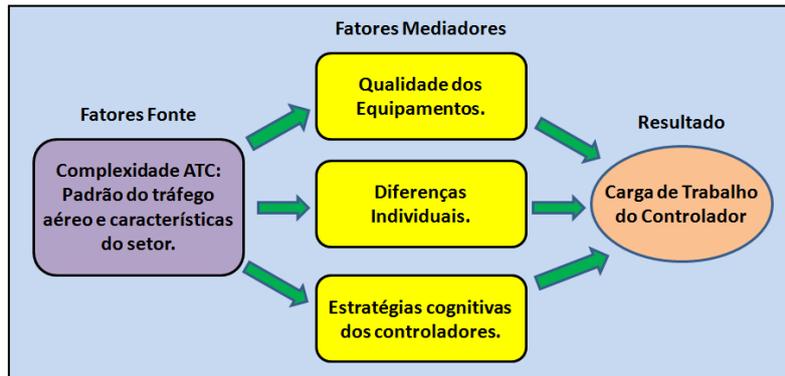
Figura 2.6 – Aspectos relacionados à carga de trabalho dos ATCOs.



Fonte: traduzido de Brooker (2003).

Mogfort et al. (1995) também fazem uma ampla revisão bibliográfica sobre as operações em órgãos ATC, identificando os principais fatores que relacionam a complexidade do espaço aéreo à carga de trabalho dos controladores. A Figura 2.7 esquematiza esses fatores relacionados à carga de trabalho dos ATCO.

Figura 2.7 – Fatores relacionados à carga de trabalho dos ATCOs.



Fonte: traduzido de Jolitz (1965 apud Mogfort et al., 1995).

Outros trabalhos buscam identificar fatores que interferem na carga de trabalho dos controladores. No Brasil, Baum e Müller (2008), seguindo Teixeira (2007), realizaram pesquisas sobre a carga de trabalho dos controladores na região do Controle de Aproximação de São Paulo (APP-SP) com o objetivo de destacar a importância de se adotar ações para a melhoria do tráfego aéreo na região. De modo geral, os estudos realizados por esses pesquisadores brasileiros têm por princípio básico a preocupação com a eficiência, fluidez e segurança do voo, além dos possíveis custos operacionais gerados indiretamente para o SISCEAB e para as empresas aéreas quando em presença de alguns tipos de restrição às operações. Entretanto, nenhum deles levou em conta a presença de mau tempo em seus estudos.



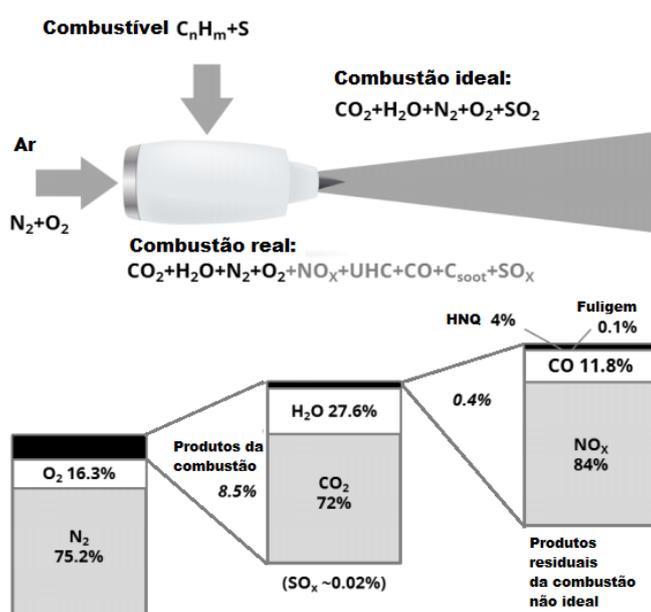
### 3 EMISSÕES POR AERONAVES

#### 3.1. Contextualização

Para Winther e Rypdal (2016), as emissões provenientes das aeronaves são derivadas da queima de combustível fóssil (gasolina e, principalmente, querosene de aviação – Jet A-1). O grau de importância dessa fonte se relaciona diretamente à velocidade com que o tráfego aéreo aumenta suas atividades. Os principais poluentes gerados pelas aeronaves são o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e os NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio), mas existem outros importantes compostos que também merecem destaque, como o CO (monóxido de carbono), o SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), e os HNQ ou COVs (hidrocarbonetos não queimados ou compostos orgânicos voláteis).

Sabe-se que a contribuição da aviação para a emissão total de CO<sub>2</sub> antropogênico fica próximo a 2%, considerando todas as fontes de combustão, e 12% do setor de transporte (ICAO, 2007), sendo a estimativa de sua contribuição para a forçante radiativa próxima a 3,5% (IPCC, 2001). Essa contribuição ocorre uma vez que as emissões são inseridas quase que diretamente na região atmosférica definida como troposfera livre superior e estratosfera baixa (Upper Free Troposphere And Lower Stratosphere – UTLS).

Figura 3.1 – Emissões de aeronaves.



Fonte: traduzido de Wuebbles et al, (2007, apud Winther e Rypdal, 2016).

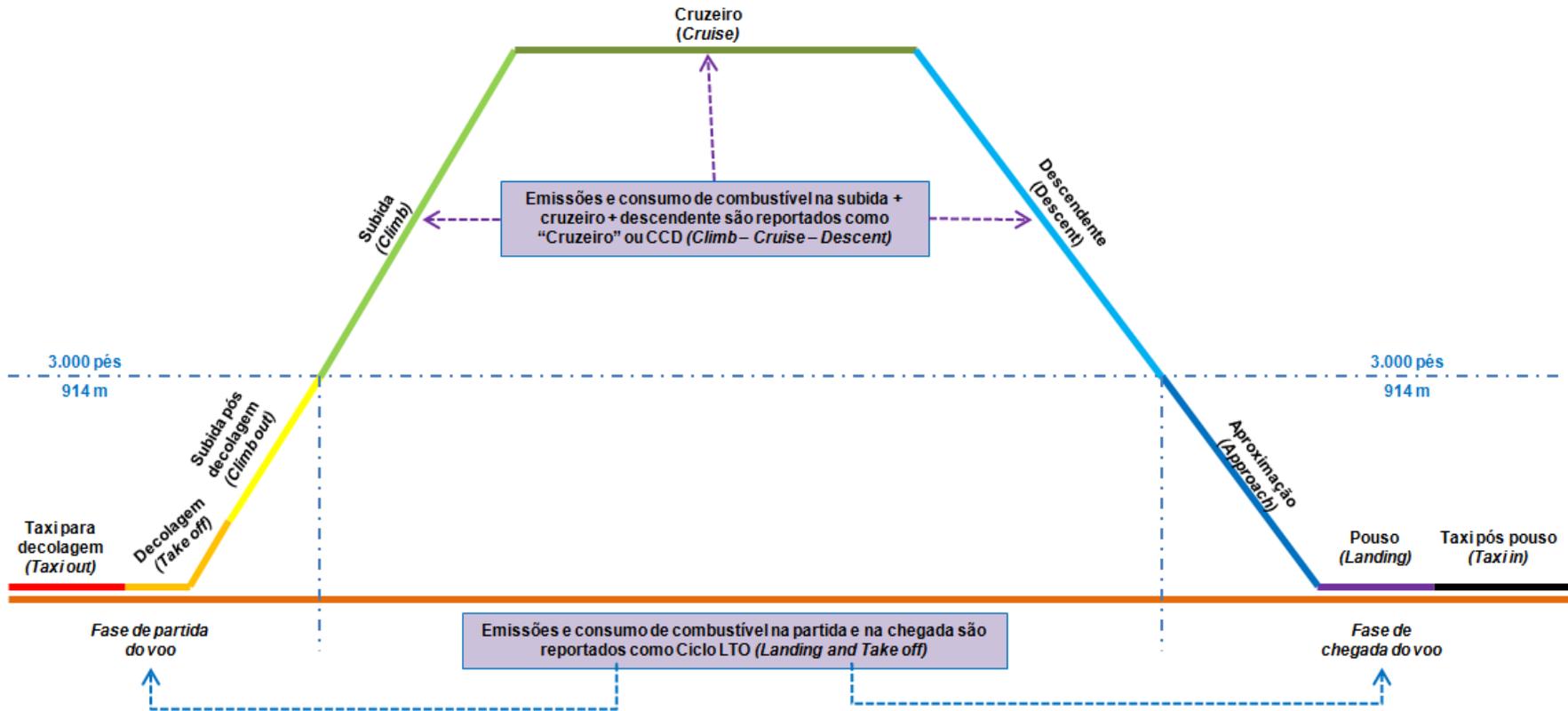
Em função das atividades de gerenciamento de fluxo de voo implantadas, a quantidade de emissões sofre interferência direta do modo como o tráfego aéreo se organiza. De modo geral, a FAA (2015) estabelece que as emissões da aviação podem ser comparadas às aquelas produzidas pelos automóveis. Ou seja, o produto desse processo é constituído de 70% de CO<sub>2</sub>, menos de 30% de H<sub>2</sub>O, e menos de 1% de vários outros compostos, tais como NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, HNQ ou COVs e material particulado. A Figura 3.1 apresenta a quantidade de emissões segundo Winther e Rypdal (2016).

Na atmosfera, esses compostos químicos são emitidos em duas regiões: em nível local, ou seja, em baixos níveis, e na UTLS. Para a ICAO (2007), aproximadamente 40% das emissões de NO<sub>x</sub> ocorrem em baixos níveis e 60% durante o voo em rota. Além disso, segundo a FAA (2015), aproximadamente 30% de emissões de HNQ ou COVs e CO são feitas em baixos níveis e 70% durante o voo em rota. Para as demais emissões, aproximadamente 10% estão em baixos níveis e 90% durante o voo em rota.

A ICAO (2007) destaca três fases importantes que devem ser observadas e estudadas no processo de emissões das aeronaves: a da quantificação das emissões; a da identificação dos processos que interferem e definem as mudanças nas concentrações dos poluentes; e a do estudo dos impactos proporcionados à saúde e ao meio ambiente. Além disso, outro aspecto que merece destaque são as incertezas presentes nesses passos decorrentes da metodologia empregada para calcular as emissões.

A Figura 3.2 descreve as fases do voo. Cada uma delas apresenta um determinado nível de empuxo/potência dos motores. Isso infere diferentes consumos de combustível e, conseqüentemente, quantidades de emissões em cada caso. Neste trabalho, o foco de quantificação do consumo de combustível, e sua respectiva dispersão de CO<sub>2</sub>, está na fase de cruzeiro ou CCD (*climb/cruise/descent*), pois é onde ocorre a maior quantidade de emissões, em uma região de grande estabilidade, e onde a radiação solar é mais intensa. Uma noção geral sobre as atividades presentes em cada uma das fases do voo pode ser vista na figura 2.4 de Winther e Rypdal (2016).

Figura 3.2 – Fases do voo.



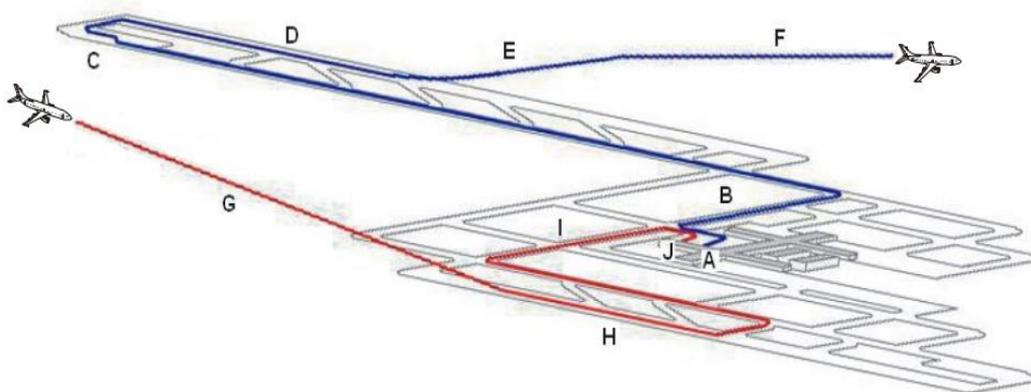
Fonte: traduzido de Winther e Rypdal (2016).

### 3.2. Emissões Locais

O crescimento na quantidade de residências próximas aos aeroportos, aliado ao aumento substancial do transporte aéreo e à conseqüente elevação das emissões químicas na atmosfera, deve ser motivo de significativa preocupação por parte dos governos municipais e estaduais (ICAO, 2016).

Para a ICAO (2007) as emissões realizadas nos aeroportos ou próximas a eles, definidas como emissões locais, são todas aquelas que ocorrem quando as aeronaves efetuam seus movimentos no solo, nas pistas, e até a altura de 3.000 pés (ou aproximadamente 915 metros) acima do solo, indicativa da posição média do topo da Camada Limite Atmosférica. Nesse caso, também devem ser consideradas as emissões oriundas das dispersões de fontes aeroportuárias (tráfego de automóveis e caminhões, equipamentos de serviço de solo e de degelo, quando necessários). As emissões locais podem ser melhor entendidas quando se observa sua inserção na atmosfera, que ocorre em quatro fases, compondo o chamado LTO Cycle (*Landing and Take Off Cycle*), ou simplesmente Ciclo LTO (Ver Figura 3.3).

Figura 3.3 – Ciclo LTO.



A fase Neutra (idle-in e idle-out) é composta pelas letras: A, B, C, H, I e J. A fase de Decolagem é composta pelas Letras D e E. A fase de Aproximação é indicada pela letra G.

Fonte: ICAO (2007).

Winther e Rypdal (2016, p. 12) discorrem que cada uma dessas fases é definida em função da potência empregada nos motores das aeronaves. São elas: neutra (*idle*), composta pelos movimentos do portão de embarque até a posição final para a decolagem (*idle-out*), mais o movimento realizado após o pouso até o portão de desembarque (*idle-in*); decolagem (*take-off*); subida após a decolagem até 3.000 pés (*climb-out*); e aproximação para pouso, desde a altura de 3.000 pés até o toque do pouso (*approach*).

Na região próxima aos aeroportos, os principais agentes químicos poluidores, oriundos das aeronaves, são descritos em ICAO (2007) como: CO, NO<sub>x</sub>, COVs e material particulado. O impacto provocado por eles depende de alguns fatores, como a condição atmosférica que interfere na mudança das respectivas concentrações ambientais. Além disso, os efeitos provocados por essas substâncias dependem do tipo de composto, das características da população exposta, da quantidade de pessoas na região poluída e da sua distribuição nessa região. Esses compostos químicos produzem os seguintes impactos ao ambiente e à saúde segundo a ICAO (2007):

- a) o CO interfere na concentração de radicais hidroxila na troposfera, que é responsável pelo equilíbrio das concentrações de metano e ozônio nessa região. Além disso, é um composto químico que afeta significativamente o processo de absorção de oxigênio pelas células durante o processo de respiração;
- b) o NO<sub>x</sub> atua na formação do ozônio troposférico, do “Smog” fotoquímico por meio da produção de material particulado (PM 2,5), de ácido nítrico e acidificação de aerossóis (nevoeiro), e de chuva ácida. Também pode afetar o funcionamento do sistema respiratório;
- c) os COVs participam do processo de formação de ozônio troposférico em conjunto com o NO<sub>x</sub> e, em alguns casos, é responsável por problemas respiratórios e surgimento de câncer em seres humanos; e
- d) o material particulado é responsável pelo surgimento de problemas respiratórios nos seres humanos, além de ser potencial redutor da visibilidade ambiental.

Diante desse contexto, fez-se necessária uma revisão da literatura em busca de informações importantes que auxiliassem na adoção de medidas político-ambientais.

No Brasil, é possível apontar algumas pesquisas que tratam do assunto, tal como a de Pamplona et al. (2015), que apresenta um modelo econométrico de previsão de poluentes gerados por voos domésticos no Aeroporto de Salvador, estimando as emissões até 2020 durante os ciclos de pouso e decolagem.

A ANAC (2014b) apresenta o inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil, com informações sobre emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), compostos orgânicos voláteis (COVs), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e material particulado, com o objetivo de ser utilizado como ferramenta de gestão ambiental.

Nessa mesma linha, Rocha (2012b) estima, por meio de modelagem, a quantidade de emissões diárias de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , CO e  $\text{SO}_2$  produzidas pela aviação civil regular, no ambiente dos principais aeroportos nacionais e em rota, durante um dia de tráfego aéreo.

Brito e Sousa Junior (2009) realizam um levantamento de dados para posterior confecção de um inventário de emissões atmosféricas na área de aviação comercial (civil) no país, com o objetivo final de confeccionar uma calculadora de emissões.

Araújo (2008) modela a emissão de poluentes do transporte aéreo nacional considerando as etapas dos voos. Ele utiliza um modelo econométrico para o cálculo do consumo de combustível das aeronaves e os índices de emissão dos poluentes do SAGE (*System for Assessing Aviation's Global Emissions*), considerando dados históricos disponibilizados pelo antigo Departamento de Aviação Civil, no período de 1997 a 2004.

Oliveira e Aires (2014) realizam um estudo do impacto produzido pelo Aeroporto Internacional Tom Jobim, o Galeão, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, destacando a importância desse tipo de fonte antrópica de emissões atmosféricas.

Quando se observam trabalhos internacionais, uma enorme gama deles pode ser encontrada. Aqui serão destacados apenas os mais importantes segundo o critério deste autor.

A ICAO (2011) produz um manual que abrange muito bem todas as questões relacionadas à avaliação da qualidade do ar no ambiente próximo aos aeroportos, considerando as fontes das aeronaves e equipamentos de apoio às operações em solo. A ICAO (2008) também trata do estabelecimento de padrões necessários para a certificação de motores das aeronaves e suas respectivas emissões.

Winther e Rypdal (2016) e o IPCC (2006) identificam e apresentam metodologias para estimar/calcular as emissões dos diversos meios de transportes, dentre eles a aviação.

A EPA (1999) investiga a importância relativa das emissões de aeronaves comerciais a jato como uma das principais fontes da qualidade do ar próximo aos aeroportos. As emissões são calculadas tomando como base o ano de 1990 e estimadas para 2010, considerando dez áreas urbanas pré-selecionadas.

Estudos sobre a avaliação da qualidade do ar e potenciais riscos à saúde podem ser observados em Ionel et al. (2009) e Ratliff et al. (2009), e sobre a quantificação das emissões em Graver e Frey (2009), Tsiligiridis (2009) e Howitt et al. (2011). Outro exemplo do emprego de modelagem para a estimativa de emissões e o estudo do impacto ambiental produzido pela operação de aeronaves pode ser observado em Sweriduk et al. (2011)..

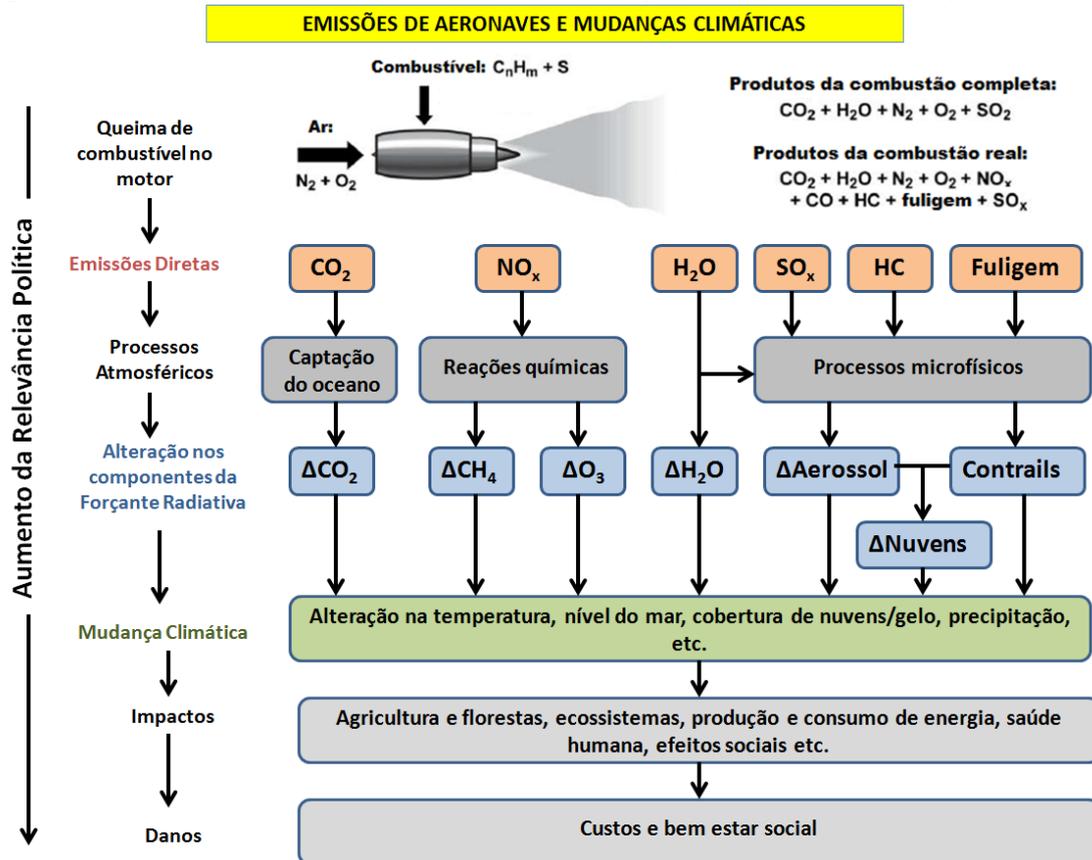
### **3.3. Emissões em Rota**

As aeronaves comerciais, durante o voo em rota, normalmente estão niveladas em uma altitude que pode variar de 8 a 13 km, dependendo dos seus respectivos perfis de desempenho e das condições atmosféricas. Nessa região, onde esses equipamentos são as únicas fontes de emissão, são lançados gases e material particulado, responsáveis por alterações na concentração natural de vários compostos químicos. As alterações na concentração ocorrem

por simples infusão das substâncias produzidas pelas aeronaves, bem como por reações fotoquímicas. Nesse contexto, é possível inferir que o principal impacto produzido pelas emissões das aeronaves durante o voo em rota está diretamente relacionado à forçante radiativa e às mudanças climáticas (ICAO, 2007).

Na Figura 3.4, adaptada de Lee et al. (2009), percebe-se o contexto onde o CO<sub>2</sub> produzido pela aviação está envolvido no processo de alteração climática. Considerando que a emissão desse composto é a de maior quantidade, a busca por sua quantificação, mesmo que de modo estimativo, merece atenção, pois, com informações desse tipo, será possível modelar reações químicas e seus respectivos impactos atmosféricos e ambientais.

Figura 3.4 - Principais emissões derivadas da aviação e seus respectivos processos.



Esquema que mostra as principais emissões derivadas da aviação e os processos atmosféricos que levam às mudanças nos componentes de forçante radiativa. Fonte: traduzido de Lee et al. (2009).

Poucos trabalhos tratam desse assunto no âmbito nacional. Eles serviram como revisão da literatura. Rocha (2012b), além de estimar emissões locais

nos aeroportos, identifica as principais aerovias onde a quantidade de emissões das aeronaves é significativa. Nesse caso, a região entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro foi percebida como a de maior destaque. Brito e Sousa Junior (2009) também estimam emissões em rota utilizando como apoio o modelo SAGE (*System for Assessing Aviation's Global Emissions*), considerando rotas específicas. De modo geral, o que se observa nos estudos nacionais sobre as emissões em rota diz respeito à preocupação com impactos provocados por essas emissões sobre o aquecimento global, como é o caso dos trabalhos de Betiolo et al. (2009) e Simões e Schaeffer (2002).

Internacionalmente, são encontrados muitos trabalhos, principalmente com o propósito de inventariar as emissões e estabelecer parâmetros de modelagem fidedignos, relacionando-os às alterações provocadas na forçante radiativa. Nesse sentido, o IPCC (1999) trata detalhadamente sobre os gases e partículas emitidos por aeronaves na atmosfera superior e o papel que esses elementos possuem sobre as modificações das propriedades químicas dessa região, incluído os oriundos da formação de trilhas de condensação (*contrails*) e de nuvens cirrus.

Já o trabalho de Lee et al. (2009) faz uma ampla revisão bibliográfica das emissões da aviação, sendo um ponto de referência importante sobre isso. Brasseur et al. (2016) revisam e destacam o assunto “impacto da aviação sobre o meio ambiente” considerando a forçante radiativa e as possíveis interações químicas derivadas das emissões de aeronaves, no contexto das mudanças climáticas.

Frömming et al. (2012) estudam a relação entre as altitudes onde as emissões aeronáuticas são realizadas e a mudança na temperatura de superfície e forçante radiativa. Gan (2016) discute a necessidade de se levar em conta os impactos provocados pelas emissões de CO<sub>2</sub> da aviação, no contexto do emprego de políticas mitigadoras das mudanças climáticas, sem perder de vista os aspectos econômicos e financeiros das empresas aéreas.

A FAA (2015) apresenta diversas propostas para mitigar os efeitos provocados pelas emissões das aeronaves, dentre eles aqueles provocados pela emissão de CO<sub>2</sub> nas proximidades dos aeroportos ou em outros níveis da atmosfera. Artigos que tratam da estimativa da quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> da

aviação podem ser vistos em Howitt et al. (2011), Jardine (2009) e suas respectivas citações.

### **3.4. Inventários de Emissões da Aviação**

Um inventário de emissões atmosféricas é uma relação que aponta a quantidade de poluentes oriundos de todas as fontes em uma determinada área estabelecida por fronteiras fixas, em um determinado período de tempo (STERN et al., 1984). Ele identifica quem emitiu, o que foi emitido, quando, onde e quanto. É uma ferramenta indispensável para a análise ambiental em várias escalas espaciais.

Considerando a abordagem da ANAC

os inventários de emissões atmosféricas são instrumentos estratégicos da gestão ambiental destinados a estimar as emissões por fontes de poluição específicas, em uma determinada área geográfica e num intervalo de tempo definido. Sua elaboração é fundamental para a implantação ou reorientação de programas voltados para a melhoria da qualidade do ar, uma vez que permitem relacionar os agentes emissores aos tipos e quantidades de gases emitidos (ANAC, 2014b, p. 11).

No Brasil, a produção de inventários de emissões relacionados ao transporte em geral é relativamente nova, pois foram produzidos apenas no período entre 2004 e 2014. Especificamente sobre o transporte aéreo, o primeiro inventário foi inserido no Relatório de Referência das Emissões de Gases de Efeito Estufa, parte integrante da 2ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT, 2010, apud ANAC, 2014b).

Em 2014, tomando como base o ano de 2013, houve outra publicação do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil. Ele estimou as emissões das aeronaves da aviação civil comercial e privada, tanto em voos regulares (domésticos e internacionais com origem ou destino no Brasil) quanto na aviação geral em território nacional próximo aos aeroportos (ANAC, 2014b). Os critérios utilizados seguiram o que está definido em IPCC (2006) para as fases do Ciclo LTO dos voos. Para o cálculo de emissões durante a fase em rota, o Inventário se baseou na metodologia *Tier 3A*, descrita no guia da EMEP/EEA de 2013, que pode ser observado em Winther e Rypdal (2013).

O trabalho de Winther e Rypdal (2016) estabelece os tipos de metodologias a serem empregadas no desenvolvimento de inventários da aviação. A Tabela 3.1 resume tal proposta, que relaciona o tipo de dados disponíveis e o tipo de inventário produzido:

Tabela 3.1 - Resumo dos dados de entrada necessários para os três tipos de metodologia de inventários.

| <b>Tier</b> | <b>Atividade</b>  | <b>Dados e Ferramentas utilizados</b>   |
|-------------|---|---|
| Tier 1      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As vendas de combustível estão subdivididas em voo doméstico e internacional.</li> <li>• O número total de ciclos LTO nacionais e internacionais estão identificados.</li> </ul>                                       | Usa os parâmetros médios da frota (isto é, os fatores de emissão genéricos das aeronaves) e as médias dos fatores para o ciclo LTO e para o das fases de Subida/Rota/Descida.   |
| Tier 2      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As vendas de combustível estão subdivididas em voo doméstico e internacional, como por Tier 1.</li> <li>• Os números de ciclos LTO para nacional e internacional, estão identificados por tipo de aeronave.</li> </ul> | Usa os Fatores de Emissão específicos para cada aeronave, considerando as fases do ciclo LTO e os Fatores de Emissões médios para as fases de Subida/Rota/Descida.  |
| Tier 3      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os dados para cada voo contêm o tipo de aeronave e a distância do voo, subdividida em voos nacionais e internacionais.</li> </ul>  | <p>Tier 3A: utiliza os dados específicos dos tipos/motores das aeronaves disponíveis no site <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA, 2016)</i>.</p> <p>Tier 3B: utiliza simulações por meio de modelos do tipo <i>EUROCONTROL Advanced Emission Model (AEM)</i>, ou <i>US/Federal Aviation Administration (FAA) Aviation Environmental Design Tool (AEDT)</i>, ou ferramentas similares.</p> |

Fonte: traduzido de Winther e Rypdal (2016).

Diante do exposto, é possível perceber que algumas variáveis devem ser levadas em conta para se desenvolver um determinado inventário de emissões atmosféricas aeronáuticas: tipo de combustível, tipo de aeronave e de motor; potência empregada no motor e o tempo gasto em cada fase de voo (Ciclo LTO, por exemplo); altitude de voo; fatores de emissões para cada tipo de motor; número de pousos e decolagens em um aeroporto de interesse; e detalhes das rotas utilizadas. Como consequência da complexidade desse processo, as metodologias vêm sendo empregadas com o objetivo de padronizar os procedimentos que possibilitem melhorar a precisão, permitir comparações e estabelecer a confiabilidade dos resultados.

De modo geral, verifica-se que os organismos que desenvolvem inventários da aviação estabelecem três tipos de metodologia para o cálculo das emissões: abordagem simples; abordagem avançada; e abordagem sofisticada.

Na revisão da literatura a seguir, é possível perceber o nível de detalhamento dado a esse assunto há algumas décadas.

Olivier (1991) produz uma extensa revisão bibliográfica sobre emissões globais da aviação civil e militar. Nessa mesma linha de trabalho, e com o apoio da *National Aeronautics and Space Administration – NASA*, Daggett et al. (1999) disponibilizam resultados sobre o uso de combustíveis pelo tipo de frota e de aeronaves americanas no ano de 1999, além de estudar os principais elementos químicos emitidos, considerando várias altitudes, por tipo de aeronave e por carga transportada.

Sutkus et al. (2001) descrevem como realizar um inventário em 3D sobre NO<sub>x</sub>, CO e Hidrocarbonetos emitidos pelo tráfego aéreo civil no ano de 1999, empregando uma grade de dados 1° x 1° x 1 km de altitude. Nesse caso, o *Tier 3A* foi considerado para a produção dos resultados.

Outro trabalho importante, e mais recente, é o desenvolvido por Pham et al. (2010), onde esses pesquisadores realizam um inventário preciso e detalhado utilizando dados 4D, com uma resolução espacial de 1° x 1° x 1.000 pés para análise das emissões temporais e espaciais de 492.936 voos realizados na Austrália. Nesse caso, foi empregado o *Tier 3B*, tal qual a proposta empregada nesta Tese.

### **3.5. Incertezas**

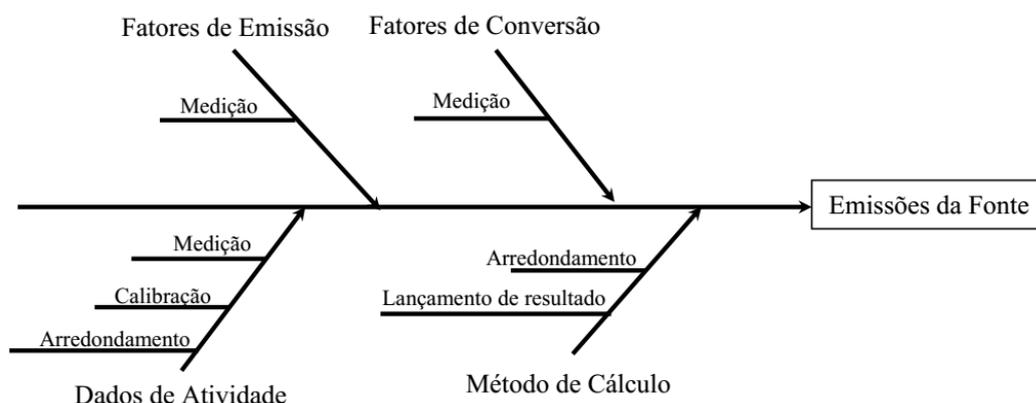
Para o IPCC (2006), a identificação das incertezas presentes em um inventário de emissões atmosféricas é de essencial importância. Ela deverá estar focada no nível de ameaça proporcionada pela quantidade e qualidade dos poluentes emitidos. Nesse contexto, conhecer bem os fatores de emissões e o processamento dos dados é indispensável. Além disso, existem outros parâmetros que interferem significativamente no grau de precisão dos inventários. São eles: conhecimento detalhado do processo de emissão; erros conceituais; omissões; dupla contagem de valores; etc.

De modo geral, o IPCC (2006) considera importante o conhecimento de oito causas principais para diminuir o índice de incertezas em um inventário de emissões: falta de integridade dos dados; falta de dados; falta de representatividade; erros de medição; erros de classificação ou reporte; dados indisponíveis; modelos empregados; amostragem aleatória.

Ainda segundo o IPCC (2006), na medida do possível, as incertezas devem ser mitigadas durante o processo de compilação dos resultados utilizando-se de ações que: objetivem melhorar o conhecimento do processo de emissões e dos modelos empregados; permitam a melhoria da integridade, representatividade e amostragem dos dados; além de mitigar problemas de dados indisponíveis, erros de medição e classificação dos dados.

Para ABNT e BID (2013, p. 35), “a análise de incerteza é muito importante para avaliar a qualidade e a consistência do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE)”. Nesse caso, a análise das incertezas pode, por exemplo, ser realizada por meio do diagrama de Ishikawa, conforme observado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Incertezas na quantificação das emissões.



Fonte: ABNT e BID (2013, p. 36).

O principal estudo sobre a avaliação das incertezas existentes nas estimativas de emissões da aviação é o realizado por Winther e Rypdal (2016). Nele é possível identificar que, na sistemática prevista no *Tier 1*, o nível de incerteza existente pode situar-se entre 20 e 30% para as condições existentes no ciclo LTO e entre 20 e 45% para as condições em rota (*Climb/Cruze/Descend – CCD*). Além disso, esses pesquisadores destacam que, para o *Tier 2*, as incertezas estão mais diretamente relacionadas aos fatores de emissões

empregados, principalmente para as condições em rota. Já quando se leva em conta a abordagem do *Tier 3*, as incertezas estão vinculadas aos fatores de emissões dos motores utilizados pelas aeronaves. Nesse caso, a ICAO (1995, apud Winther e Rypdal, 2016) estima que as incertezas existentes entre os mesmos fatores de emissões podem variar de 5% a 10% para o ciclo LTO e de 15 a 40% para os fatores de emissões utilizados durante o voo em rota. No entanto, a dispersão de CO<sub>2</sub> é considerada de alto grau de precisão quando comparada a outros poluentes derivados dessa fonte. Isso ocorre tendo em vista que o fator de emissão para o dióxido de carbono é constante, independentemente da fase do voo considerada.

O monitoramento do ar ambiente e/ou a modelagem computacional podem ser amplamente empregados no cálculo das emissões das aeronaves e dos aeroportos, dependendo da acuracidade e da importância desejada dos resultados. Em ICAO (2016), destacam-se algumas condições que poderão afetar os resultados obtidos em decorrência das emissões das aeronaves e dos equipamentos de apoio presentes nos aeroportos:

- a) nem todos os aeroportos contêm as mesmas fontes de emissões ou contaminantes, quando se considera cada aeroporto isoladamente;
- b) o uso da terra ao redor dos aeroportos pode afetar a direção do vento ou do padrão de fluxo de ar na região; e
- c) a condição meteorológica local deve ser empregada na modelagem computacional.

Por fim, o IPCC (2001) avalia que as estimativas de incertezas são de fundamental importância para o grau de completude do inventário de emissões, sendo que as incertezas não invalidam as quantidades de emissões encontradas, mas apontam para a necessidade de priorizar esforços no sentido de melhorar a acurácia e guiar a decisão de escolhas metodológicas melhores.

## **4 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA AVIAÇÃO**

### **4.1. Contextualização**

O conhecimento das propriedades e da dinâmica da atmosfera é de fundamental importância para o transporte aéreo de passageiros e cargas. Apesar da existência de modernos métodos, instrumentos e regras claras, que reduzem os perigos do voo, a operação e a segurança das aeronaves são fortemente dependentes das condições atmosféricas.

De modo intensivo e extensivo, o emprego de informações meteorológicas específicas ocorreu de acordo com o desenvolvimento da aviação. O aparecimento dos Serviços de Meteorologia se desenvolveu em consonância com o crescimento das malhas aéreas nos países. Esses serviços apoiavam e apoiam as atividades aeroportuárias, pilotos, empresas aéreas e os serviços de proteção e gerenciamento dos voos. A divulgação das condições meteorológicas reinantes nos aeroportos e ao longo das rotas aéreas tornou-se indispensável para as decisões operacionais vinculadas ao voo. Assim, surgiram as observações e previsões meteorológicas, rotineiras e especiais, específicas para a aviação.

Brasil (2016) descreve os parâmetros meteorológicos básicos e indispensáveis, capazes de auxiliar no processo de suporte às atividades aéreas. São eles:

- a) direção e velocidade do vento;
- b) visibilidade horizontal, teto baixo, e visibilidade vertical;
- c) condições de tempo presentes, responsáveis pela caracterização da visibilidade e da precipitação;
- d) temperaturas do ar e do ponto de orvalho; e
- e) pressão barométrica, descrita na forma de ajuste do altímetro (QNH), ajuste padrão (QNE), ou ajuste zero (QFE).

As informações da variação desses parâmetros no tempo são rotineiramente divulgadas por meio dos meios tecnológicos disponíveis, na forma de observações meteorológicas de superfície, de altitude e dos diversos tipos de previsão de tempo, tais como previsões de área, de aeródromo, especiais e vigilância meteorológica.

O acompanhamento dos fenômenos meteorológicos, os quais são responsáveis pelas alterações nesses parâmetros, é feito por meio de equipamentos e sistemas capazes de identificar mudanças significativas de tempo. Como exemplo, as estações meteorológicas de superfície e de altitude, as redes de radares e satélites meteorológicos etc.

O principal objetivo é conseguir identificar e antecipar os efeitos que cada um desses parâmetros provoca sobre a operação das aeronaves, durante toda a sua trajetória de um aeroporto a outro, com o objetivo de criar e manter a segurança, fluidez e rapidez.

#### **4.2. Parâmetros Meteorológicos e seus Impactos sobre a Aviação**

Tomando como base a WMO (2007), é possível descrever os principais impactos provocados pelos parâmetros meteorológicos citados anteriormente, que, isoladamente ou em conjunto, relacionam-se a fenômenos meteorológicos que geram perigos para a aviação. Esses fenômenos são descritos como: turbulência/cisalhamento do vento (*windshear*); teto baixo e/ou visibilidade restrita; formação de gelo; nuvens cumulonimbus e trovoadas, e cinzas vulcânicas.

##### **4.2.1. Turbulência/cisalhamento do vento**

O parâmetro meteorológico “direção e velocidade do vento” é responsável por dois fenômenos importantes para a aviação: o cisalhamento do vento (*windshear*) e a turbulência.

O cisalhamento do vento pode ser definido como “camadas ou colunas de ar que fluem com velocidades e/ou direções diferentes às camadas ou colunas adjacentes” (WMO, 2007, p. 1). Segundo a USAF (2012, p. 105), o cisalhamento do vento “é qualquer desvio na magnitude e/ou direção de ventos adjacentes em um campo de vento vetorial”. Mudanças de velocidade

aerodinâmica das aeronaves superiores a 15 nós ou mudanças de velocidade vertical superiores a 500 pés por minuto são consideradas cisalhamento de vento severo. Esse fenômeno meteorológico é especialmente perigoso quando ocorre até 2.000 pés acima do solo. Essa altitude é definida na Meteorologia Aeronáutica como o nível crítico para a ocorrência de acidentes, conhecido como “menor nível para cisalhamento do vento” (*low level windshear*, ou LLWS). Para a WMO (2007), o cisalhamento do vento é a segunda maior fonte de turbulência para a aviação, ficando atrás apenas do fenômeno da convecção.

Para a USN (2008), o fenômeno da turbulência é caracterizado por um fluxo irregular ou perturbado que ocorre na atmosfera, responsável pela produção de rajadas e/ou turbilhões. Esse fenômeno surge localmente e possui caráter transitório. Assim, é possível classificar os diferentes tipos de turbulência levando em conta os fatores causais: térmico, mecânico, frontal, e cisalhamento do vento. Dois ou mais desses fatores costumam atuar juntos. Qualquer um dos quatro tipos de turbulência pode ocorrer sem o aviso visual associado às nuvens. A turbulência na ausência ou fora das nuvens é referida como turbulência de ar claro (CAT).

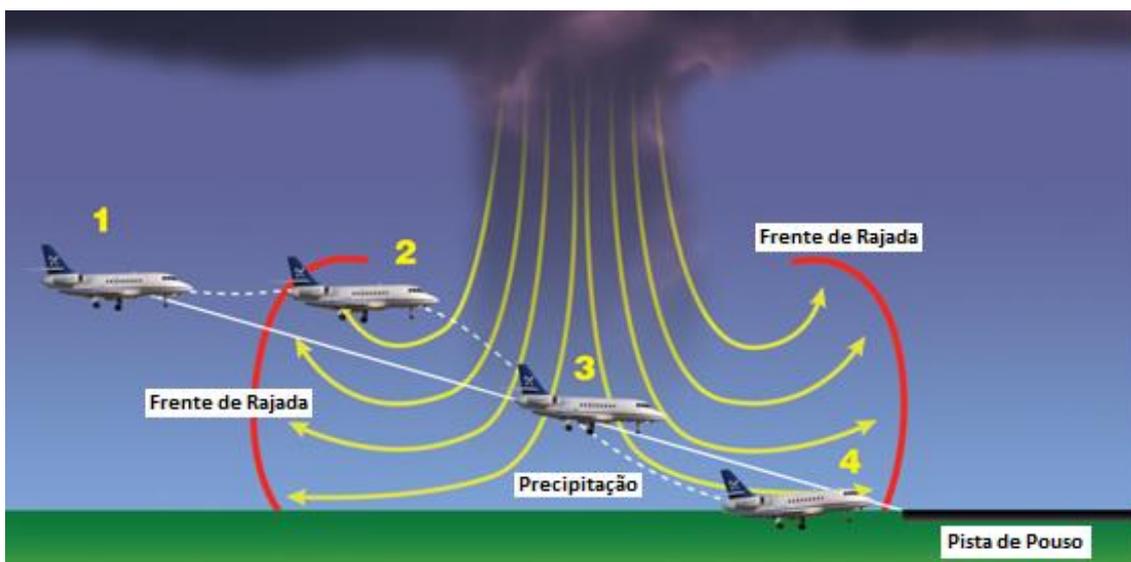
Considerando que os vários tipos e tamanhos das aeronaves sofrem efeitos distintos em relação a uma determinada condição, a ICAO (apud WMO, 2007, p. 1) caracteriza a intensidade turbulenta nas aeronaves da seguinte maneira:

- a) Leve – Os efeitos sobre o voo são menores que aqueles encontrados na intensidade moderada;
- b) Moderada – Pode haver mudanças moderadas na altitude e/ou no peso das aeronaves, mas estas permanecem sob o controle dos pilotos durante todo o tempo. Variações na velocidade do ar são pequenas, sendo que a leitura do acelerômetro das aeronaves registra mudanças de 0,5 a 1 g no centro de gravidade. Os passageiros sentem a pressão dos cintos de segurança; há dificuldade em caminhar pela aeronave; e objetos soltos se movem;

- c) Severa – Percebem-se mudanças abruptas na altitude e/ou no peso das aeronaves. Pode haver perda de controle do voo por pequenos períodos de tempo. Mudanças na leitura dos acelerômetros são maiores que 1 g, e os passageiros sentem forte pressão dos cintos de segurança, além de objetos serem lançados ao ar; e
- d) Extrema – Os efeitos são mais intensos que na intensidade severa.

O surgimento de cisalhamento do vento e/ou turbulência pode ser derivado das seguintes causas: convecção, orografia, corrente de jato, jato de baixos níveis e vórtices de ponta de asas. Os efeitos sobre as aeronaves são percebidos pelo balanço mais ou menos intenso no voo. Uma turbulência severa pode danificar seriamente a aeronave, além de provocar graves lesões aos passageiros (WMO, 2007). Na Figura 4.1, pode-se notar o principal perigo da presença de turbulência severa quando ocorre próxima ao solo.

Figura 4.1 – *Microbust* ou *downdraft*.



Um dos efeitos turbulentos que é perigoso durante o pouso, em decorrência da presença de correntes descendentes convectivas (*microbust* ou *downdraft*).

Fonte: traduzido de Shein (2016).

#### 4.2.2. Teto baixo e/ou visibilidade restrita

Os parâmetros teto baixo e visibilidade restrita, de alguma forma, contribuem para promover a restrição operacional das aeronaves durante sua trajetória, desde o portão de saída de um aeroporto até o portão de chegada em seu destino. Condições adversas de tempo podem ocasionar tetos baixos e

visibilidades restritas às operações aéreas. Nesse contexto, é imperativa a compreensão do significado estrito desses dois termos (USAF, 2012).

Para a USAF (2012), a condição meteorológica de teto deve ser considerada quando existe uma camada de nuvem baixa relatada cobrindo cinco ou mais oitavos do céu (*broken* ou *overcast*), ou quando o céu está totalmente obscurecido por um fenômeno meteorológico específico. Uma condição de teto também pode ser composta de duas ou mais camadas interligadas, ou composta de uma camada com numerosos elementos destacados. Na mesma linha, o DECEA (2014b, p. 33) define teto como a “altura, acima do solo ou água, da base da mais baixa camada de nuvens, abaixo de 6.000m (20.000 pés) que cobre mais da metade do céu”.

Podem ser classificados como fenômenos que provocam obscurecimento: precipitação, fumaça, névoa, neblina ou outras condições de restrição de visibilidade desde que se estenda para cima, a partir da superfície. Um céu obscurecido ocorre quando o céu está totalmente escondido de um observador no chão. Nesse caso, o teto será relatado como a visibilidade vertical do solo para cima na obstrução (USAF, 2012).

O parâmetro meteorológico visibilidade pode ser definido tomando como base o grau de transparência da atmosfera. Ou seja,

a capacidade humana em perceber a maior distância na qual um objeto preto de dimensões adequadas (localizado no chão) pode ser visto e reconhecido quando observado contra o céu do horizonte, durante a luz do dia, ou pode ser visto e reconhecido durante a noite, se a iluminação geral for elevada ao nível normal da luz do dia (traduzido de WMO, 1992a, 2010a, apud WMO, 2014, p. 291).

Nos serviços meteorológicos para a aviação, observações meteorológicas sobre visibilidade são empregadas principalmente durante procedimentos de pouso e decolagem, ou seja, nas proximidades de um aeroporto. Elas devem representar as condições de transmissividade da atmosfera, principalmente na área de toque, durante o pouso. É importante destacar que essa região do aeroporto pode estar a vários quilômetros da estação de observação. Além disso, deve-se considerar que existem condições meteorológicas mínimas para que os pilotos decidam sobre a realização segura do pouso ou da decolagem.

Assim, informações precisas e confiáveis desse parâmetro devem ser divulgadas adequadamente (WMO, 2014).

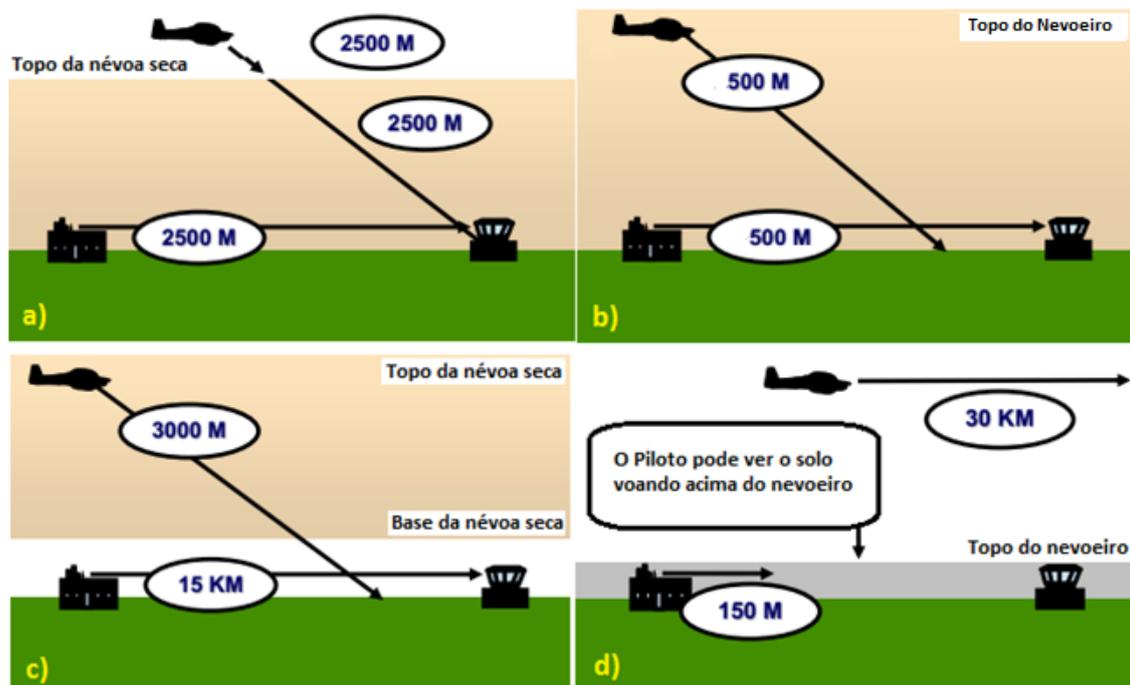
Para a USN (2008, p. 4-17), existem diferentes tipos de visibilidade, a saber: visibilidade predominante, visibilidade inclinada, visibilidade setorial e alcance visual da pista.

- a) Visibilidade predominante – “é a maior visibilidade horizontal observada ao longo de, pelo menos, metade do círculo do horizonte”. Ela deve ser representativa das condições a 6 pés acima do solo, no ponto de observação, e não precisa ser contínua ao longo de 180 graus consecutivos. Os voos realizados sob as regras de voo visual (*Visual Flight Rules – VFR*) ou sob as regras de voo por instrumentos (*Instrument Flight Rules – IFR*) são determinados pela visibilidade predominante;
- b) Visibilidade inclinada – “é o ângulo do qual o piloto vê um aeródromo ou um alvo de um ponto de vista acima do solo”. Em vários casos, a visibilidade inclinada pode ser inferior à visibilidade predominante na superfície;
- c) Visibilidade setorial – “é a visibilidade dentro de um arco de 45 graus especificado (NE, SE, SW, NW etc.) do círculo do horizonte, que tem visibilidade essencialmente uniforme”. A visibilidade do setor pode ser relatada quando a visibilidade observada não é uniforme em todas as direções horizontais; e
- d) Alcance visual da pista (*Runway Visual Range – RVR*) – “é um valor de visibilidade derivado de um instrumento que representa a distância horizontal que um piloto pode ver na pista”. Essa visibilidade procura representar a melhor avaliação possível da distância em que um piloto de aeronave, sobre o eixo da pista, pode ver as marcas na superfície ou as luzes que a delimitam ou identificam seu eixo.

Para a WMO (2007), definir restrição de visibilidade ou visibilidade restrita para pousos e/ou decolagens é bastante difícil. Isso ocorre devido a essa condição ser considerada pouco perigosa, uma vez que o procedimento de pouso e decolagem depende do tipo de aeronave, da habilidade e experiência do piloto, do comportamento preciso que a aeronave está desempenhando, e das ajudas

à navegação disponíveis no percurso ou nos aeródromos de partida, de destino ou de alternativa. Além disso, a baixa visibilidade também pode restringir pequenas áreas (na forma de bancos de nevoeiros ou nevoeiros rasos, por exemplo), em função de chuva, névoa seca, névoa úmida, fumaça etc. Sob tais circunstâncias, um piloto pode contornar tal limitação. Por outro lado, a visibilidade restrita pode, muitas vezes, afetar grandes áreas, provocando situações operacionais difíceis. A Figura 4.2 exemplifica as condições descritas.

Figura 4.2 – Visibilidade aeronáutica.



Restrições de visibilidade para a aviação: a) aeronave voando no topo da camada de névoa seca, sendo que o piloto percebe a visibilidade muito próxima daquela reportada em superfície; b) aeronave voando dentro da camada de nevoeiro, sendo que o piloto procura se orientar por meio de instrumentos; c) aeronave voando dentro da camada de névoa seca, sendo que o piloto percebe a visibilidade menor em relação àquela reportada em superfície; d) aeronave voando acima da camada de nevoeiro, sendo que o piloto percebe a visibilidade muito superior àquela reportada em superfície..

Fonte: traduzido de WMO (2007).

Segundo a WMO (2007), os principais problemas proporcionados pela restrição da visibilidade ao piloto e seu voo são:

- a) dificuldade em tomar medidas para evitar um obstáculo avistado, em função de a visibilidade estar abaixo dos valores operacionais aceitáveis;

- b) desorientação, desde que não treinado para voar através de visibilidade baixa utilizando como referência os instrumentos;
- c) falta de percepção de que a visibilidade não é tão boa quanto a relatada em superfície, ao voar dentro de camada de névoa seca; e
- a) falsa sensação de segurança ao voar acima de uma camada de névoa seca ou nevoeiro.

#### **4.2.3. Formação de gelo**

A formação de gelo representa uma séria ameaça à aviação (WMO, 2007; USN, 2008; USAF, 2012). Esse fenômeno pode se tornar perigoso em qualquer fase do voo. Ela é classificada em dois principais grupos: formação de gelo estrutural e formação de gelo no motor/turbina (USN, 2008).

A formação de gelo estrutural ocorre na área externa de uma aeronave, ou seja, nas asas, fuselagem, antenas, tubos Pitot, pás de rotor e hélices. Isso pode causar problemas de controle e diminuição no desempenho das aeronaves. Os tipos de formação de gelo estrutural são definidos como claro, escarcha, misto e geada (USN, 2008).

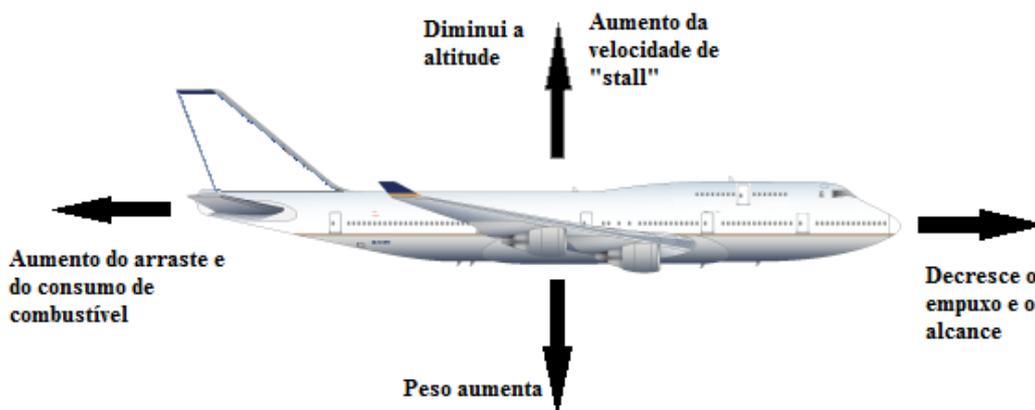
Gelo do tipo claro normalmente ocorre em atmosfera instável, tal como dentro de nuvens cumulus, em temperaturas entre 0 °C e -10 °C. Nessas condições, as gotas de água, quando presentes na atmosfera, são maiores, formando um gelo transparente, resistente, adesivo, denso e pesado, liso, de pouco efeito sobre o fluxo de ar. Em vez de congelar instantaneamente ao entrar em contato com a superfície da aeronave, essas gotas maiores de água escorrem junto com o fluxo de ar, congelando lenta e gradualmente. Isso produz uma camada bem sólida e resistente de gelo (WMO, 2007; USN, 2008).

Gelo do tipo escarcha possui um aspecto branco leitoso, sendo que o gelo formado é poroso, opaco, frágil e áspero (WMO, 2007). Geralmente ocorre quando a temperatura ambiente está entre -10 °C e -20 °C. Ele é mais denso e mais duro do que a geada, porém mais leve, mais macio, e menos transparente do que o gelo claro. Além disso, ocorre em condições atmosféricas estáveis, onde as gotas de água são menores e congelam instantaneamente. É frágil e bastante fácil de quebrar. Esse tipo de formação de gelo não costuma se

espalhar sobre a superfície de uma aeronave. Ele se forma ao longo dos bordos de ataque dos aerofólios, onde flui a corrente de ar (USN, 2008).

Gelo misto é uma combinação de gelo claro e gelo escarcha. Ocorre em condições atmosféricas onde existem gotículas de água grandes e pequenas. Nesse caso, normalmente a temperatura está entre  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sua aparência é granulosa, tal como o gelo escarcha, mas igualmente dura e densa tal como ocorre com o gelo tipo claro. Essa formação de gelo é o tipo encontrado com maior frequência sobre as aeronaves durante os voos (USN, 2008).

Figura 4.3 – Formação de gelo em aeronaves.

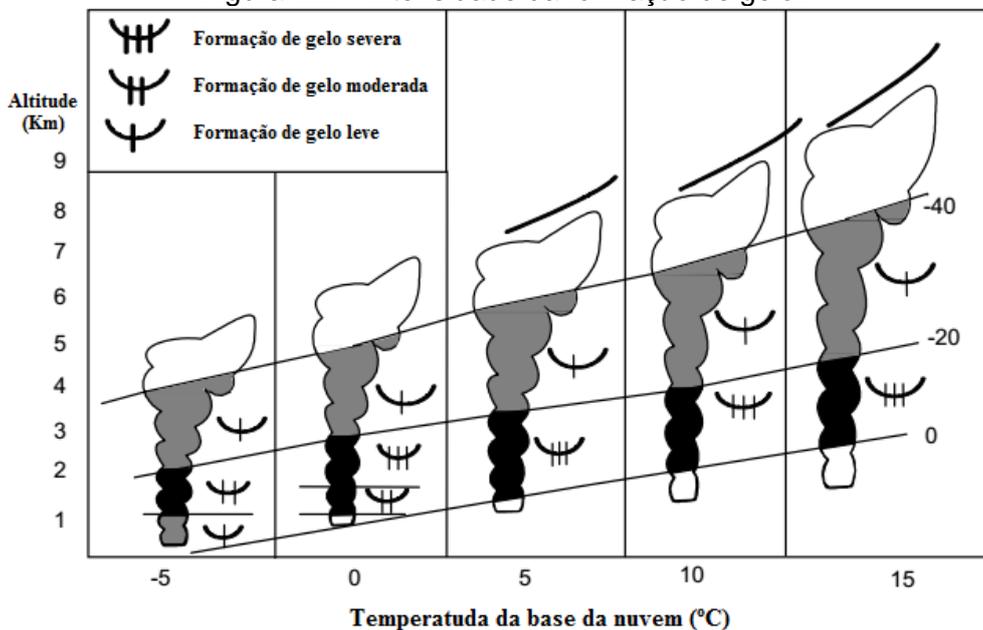


Impacto da formação de gelo sobre a estrutura das aeronaves. A presença de gelo em uma aeronave diminui a sua altitude, o seu empuxo e o seu alcance. Ele aumenta o arrasto, o peso, o consumo de combustível e a velocidade de sustentação - "stall".  
Fonte: adaptado de USN (2008).

Geada é uma camada fina de gelo cristalino que se forma sobre superfícies expostas das aeronaves, geralmente em noites claras e calmas de inverno. Esse tipo de formação de gelo também ocorre quando uma aeronave muda de nível de voo com temperaturas de congelamento e alcança uma zona de alta umidade. Assim como outras formas de gelo, ela pode reduzir a visibilidade sobre o para-brisa da aeronave, dificultar muito o fluxo de ar sobre a camada-limite laminar existente sobre os aerofólios, aumentando o arrasto, provocando queda de altitude e aumento da velocidade de sustentação - "stall" (USN, 2008).

A formação de gelo não se restringe aos aerofólios e outras estruturas externas. Motores, combustível e instrumentos também podem ser afetados por esse fenômeno. A ocorrência de gelo no motor é comum quando a temperatura do ar está alguns graus acima de 0 °C e a umidade relativa é superior a 60% (WMO, 2007). A formação de gelo nas estruturas das aeronaves pode bloquear o tubo Pitot, as portas estáticas e as antenas. Isso proporciona indicações errôneas em vários instrumentos de bordo, como o indicador de velocidade aerodinâmica, o indicador de velocidade vertical (*Vertical Speed Indicator – VSI*), e o altímetro, além de dificultar as comunicações (USN, 2008).

Figura 4.4 – Intensidade da formação de gelo.



Relação entre a Intensidade da formação de gelo, a temperatura da nuvem e altitude.  
Fonte: traduzido de WMO (2007).

Para a USN (2008), podem ser identificados outros dois tipos de formação de gelo em aeronaves: gelo por indução, e no compressor. A formação de gelo induzida ou por indução ocorre nos dutos de ar durante a realização de voos através de nuvens que contêm gotas de água super-resfriadas. Ela é semelhante à formação de gelo na asa. Entretanto, os dutos de ar podem congelar mesmo quando o céu está claro e as temperaturas estão acima do ponto de congelamento. Isso ocorre devido à pressão na entrada dos dutos de ar ser reduzida, provocando a diminuição da temperatura até o ponto em que ocorre sublimação e/ou deposição de gelo. A formação de gelo nas telas e nas palhetas-guia da entrada do compressor poderá impedir o fluxo de ar,

causando o apagamento do motor com o tempo. A perda de empuxo e um aumento rápido na temperatura dos gases de escape são os maiores indicativos da redução do fluxo de ar derivada da presença dessas condições.

#### **4.2.4. Nuvens cumulonimbus e trovoadas**

Para a USAF (2012), USN (2008) e WMO (2007) a presença de nuvens cumulonimbus (Cb) com trovoadas provocam os perigos mais graves para operações de pouso, decolagem, e para o voo em rota. Elas são acompanhadas por ventos fortes, turbulência severa, formação severa de gelo, granizo, descargas Para a USAF (2012), USN (2008) e WMO (2007), a presença de nuvens cumulonimbus (Cb) com trovoadas provoca os perigos mais graves para operações de pouso e decolagem e para o voo em rota. Elas são acompanhadas por ventos fortes, turbulência severa, formação severa de gelo, granizo, descargas elétricas e estáticas frequentes, chuva e/ou pancada de chuva forte, cisalhamento do vento (*windshear*), “microexplosão” (*microburst*), e, até mesmo, tornados.

A USAF (2012) cita que a turbulência severa está presente em todas as tempestades. Ela pode danificar a fuselagem das aeronaves e causar ferimentos graves aos passageiros e à tripulação. Seu aspecto mais violento ocorre no cisalhamento existente entre as correntes ascendentes e descendentes e nas proximidades das nuvens Cb, em vários níveis da atmosfera. A área turbulenta em baixo nível atinge a superfície e se espalha lateralmente na forma de frente de rajada. Nuvens do tipo rolo podem surgir na borda principal de uma tempestade. Isso, muitas vezes, indica redemoinhos associados ao cisalhamento descrito.

A USN (2008) descreve que grandes variações no campo de pressão podem acompanhar a formação de tempestades, devido à turbulência das correntes ascendentes e descendentes. Erros altimétricos em mais de 200 pés podem ocorrer em tais circunstâncias.

Segundo a USAF (2012), espera-se que a formação de gelo severa exista em nuvens Cb no nível onde a temperatura do ar varia de 0 °C a -20 °C. A região de formação de gelo mais intensa ocorre de 0 °C a -10 °C. As piores condições de congelamento costumam ser encontradas apenas acima do nível de

congelamento, entre 0 °C e -5 °C. Essa altitude específica é a mais perigosa, tendo em vista que chuvas e turbulências ocorrem com maior frequência nessa região. Devido à umidade elevada e à presença de grandes gotas de água, a formação de gelo do tipo claro é predominante, acumulando-se rapidamente em várias partes das aeronaves.

Não é raro encontrar granizos dentro ou perto das nuvens cumulonimbus. Eles se originam na região próxima ao acoplamento entre as correntes ascendentes e descendentes das nuvens de tempestades. Supercélulas de Cb contêm enormes correntes ascendentes e descendentes. Isso promove a formação de granizos de tamanho grande, por acreção (USAF, 2012).

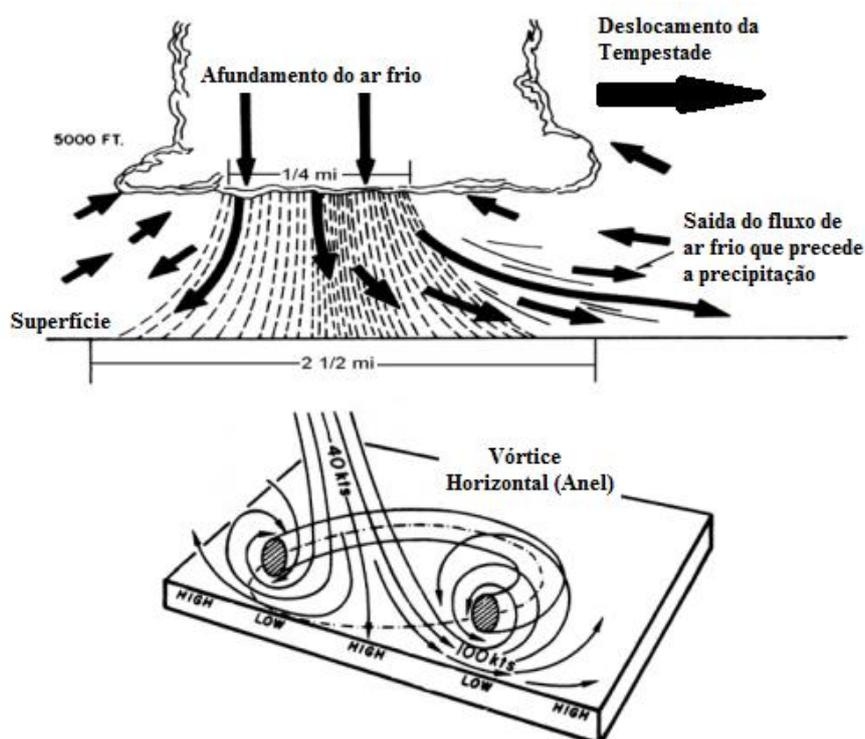
Para a WMO (2007), os efeitos perigosos sobre o voo e as aeronaves vão desde pequenas marcas produzidas sobre a fuselagem e redução da visibilidade, quando o granizo é pequeno (menor que 5 mm), até a afetação da aerodinâmica da aeronave e quebra do para-brisas. Para granizos grandes (iguais ou maiores que 5 mm), ocorrem danos graves nas pás do propulsor ou nas pás do motor. A intensidade da precipitação de granizo também pode promover o bloqueio ou se depositar em algum lugar dentro das entradas de ar. Para o caso do pouso, pancadas de granizo podem deixar a superfície das pistas e vias de circulação extremamente escorregadias.

Segundo a USAF (2012), descargas elétricas ou relâmpagos ocorrem em todos os níveis ao redor da parte superior, nos lados e nas bases das nuvens de tempestades. A maioria das descargas ocorre entre nuvens ou dentro de uma nuvem Cb. Descargas eletrostáticas são produzidas pela própria aeronave ao voar através de nuvens ou precipitação (líquida ou congelada) ou entre partículas sólidas. O campo elétrico criado gera uma descarga ao entrar em contato com áreas carregadas da atmosfera. Os relâmpagos e as descargas eletrostáticas provocam efeitos variados sobre aeronaves e tripulações. Geralmente, os danos estruturais são pequenos.

Danos nos sistemas elétricos, instrumentos, aviônicos e radar da aeronave são os mais comuns. A WMO (2007) descreve a ocorrência de possíveis danos sobre os equipamentos de radiocomunicação e navegação. Nesse caso, o ADF (*Automatic Direction Finder*) irá frequentemente apontar para o centro da tempestade em vez da direção prevista para o voo.

A intensidade da precipitação provocada por uma nuvem Cb também é fator marcante nas operações aéreas. Para a WMO (2007), a chuva é considerada forte quando a razão de precipitação excede 4 mm por hora. Para pancadas de chuva, essa taxa excede 10 mm por hora. A restrição provocada por essas condições ocorre devido aos pingos de chuva impactarem o para-brisa e os limpadores não serem capazes de retirá-los completamente desse local. Aeronaves pequenas, leves e não pressurizadas, quando operam em presença de chuva forte, podem sofrer ingestão de água na cabine e/ou no motor, provocando riscos para os equipamentos eletrônicos e, em casos extremos, até o apagamento dos motores. Uma camada espessa de água na pista pode proporcionar a travagem assimétrica dos pneus durante a frenagem e/ou aquaplanagem.

Figura 4.5 – Características de uma microexplosão.



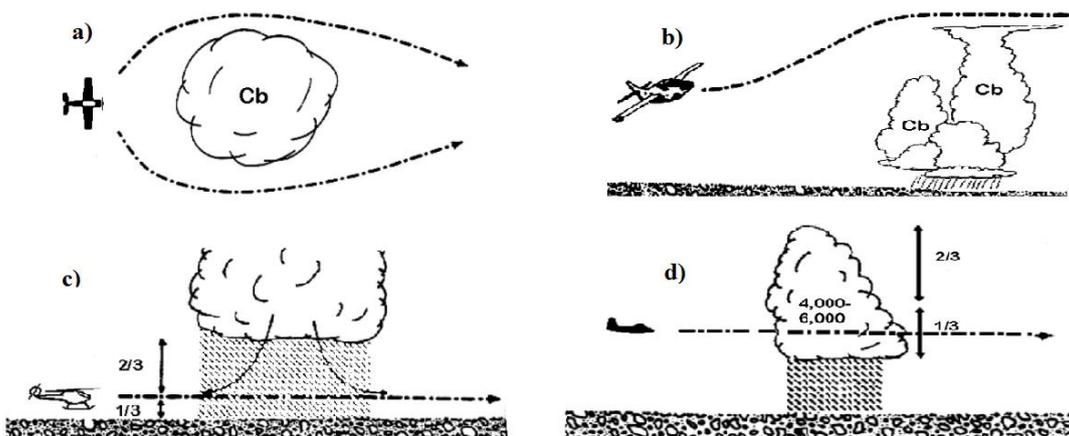
Fonte: traduzido de USN (2008).

O cisalhamento do vento e as microexplosões também fazem parte do contexto atmosférico presente em Cbs e tempestades. Os efeitos do cisalhamento do vento já foram comentados anteriormente. Para a USN (2008), uma microexplosão é um fluxo de ar atmosférico oriundo de uma nuvem Cb, intenso

e descendente, altamente localizado, com velocidades que variam de 2.000 a mais de 6.000 pés por minuto. Esse fluxo descendente é divergente e produz um anel de vento em forma de vórtice em superfície, com velocidades que variam de 20 a 200 nós em uma área de apenas  $\frac{1}{4}$  a  $2\frac{1}{2}$  milhas de diâmetro (Figura 4.5). Microexplosões podem estar presentes em qualquer nuvem convectiva, não apenas em Cbs. Sua vida útil é relativamente curta: desfaz-se apenas de 5 a 10 minutos após atingir o solo.

A USN (2008) ainda descreve que o cisalhamento do vento, criado por uma microexplosão, é extremamente perigoso para a aeronave durante os procedimentos de decolagem, aproximação e taxiamento. Nem todas as microexplosões são associadas a nuvens Cb e trovoadas. Microexplosões podem estar presentes durante pancadas de chuva, mesmo que não atinjam o solo (virga).

Figura 4.6 – Técnicas de voo nas proximidades de nuvens cumulonimbus (Cb).



Fonte: traduzido de USN (2008).

A Figura 4.6, adaptada de USN (2008), apresenta algumas técnicas para voos realizados nos arredores das nuvens Cb. Considerando que as nuvens de tempestades possuem tantos perigos potenciais, é possível evitá-las, principalmente quando essas formações meteorológicas estão isoladas. Nesse caso, elas podem ser facilmente contornadas desde que se consiga visualizar claramente a nuvem, fato exemplificado na Figura 4.6a. Quando esse desvio pelas laterais das nuvens de tempestades não é possível, o próximo melhor recurso é ultrapassá-la por cima (Figura 4.6b).

No entanto, esse procedimento se limita somente àquelas aeronaves que possuem capacidade, combustível e teto operacional para isso. Quando nenhuma dessas duas últimas opções é possível, existe ainda a possibilidade de ultrapassar por baixo da Cb, conforme observado na Figura 4.6c. Nesse caso, existe a necessidade de manter uma altitude de segurança entre a Cb e o solo ao mesmo tempo. A regra recomendada é dividir a distância entre a base da nuvem e o solo em terços. Voar a dois terços da base da nuvem, conforme pode ser observado na Figura 4.5c é a melhor indicação. Contudo, esse procedimento não é recomendado para voos realizados em áreas de terreno montanhoso. Outra limitação apresentada por essa técnica é que o voo nessa região costuma enfrentar nuvens baixas, visibilidade restrita e turbulência moderada. Além disso, a ameaça mais perigosa para o voo abaixo de uma tempestade está relacionada à presença de correntes descendentes mais intensas, ou seja, microexplosão (USN, 2008).

Por fim, caso nenhuma dessas possibilidades possa ser empregada, a última opção é penetrar a formação de nuvem Cb, considerando o que pode ser observado na Figura 4.5d. Essa possibilidade só é recomendada em condições críticas de voo, por urgência da missão ou limitação de combustível. Nesse caso, a penetração deve ser realizada no terço mais baixo da nuvem Cb, uma vez que a maioria dos perigos mais graves ocorre nos outros dois terços da célula. É importante levar em conta uma folga adequada acima do terreno na seleção de um nível de penetração, em função da possível variação na intensidade das correntes descendentes existentes na nuvem (USN, 2008).

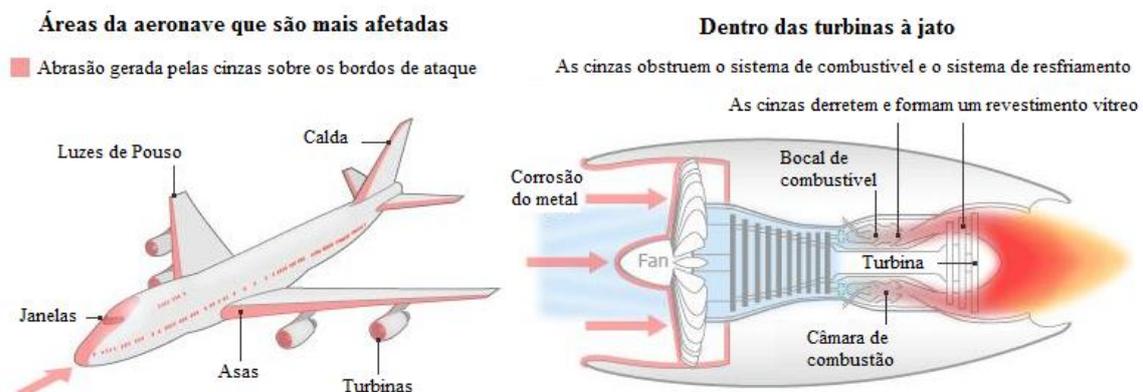
#### **4.2.5. Cinzas vulcânicas**

Vulcões ativos emitem cinzas que são extremamente perigosas para o voo de aeronaves. A perda significativa de potência e/ou múltiplas falhas, erosão rápida e danos aos componentes internos dos motores, junto ao jateamento dos bordos de ataque e para-brisas, são os principais efeitos da presença de cinzas vulcânicas na atmosfera sobre as aeronaves. Tendo em vista que as nuvens de cinzas vulcânicas não são detectadas por radares de controle de tráfego aéreo (ATC), pois a refletividade das cinzas vulcânicas é aproximadamente um milhão de vezes menor que a de uma nuvem

cumuliforme, é particularmente difícil que a tripulação de voo seja alertada ou perceba sua presença (USN, 2008).

A identificação desse tipo de condição atmosférica é feita por meio de odor acre e irritação ocular. Se a atividade vulcânica for relatada, deverá ser feito o planejamento do voo para que a aeronave mantenha uma distância de pelo menos 20 NM da área identificada. As nuvens de cinzas vulcânicas podem ser espalhadas por várias centenas de milhas e milhares de metros de altitude (USN, 2008). Alguns dos potenciais efeitos danosos podem ser observados na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Perigos do voo através de nuvens de cinzas vulcânicas.



Fonte: traduzido de Open Gardens (2010).

### 4.3. Condições Meteorológicas e Gerenciamento do Tráfego Aéreo

Duas das mais importantes organizações que administram o tráfego aéreo em seus países vêm realizando, há algum tempo, estudos a respeito da interferência das condições meteorológicas sobre o gerenciamento de tráfego aéreo e da integração das previsões de tempo ao gerenciamento de fluxo. São elas: a *Federal Aviation Administration* (FAA), dentro do *National Airspace System* (NAS), e o *EUROCONTROL Experimental Centre* (EEC), no *EUROCONTROL System*. Suas principais preocupações advêm do fato de que determinados fenômenos meteorológicos provocam restrições e paralisações significativas sobre o fluxo de tráfego aéreo. Isso ocorre em decorrência dos impactos provocados sobre as operações das aeronaves em voo, aeroportos, e operação de órgãos ATC.

Diversos trabalhos validam o quanto e como as condições de tempo impactam o sistema de transporte aéreo, no contexto da segurança, eficiência, previsibilidade, flexibilidade etc.

Krozel et al. (2011), Michalek e Balakrishnan (2010; 2009a), e DeLaura et al. (2008), dentre vários outros, focam na identificação e no emprego de técnicas para se evitar as condições convectivas de tempo durante o voo.

Rhoda e Pawlak (1999a, 1999b) merecem destaque, pois buscam estabelecer o comportamento dos pilotos americanos diante da presença de condições meteorológicas convectivas em sua rota, a partir de 60 milhas náuticas de distância para o pouso. Nessa mesma linha, Rhoda et al. (2002) comparam o comportamento dos pilotos para evitar tempestades durante o voo em rota ao comportamento dos pilotos que encontram as mesmas condições em baixas altitudes, ou seja, na área terminal do aeroporto.

No contexto de gerenciamento de tráfego aéreo e condições adversas de tempo, Weber et al. (2005) citam que um dos fatores que proporcionam atrasos nos voos é o aumento do congestionamento das aeronaves voando em nível de cruzeiro, ou em setores em áreas terminais, quando da presença de trovoadas. Nesse trabalho, os pesquisadores apresentam abordagens que poderiam melhorar a qualidade das previsões de tempo, com o objetivo de convertê-las em estimativas futuras de capacidades do espaço aéreo. A ideia foi desenvolver um modelo robusto de otimização do gerenciamento de tráfego aéreo com base nas estimativas de capacidade futura, considerando os limites de incerteza das previsões de trovoadas. Eles também discutem o problema da presença de trovoadas dentro da gestão do espaço aéreo da época.

DeLaura e Evans (2006) pontuam que a otimização do fluxo de tráfego aéreo é extremamente complexa em um espaço aéreo muito congestionado, principalmente quando da existência de variação rápida das condições de tempo. O trabalho teve como objetivo propor a criação de um modelo estatístico quantitativo capaz de prever quando um piloto fará desvios em sua rota, durante a presença de tempo convectivo. A intenção foi incorporar os resultados encontrados a um sistema de gerenciamento de tráfego aéreo, conhecido como *Enhanced Traffic Management System (ETMS)*, a fim de

estabelecer procedimentos automatizados para decisões táticas relacionadas ao controle de fluxo e capacidade do espaço aéreo.

Krozel et al. (2007) estimam a capacidade de um espaço aéreo em um nível de voo específico, considerando a presença de condições de tempo convectivas, sob várias situações operacionais. Além disso, as consequentes restrições surgidas são identificadas e destacadas como importantes para o gerenciamento eficaz de tráfego aéreo. O trabalho desses pesquisadores concentra-se nas limitações das taxas de transferência dos voos impostas pela geometria estabelecida em um espaço aéreo. Eles calculam a permeabilidade máxima de um determinado espaço aéreo restrito, separando as questões inerentes aos fatores humanos que afetam essa capacidade.

Para Kulin (2008), devem ser realizados esforços para desenvolver ferramentas de suporte às decisões com o objetivo de aumentar a segurança e eficiência do sistema de controle de tráfego aéreo. Sua pesquisa descreve técnicas capazes de minimizar o esforço humano e computacional quando da análise de grandes conjuntos de dados. Isso permite a formulação de relações entre um grande número de variáveis vinculadas às condições de tempo e um respectivo plano de voo. Foi estabelecido um novo método para traduzir as informações meteorológicas em padrões possíveis para trajetórias das aeronaves.

Song et al. (2009) pontuam que a capacidade do espaço aéreo é difícil de estimar e prever. Considerando que o gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo é função do equilíbrio entre a demanda de voo e a disponibilidade da capacidade do espaço aéreo, esses pesquisadores estudam a redução da capacidade de um setor em função da presença de condições de tempo severas. Eles propõem métodos para estimar os impactos proporcionados pelo mau tempo sobre a capacidade do setor, considerando três tipos de índices definidos por eles. Os resultados foram correlacionados à disponibilidade do setor. Isso revela como o gerenciamento do tráfego aéreo ocorreria. Com isso, foi possível propor a criação de um algoritmo que pudesse determinar a capacidade dos setores, em função de impactos provocados por mau tempo, e a automatização de decisões táticas relacionadas ao gerenciamento do tráfego aéreo.

O trabalho de Michalek e Balakrishnan (2009b) aborda o impacto provocado por condições de tempo convectivas sobre o aumento do atraso nos voos, o que provoca interrupções generalizadas no sistema de gerenciamento do espaço aéreo norte-americano, chamado U.S. National Airspace System (NAS). Nessa abordagem, são identificadas as rotas mais confiáveis, além de obter previsões estocásticas de capacidade derivadas das previsões de tempo convectivo. Esse tipo de situação teve por motivação a necessidade de se desenvolver algoritmos que auxiliem no gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo (*Air Traffic Flow Management - ATFM*). O objetivo foi otimizar rotas de voo quando da ocorrência da redução na capacidade do espaço aéreo e de aeroportos.

Para Klein et al. (2009), apesar de se saber que as condições meteorológicas são o principal fator que causa atrasos no tráfego aéreo nos EUA, não se sabe qual parte desse impacto está relacionada à precisão da previsão do tempo. Assim, o objetivo desses pesquisadores foi estimar atrasos e custos evitáveis, atribuídos à precisão da previsão do tempo na área terminal de alguns aeroportos predefinidos. O resultado comprova a eficácia do modelo empregado pelos pesquisadores, no contexto da estimativa de custos ocasionados pelos erros das previsões de tempo. Também se destaca a importância de as condições de tempo e a demanda por tráfego aéreo nunca serem consideradas separadamente, quando se analisa a ocorrência de impacto operacional nos aeroportos.

Outros estudos sobre a relação entre a condição de tempo e condições ATM podem ser encontrados em Klimenko e Krozel (2011) e Evans et al. (2006). Sobre a integração das condições meteorológicas em sistemas ATM, trabalhos como MIT (2016a; 2016b), Consiglio et al. (2011), Krozel (2011), FAA (2007), e Evans e Ducot (2006) merecem destaques deste autor.

#### **4.4. Fenômenos Meteorológicos na Área de Estudo**

A área de estudo desta pesquisa está localizada na Região Sudeste, entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Os principais fenômenos que podem provocar alterações de tempo nessa parte do Brasil são as Frentes, as Linhas de Instabilidade (LI), as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as

Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU), as convecções de massa de ar, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), e os nevoeiros (NETO, 2005).

Para a USAF (2012), frentes são regiões-limite entre duas massas de ar com diferentes temperaturas e densidades. Para a USN (2008), dependendo do grau de diferença entre as propriedades das duas massas de ar adjacentes, intensas atividades de tempo ocorrerão ao longo dessa região. Conseqüentemente, as condições de tempo perigosas para a aviação estão localizadas nessa região ou em suas imediações.

Por outro lado, algumas frentes não produzem atividades convectivas intensas, nuvens ou precipitação. Além disso, as condições de tempo associadas a uma determinada região frontal são frequentemente diferentes de outra região na mesma frente. Acrescente-se a isso que não é possível concluir que todo o tempo adverso ocorrerá ao longo das frentes. Existem casos onde áreas muito grandes de teto baixo e baixa visibilidade ocorrem em regiões muito distantes desse tipo de fenômeno (USN, 2008).

Assim, no voo, ao longo das frentes, podem-se encontrar condições de tempo desde insignificantes até extremamente perigosas. As situações perigosas podem incluir tempestades, turbulência, formação de gelo, teto baixo e baixa visibilidade. O grau de severidade da precipitação e do tipo de nuvem convectiva formada ao longo de uma frente depende da quantidade de umidade disponível, do grau de estabilidade do ar, do grau de inclinação da rampa frontal, da velocidade de deslocamento da frente e do contraste de temperatura e umidade existentes entre as duas massas de ar adjacentes (USN, 2008).

Ainda segundo a USN (2008), a quantidade de umidade disponível, referenciada como ponto de orvalho, determina a intensidade das condições meteorológicas associadas à frente. O grau de estabilidade do ar determina o tipo de nebulosidade. Quando o ar está estável, as nuvens produzidas possuem características estratiformes, sendo sua precipitação contínua, se houver. Existe pouca ou nenhuma turbulência nessas condições. A precipitação de intensidade moderada ou forte e a presença de turbulência são indicativas da presença de nuvens cumuliformes, em ar instável.

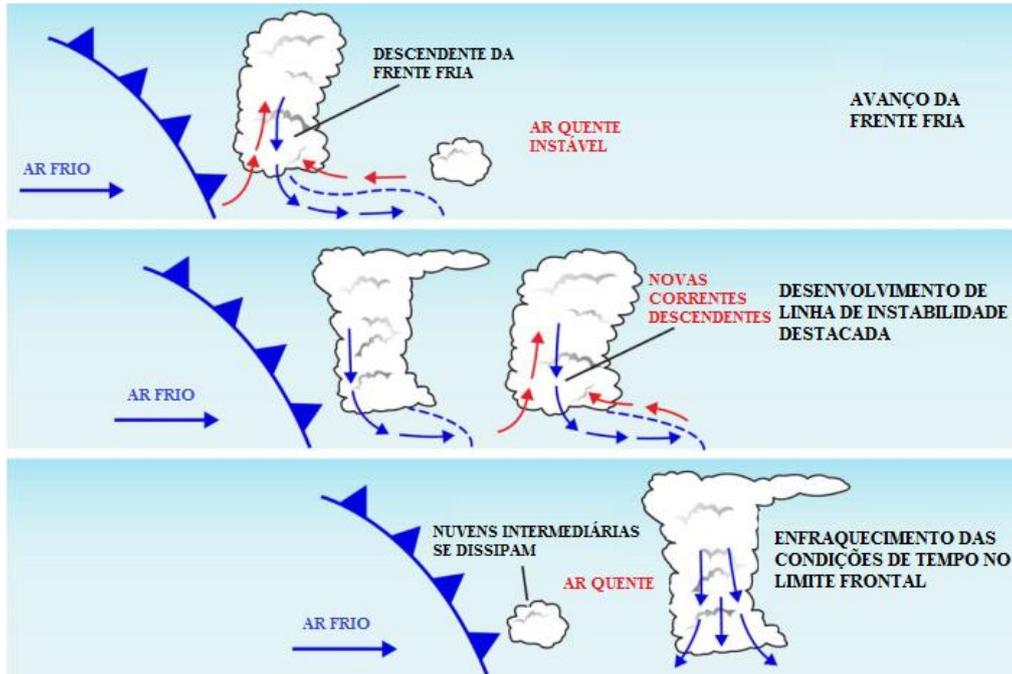
O grau de inclinação da rampa frontal é responsável, também, pelo tipo de nebulosidade presente nas frentes. Rampas menos inclinadas tendem a produzir céu encoberto com grandes áreas da precipitação contínua. Para inclinações frontais íngremes, com movimento frontal rápido, são produzidas faixas mais estreitas de nebulosidade de grande extensão vertical, provocando precipitação do tipo pancadas, derivadas de nuvens cumuliformes. As frentes com esse tipo de característica costumam separar massas de ar com propriedades muito diferentes, indicando o potencial para condições de tempo mais severas (USN, 2008).

A velocidade da frente também afeta as condições de tempo associadas a ela. As frentes com movimentos mais rápidos produzem faixas estreitas de condições meteorológicas mais severas. Por outro lado, as frentes com movimentos mais lentos são menos severas, mas a região frontal é mais extensa (USN, 2008).

Para a USAF (2012), em determinadas condições, uma LI é composta de nuvens cumulonimbus e pode se desenvolver entre 90 e 360 km adiante e paralelamente a uma frente fria de rápido movimento. Sua sistemática de formação pode ser vista no esquema apresentado na Figura 4.8. São características importantes das LIs:

- a) produzem trovoadas muito similares àquelas presentes numa frente fria, mas também podem ser bem mais violentas;
- b) as bases das nuvens costumam ser mais baixas e as partes superiores, mais altas do que a maioria de outros tipos de Cbs;
- c) possuem condições mais severas de tempo (granizos maiores, ventos mais perigosos, e tornados);
- d) a existência de uma frente não é um pré-requisito para a formação desse fenômeno; e
- a) podem acompanhar cavados de baixa pressão ou linhas onde a brisa do mar converge contra barreiras de montanhas.

Figura 4.8 – Formação de Linha de Instabilidade frontal.



Fonte: traduzido de USAF (2012).

Assim, o voo em presença de LI pode sofrer com turbulência (possivelmente extrema), cisalhamento do vento, tempestades, relâmpagos, chuva forte, granizo, formação de gelo e, possivelmente, tornados. Outras condições perigosas estão relacionadas a rajadas de vento variáveis e fortes, cisalhamento do vento em superfície, alterações súbitas e de grande intensidade no registro do altímetro (USAF, 2012).

Pallotta e Nakazato apresentam as características da ZCAS e da ZCOU. A ZCAS

é um importante sistema meteorológico atuante na América do Sul no verão austral e que marca a estação chuvosa devido aos períodos associados de intensa precipitação. Caracterizada por uma banda de nebulosidade bem marcada orientada noroeste-sudeste, atua desde o sul da região Amazônica até o sudoeste do Atlântico Sul, passando pelas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil, tem uma duração mínima de 4 dias (Pallotta; Nakazato, 2010, p. 1).

Ela é o principal sistema de grande escala responsável pelo regime de chuvas sobre a Região Sudeste do Brasil. Sua ocorrência está associada principalmente a uma zona de convergência na baixa troposfera e presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, orientado na direção noroeste-sudeste, em 850 hPa. Vários estudos demonstram o importante papel dessas bandas de nebulosidade no processo de transferência de calor, momento e

umidade dos trópicos para as latitudes mais altas (PALLOTTA; NAKAZATO, 2010). Já o conceito de ZCOU foi introduzido pelo Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (GPT-CPTEC), após terem sido verificadas variações no padrão de estabelecimento das ZCAS. Ela possui um padrão muito similar a esse sistema sinótico, porém com duração de até três dias.

As trovoadas que podem ocorrer na região de estudo, oriundas de massas de ar, são formadas pela presença de calor, umidade e ar instável. Trovoadas de massa de ar geralmente são isoladas ou encontram-se espalhadas por uma grande área com ou sem organização definida. As nuvens cumulonimbus formadas nessas condições se levantam a partir do aquecimento superficial, da convergência de ventos em baixos níveis que transportam umidade, ou do ar instável levantado pela presença de relevo. Dessa forma, possuem maior intensidade e frequência sobre a terra durante o meio ou o final das tardes (USAF, 2012).

Para a USAF (2012), o nevoeiro pode ser caracterizado como uma nuvem formada junto ao solo, sendo composto de pequenas gotas de água ou cristais de gelo. Ele costuma ser formado em condições de ar muito estável. Nessa condição, ocorrem muito poucas colisões entre as gotículas ou cristais de gelo presentes no ambiente, o que faz com que não haja a formação de gotas maiores. Isso reduz significativamente a visibilidade local, em função do número muito grande de gotículas ou pequenos cristais de gelo em suspensão no ar.

As condições ideais para a formação de nevoeiro, segundo a USAF (2012), são: temperatura do ponto de orvalho próxima à temperatura ambiente; presença de núcleos de condensação em abundância; ventos fracos em superfície (< 5 kt); e resfriamento da superfície.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) devem sua definição a Maddox. Entretanto, os CCMs são

Sistemas que possuem uma espessa cobertura de nuvens frias constituída basicamente pelos topos e bigornas das cumulonimbus que os constituem, com forma aproximadamente circular e tempo de vida relativamente mais longo do que um sistema convectivo isolado, isto é, no mínimo 6 horas (SILVA DIAS, 1996).

São características dos CCMs, que podem interferir nas operações aéreas:

- a) formam uma grande quantidade de stratus e de cirrus, chegando a cerca de 80% da área total quando atingem sua fase madura; e
- b) estão frequentemente associados a eventos de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e até tornados.

## 5 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO AÉREO

### 5.1. Contextualização

Nagaota descreve muito bem o contexto e a complexidade do gerenciamento do tráfego aéreo:

O sistema ATM é composto por um conjunto de atividades aéreas e terrestres capazes de assegurar a circulação segura e eficiente das aeronaves durante todas as fases da operação aérea. Nele estão envolvidos os serviços de tráfego aéreo (*Air Traffic Service – ATS*), o gerenciamento do fluxo de tráfego aéreo (*Air Traffic Flow Management – ATFM*) e o gerenciamento do espaço aéreo (*Airspace Management – ASM*). O ATS é um termo genérico que inclui o serviço de informação de voo, o serviço de alerta, o serviço de aviso de tráfego aéreo e o serviço de controle de tráfego aéreo (*Air Traffic Control – ATC*). O ATC garante o serviço de separação tática entre as aeronaves para prevenir colisões entre elas e entre as aeronaves e o terreno ou com obstruções. O ATFM é o processo que garante que a capacidade ATC seja utilizada na máxima extensão possível e que o volume de tráfego seja compatível com a capacidade ATC disponível. Os elementos do sistema ATM são o espaço aéreo, as aeronaves, incluindo a tripulação, os sistemas de navegação, comunicação, vigilância e ATC, os aeroportos, as informações aeronáuticas, as informações meteorológicas, as regras, os regulamentos, os procedimentos e o pessoal, como controladores, técnicos e operadores de sistemas terrestres. O sistema é muito complexo e de grande escala (traduzido de Nagaota. 2006, p. 1).

Com o aumento significativo do uso do espaço aéreo, os usuários e gerentes desse ambiente estão tendo cada vez mais dificuldades em lidar com as limitações do sistema. Com a evolução tecnológica dos equipamentos e aeronaves, a infraestrutura e os métodos operacionais se tornam rapidamente desatualizados, restringindo as capacidades dos setores para operar com eficiência.

Nesse contexto, a busca constante pela melhoria do gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo se torna indispensável, sem deixar de lado a demanda ambiental tão destacada em nossos anos atuais. Reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> está no centro desses esforços. Estima-se que a eficiência do combustível e a redução das emissões de CO<sub>2</sub> possam atingir 12% só com a adoção de ações que melhorem o sistema ATM (IATA, 2016).

Dessa forma, a busca por ferramentas computacionais e por modelos matemáticos que simulem fidedignamente tais circunstâncias é uma necessidade premente. Esse tipo de ferramenta auxilia na proposta de resolução de conflitos de tráfego aéreo e facilita a tomada de decisão relacionada ao ambiente operacional do tráfego aéreo.

## **5.2. Simulações de Tráfego Aéreo**

Não é uma tarefa trivial simular o fluxo de tráfego aéreo diário, considerando as diversas variáveis que envolvem esse contexto. Assim, há décadas uma série de pesquisadores tem desenvolvido ferramentas computacionais apropriadas na tentativa de realizar tal missão. As principais características relacionadas aos modelos que promovem as simulações serão encontradas neste item do trabalho.

### **5.2.1. Tipos de modelos de simulação**

A classificação dos tipos de modelo de simulação considera várias características e varia de autor para autor.

Para Lieberman e Ratji (1992, apud BAIK, 2000), os tipos de modelo de simulação são classificados de três maneiras:

- a) Discreto ou contínuo – leva em conta a frequência com que as variáveis do sistema se alteram. O modelo discreto representa assertivamente as mudanças abruptas dos estados dos elementos do sistema em pontos definidos no tempo. O modelo contínuo representa o sistema mudando as variáveis de estado de forma contínua ao longo do tempo.
- b) Microscópico, mesoscópico, ou macroscópico – considera o nível de detalhes que um modelo representa. O microscópico apresenta um alto nível de detalhamento entre as entidades a serem demonstradas e suas interações. O mesoscópico representa muitos detalhes sobre as variáveis de interesse, porém a descrição de suas atividades e interações é de muito menor nível de detalhamento. Já o modelo macroscópico descreve as variáveis e suas atividades com um baixo nível de detalhes.

- c) Determinístico ou estocástico – toma como base a presença de variáveis aleatórias ou não. O modelo determinístico é aquele que não apresenta variável randômica. O modelo estocástico envolve processos que incluem funções probabilísticas.

A classificação dada por Ashford et al. (2011) segue Lieberman e Ratji (1992, apud BAIK, 2000) no que diz respeito à frequência e quanto à existência ou inexistência de variáveis aleatórias. No entanto, esses pesquisadores apresentam ainda uma definição que considera a confiabilidade do sistema, sendo que, nesse caso, é chamado de modelo analítico. O modelo analítico representa com confiabilidade um sistema por meio da relação entre a variável dependente e a variável independente.

Para Ashford et al. (2011), os termos modelo e simulação possuem significados distintos, apesar de serem tratados como sinônimos em alguns casos. Um modelo é uma representação idealizada e abstrata de uma realidade na forma de um gráfico, uma equação, ou um estado. São usados para simplificar e/ou aproximar certas características de um sistema. Eles podem ser categorizados como descritivos, que apresentam o comportamento do sistema primando pelo respeito aos processos embutidos em sua estrutura, e prescritivo-normativos, que contribuem para determinar as características de um sistema que alcançariam certos objetivos definidos em sua composição e são usados basicamente como ferramenta de projetos.

Já a classificação dos modelos dada pelo DECEA (2016c) se alinha a Lieberman e Ratji (1992, apud BAIK, 2000) no que diz respeito à existência ou inexistência de variáveis aleatórias. Porém, também classifica os modelos matemáticos como estáticos, quando o tempo não é considerado nas simulações, ou dinâmicos, quando existem interações entre variáveis que levam em conta o fator tempo.

Para o DECEA, o modelo é a “representação de um sistema real em termos de relacionamentos lógicos e quantitativos, os quais são manipulados para se conhecer o comportamento do sistema diante de certas modificações (DECEA, 2016c, p. 9)”, e a simulação é “a operação de um modelo que pode ser reconfigurado e experimentado, o que, normalmente, é dispendioso e/ou impraticável ao fazer uso do sistema real (DECEA, 2016c, p. 10)”.

### 5.2.2. Métodos de simulações

Para Ashford et al. (2011), as simulações aeroportuárias tratam essencialmente de três componentes amplos e distintos que envolvem um aeroporto: o espaço aéreo (*airside*); as operações em terra que ocorrem nas áreas terminais de embarque e desembarque, irrestritas ao público (*landside*); e as operações relacionadas às aeronaves em solo (*groundside*). Nesse contexto, as simulações são empregadas para análise das funções do aeroporto de forma independente, tais como:

- a) simulação do espaço aéreo (*Airspace Simulation*) – quando a simulação é realizada com aeronaves operando em voo, entre aeroportos;
- b) simulação sobre o aeroporto (*Airport Airside Simulation*) – quando a simulação é realizada com aeronaves em voo, operando sobre o aeródromo e em sua área terminal;
- c) modelagem e simulação ambiental (*Environmental Modeling and Simulation*) – quando a simulação inclui avaliação de ruído, qualidade do ar e emissões de aeronaves; e
- d) simulação em terra (*Airport Landside Simulation*) – quando a simulação considera o deslocamento das pessoas e dos veículos entre as diferentes partes dos terminais de embarque e desembarque.

Ainda para Ashford et al. (2011), simulações integradas são aconselhadas quando se busca continuidade, versatilidade e soluções por meio de sistemas. Nesses casos, incluem-se as simulações de grande escala que buscam:

- a) determinar as medidas gerais da eficácia do aeroporto;
- b) estimar os atrasos para algum cenário de demanda do aeroporto, considerando a interface entre o espaço aéreo e o componente terrestre. Os atrasos representam a diferença entre o tempo de viagem sem entraves e o tempo real medido;
- c) estimar o tempo de emprego de recursos aeroportuários específicos (tais como portões de embarque e desembarque, pistas e pistas de taxiamento); e

- d) estimar a capacidade aproximada do sistema aeroportuário, por meio dos atrasos em todos os recursos disponíveis do aeroporto (instalações).

O DECEA (2016c) cita dois tipos de métodos para a realização de simulações: a simulação em tempo acelerado (STA) e a simulação em tempo real (STR). A STA é empregada para testes de cenários específicos, onde os dados ou parâmetros de entrada ou os valores de interesse são alterados de acordo com a necessidade. Ela também tem aplicação voltada para a análise de viabilidade operacional e validação de cenários ATM. A STR tem aplicação principalmente em casos de capacitação e treinamento. Ensaio de análise de viabilidade operacional e validação de cenários ATM também podem ser realizados por meio desse método. Nesse caso, um ambiente que necessite de reprodução dos principais elementos de tráfego aéreo pode ser observado, reproduzindo-se os detalhes de interesse de ser observados.

### **5.2.3. Modelos de simulação de tráfego aéreo**

Baik (2000) descreve que os principais modelos que simulam as condições dos aeroportos e aviação são de eventos discretos, estocásticos, que emulam os movimentos das aeronaves no aeródromo, em áreas terminais, ou entre aeroportos. Alguns deles são descritos resumidamente abaixo:

- a) ADSIM (*Airfield Delay Simulation Model*) – um dos mais detalhados modelos utilizados para avaliar as operações e fontes de atrasos nos aeroportos. Ele simula os movimentos das aeronaves no solo e nas imediações do espaço aéreo;
- b) RDSIM (*Runway Delay Simulation Model*) – desenvolvido principalmente para analisar capacidade e atrasos, tomando em conta as operações nas pistas de pouso e decolagem. Comparado ao ADSIM, ele requer menos detalhes de entrada e menor esforço computacional; e
- c) SIMMOD (*The airspace and airfield model*) – é o mais sofisticado dos modelos descritos por Baik (2000). Ele analisa as complexas interações existentes entre o espaço aéreo e aeroportos. Atrasos, capacidade e consumo de combustível, derivados de mudanças na utilização e/ou nos

procedimentos operacionais de um espaço aéreo, podem ser estudados individualmente, inclusive após a adoção de medidas ATC.

Além de caracterizar o SIMMOD, Quan (2007) descreve os seguintes modelos de simulação:

- a) TAAM (*Total Airspace and Airport Modeller*) – tal como o SIMMOD, esse modelo é uma aplicação da simulação no contexto das operações no espaço aéreo e aeroportos. Detalhes sobre o TAAM são encontrados no item 5.3 deste trabalho;
- b) RAMS (*The Reorganized ATC Mathematical Simulator*) – é uma ferramenta de simulação em tempo acelerado desenvolvida pelo *EUROCONTROL Experimental Center* (EEC). Ela foi produzida para analisar propostas de mudanças na estrutura do espaço aéreo e em configurações de setores. É um modelador que resolve as interações entre todos os seguimentos do voo, desde a decolagem até o pouso. Também é capaz de modelar interações entre operações aéreas próximas aos aeroportos e às pistas de pouso e decolagem. Esse modelo pode simular diversos estudos que envolvem conceitos ATC, inclusive os mais detalhados ou aqueles que envolvem aspectos organizacionais;
- c) NASPAC (*The National Airspace System Performance Capability*) – também é uma ferramenta de simulação em tempo acelerado que pode emular grandes regiões do espaço aéreo e um grande número de aeroportos. Ele é capaz de simular pousos e decolagens sequenciais em diversos aeroportos, além de disponibilizar relatórios estatísticos sobre atrasos e razões de fluxo de tráfego aéreo observados..

#### **5.2.4. Vantagens e desvantagens das simulações**

Para Ashford et al. (2011), a simulação tem muitas vantagens e desvantagens que merecem ser cuidadosamente ponderadas antes de se tomar uma decisão sobre o seu emprego. Nesse caso, devem ser levadas em conta as condições específicas do projeto a ser avaliado.

### Vantagens da simulação:

- a) realizar uma simulação é sempre mais rápido e mais barato que construir um sistema real;
- b) uma vez que um modelo está pronto, ele pode ser usado repetidamente para analisar um desenho proposto, políticas de ações ou problemas em questão;
- c) podem ser usados vários métodos de simulação para analisar um sistema proposto, mesmo considerando a escassez de dados do mundo real;
- d) na maioria das vezes, os dados de simulação são mais baratos de se conseguir do que dados semelhantes do sistema real;
- e) os resultados das simulações são mais fáceis de se entender e se aplicar;
- f) simulações não necessitam da aplicação de métodos analíticos que utilizam suposições simplificadoras para torná-los tratáveis; e
- g) a simulação é flexível nas medidas de desempenho do sistema, que são consideradas necessárias para monitoramento, enquanto os métodos analíticos podem ter uma limitação no número e tipo de medidas de desempenho.

### Desvantagens da simulação:

- a) requer uma quantidade considerável de dados, sendo onerosa em termos de tempo para a aquisição e custos de coleta e manuseio;
- b) pode ser onerosa quando é complexa, no que diz respeito ao tempo, hardware e software, e desenvolvimento e validação do modelo;
- c) a construção da base de dados sintética, necessária para a resolução do problema, deve ser cuidadosamente determinada estatisticamente. Isso pode exigir um grande número de execuções, dependendo da natureza e da precisão necessária para a solução do problema;
- d) em ocasiões muito específicas, as técnicas analíticas fornecem os resultados apropriados, ao passo que a simulação não; e
- e) para o correto emprego da simulação, é necessário certo investimento em especialização e treinamento.

Em relação às vantagens e desvantagens das simulações de tráfego aéreo apresentadas neste item, o DECEA (2016c) também faz suas considerações, destacando duas principais características que devem ser levadas em conta para a escolha do simulador, quais sejam: ele não deve ser tão complexo que seja impossível de compreender e experimentar; e deve representar a realidade de forma simples.

#### **5.2.5. Revisão da literatura**

Diante de tais aspectos, vários trabalhos validam as ferramentas de simulação com o objetivo de representar o que acontece no decorrer de um dia de movimento do transporte aéreo. Nesta tese, o foco está nas simulações realizadas nos voos em rota ou nas áreas terminais dos aeroportos.

O EUROCONTROL (2016) apresenta algumas das principais ferramentas que tratam de simulação em tempo acelerado (*Fast-time Simulation Tools*). Nesse trabalho, o *EUROCONTROL Experimental Centre* (EEC) destaca quatro ferramentas de simulação de tempo acelerado mantidas por ele: o *Air Traffic Optimization* (AirTOP), o *Re-organized ATC Mathematical Simulator* (RAMS Plus); o *Total Airspace and Airport Modeller* (TAAM), e o *Comprehensive Airport Simulation Technology* (CAST). Para essa referência, o TAAM é considerado como a principal delas, quando se estuda o desempenho das atividades de tráfego aéreo em área de controle terminal.

Utilizando o TAAM, Castro e Scott (2012) mostram o impacto causado pela potencial implantação de novos procedimentos no espaço aéreo da Coreia do Sul, levando-se em conta a complexidade da região. O estudo faz a associação entre a segurança, a eficiência e a propriedade de novos procedimentos propostos. É usada a simulação de vários procedimentos para decolagens e pousos para estimar os benefícios potenciais, gerar informações de apoio às decisões, economia de combustível, eficiência no tempo de voo e melhoria da segurança. Seus resultados proveem uma estimativa diária dos atrasos e do decréscimo de combustível utilizado.

Para Taburela et al. (2012), a estimativa exata da capacidade do espaço aéreo depende da identificação correta dos fatores que a afetam. Assim, seu trabalho destacou métodos que estimam a capacidade, contabilizando um possível

ambiente ATM automatizado no espaço aéreo europeu, tais como o método de simulação da carga de trabalho em tempo acelerado, o método de simulação da carga de trabalho em tempo real e o método subjetivo ou de julgamento, sendo que este último toma como base a ampla experiência dos controladores.

Majumdar e Polak (2001) destacam a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo como fator limitante da capacidade do espaço aéreo. Eles enfatizam que esse parâmetro permanecerá em evidência, apesar da introdução de novas tecnologias e novos procedimentos operacionais. O trabalho desses pesquisadores modela a capacidade do espaço aéreo europeu por meio do RAMS, considerando os fatores que afetam a carga de trabalho do controlador e auxiliado por técnicas analíticas apropriadas. Os resultados da análise, somados a uma medida de capacidade baseada na carga de trabalho, foram utilizados para estimar a capacidade do espaço aéreo.

O EUROCONTROL (2000) realiza uma ampla avaliação do modelo de simulação acelerada TAAM com o objetivo de verificar o atendimento dos requisitos definidos por essa agência, bem como de questões associadas ao espaço aéreo e aeroportos europeus, sendo os resultados classificados como positivos.

O EUROCONTROL (2003a) também faz um estudo detalhado sobre carga de trabalho e capacidade do espaço aéreo por meio de quatro modelos utilizados no EUROCONTROL CEATS, o que demonstra a aplicabilidade das simulações no contexto do tráfego aéreo.

Já EUROCONTROL (2003b) descreve e destaca o uso da metodologia CAPAN (*ATC Capacity Analyser Tool*) como uma poderosa metodologia para medidas precisas de carga de trabalho e capacidade, quando se usam simuladores e modelos matemáticos como ferramenta de trabalho.

Já a pesquisa de Hoffman (2007) avalia duas propostas de redesenho do espaço aéreo entre *New York/New Jersey/Philadelphia* (NY/NJ/PHL), nos EUA, por meio de simulação no TAAM. Ela determina o consumo de combustível, em consequência de um estudo ambiental desejado, tomando como base sua configuração padrão (*default*). Esse cálculo considera: a distância percorrida pelas aeronaves sem considerar obstáculos; o tempo extra de voo devido aos

atrasos no sequenciamento de pista; o tempo extra de voo devido aos atrasos provocados pelo sequenciamento e espaçamento entre as aeronaves durante o procedimento de aproximação de uma pista; e os perfis de subida e descida das aeronaves.

Todos esses exemplos de pesquisas, além de outros, reforçam o emprego sistematizado de simuladores na obtenção de resultados relacionados aos serviços ATC, dentre eles a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo, o consumo de combustível e o consequente estudo de emissões ambientais.

Assim, levando-se em conta o exposto nos itens anteriores e a disponibilidade do TAAM no Laboratório de Simulação do Instituto de Controle do Espaço Aéreo, essa ferramenta foi escolhida para a realização das simulações contidas neste trabalho.

### **5.3. O *Total Airspace and Airport Modeller (TAAM)***

O Modelador de Aeroporto e Espaço Aéreo Total ou, em inglês, *Total Airspace and Airport Modeler (TAAM)*, é um software capaz de simular o fluxo de tráfego aéreo e o comportamento de aeronaves em rota, nas proximidades e no solo de aeroportos, considerando diversos procedimentos inseridos em sua base de dados. É uma ferramenta muito utilizada para aplicações em planejamento, execução, visualização e análise dos resultados de simulação de tráfego aéreo. Ele é classificado como um simulador “gate-to-gate”, ou seja, simula um determinado voo desde o portão de embarque até o portão de desembarque (JEPPESEN, 2008).

Jeppesen (2015) descreve que, com o TAAM, é possível criar, avaliar e ensaiar vários tipos de projetos relacionados ao tráfego aéreo, tais como movimento em novas rotas, novos procedimentos de subida após decolagem e/ou descida para pouso; estudar as configurações de aeroportos; testar variações de setores para um determinado espaço aéreo; diagnosticar possíveis aumentos no tráfego aéreo; verificar gabaritos de segurança operacional; e diagnosticar conflitos de tráfego, se existirem. Esse programa é uma ferramenta sofisticada e realista que pode ser visualizada em quatro dimensões (4D – as três coordenadas cartesianas do espaço e o tempo). As simulações geradas no

TAAM podem ser processadas em tempo acelerado, permitindo aos usuários obter resultados rapidamente, além de possibilitar a avaliação de uma ampla gama de cenários.

Podem ser simuladas centenas de voos e movimentos de aeronaves no solo, característicos de um procedimento operacional de tráfego aéreo de interesse, incluindo determinadas condições de circulação aérea em rota, nas áreas terminais e em terra nos aeroportos. Para isso, dados específicos de interesse do usuário, como rotas, procedimentos específicos para pousos e decolagens nos aeroportos, as configurações e movimentos em solo, os horários de voos e outros, devem ser inseridos no modelador TAAM (JEPPESEN, 2008).

## O TAAM

é uma ferramenta de fácil compreensão para modelar o tráfego aéreo. Ele é capaz de prover simulação em tempo acelerado desde o portão de embarque até o portão de desembarque nos aeroportos (*gate-to-gate*), com modelagem de alta fidelidade de movimento em solo, em rota e de operações de partida e chegada do aeroporto (ELIAS et al., 2005, p. 1).

Para Boesel et al. (2001, p. 1-1) o TAAM “é uma complexa e sofisticada ferramenta que pode ser usada para aumentar a percepção de muitos tipos de problemas existentes em aeroportos e espaços aéreos”.

### 5.3.1. Funcionalidades

Algumas funcionalidades do modelador TAAM são significativamente interessantes para o estudo de cargas de trabalho de controladores e emissões atmosféricas das aeronaves, pois essa ferramenta abrange três principais áreas da aviação: aeroporto; área terminal; e rota (BOESEL et al., 2001).

Dessa forma, Jeppesen (2015) afirma que o TAAM é capaz de realizar análises de crescimento da capacidade do tráfego aéreo regional ou local, em uma ou mais rotas de interesse; avaliar as implicações surgidas quando da criação ou modificação de novos procedimentos de tráfego aéreo em áreas terminais e/ou para pouso e decolagem e/ou em rota; propor o gerenciamento dos impactos surgidos em função de condições meteorológicas adversas; etc. Os resultados obtidos podem auxiliar em ações diretas dos órgãos responsáveis pelo

gerenciamento do tráfego aéreo com o objetivo de mitigar possíveis impactos operacionais e/ou ambientais.

Além disso, Jeppesen (2015) descreve que o TAAM disponibiliza a visualização de vários tipos de simulação do tráfego aéreo por meio de documentos de interesse. Eles podem ser obtidos na forma de relatórios, gráficos, respostas sobre questões predefinidas, ou em formato personalizado. No caso deste trabalho, foram utilizados dois tipos de relatórios: um que identifica a carga de trabalho horária empregada pelos controladores de tráfego aéreo, por setor do espaço aéreo de interesse, e um que apresenta o gasto de combustível por aeronave voada. Esta informação foi obtida em termos de quilogramas consumidos de querosene de aviação (JEPPESEN, 2008) e foi convertida em quantidade de emissões após o uso do índice de emissão de CO<sub>2</sub>.

### **5.3.2 Estrutura e componentes**

Ashford et al. (2011) descrevem que o TAAM possui quatro módulos básicos. O primeiro trata do sistema interativo de entrada de dados (*Interactive Data Input System – IDIS*). O segundo está relacionado à máquina de simulação (*Simulation Engine – SIM*). O terceiro trabalha para apresentar os relatórios de saída dos resultados com facilidade (*Report Presentation Facility – RPF*). O quarto e último é o programa de entrada de mapas (Gtool).

No contexto de entrada de dados, o TAAM possui uma série de ferramentas que permitem ao usuário customizar seu estudo, por meio das possibilidades de detalhamento da modelagem, que dependerá da criticidade do trabalho realizado. Para simulações mais complexas, o módulo IDIS orienta o usuário a criar e editar as seguintes classes essenciais de entrada (ASHFORD et al., 2011, p. 625):

- a) *Arquivo de Aeroporto*. É um arquivo que lista a latitude, longitude, altitude, desvio magnético de cada aeroporto, além de seus respectivos layouts, SIDs, STARS, e pistas em uso. Casos essas características não sejam especificadas, o TAAM trata o aeroporto como um “ponto”. O arquivo de layout de solo é um mapa completo do aeroporto, que detalha as pistas e as pistas de taxiamento existentes, os portões de embarque e desembarque, dentre várias outras características do

aeroporto. Ele provê as rotas programadas para os procedimentos de saída e chegadas das aeronaves em solo e em procedimentos de pouso e decolagens. Também é usado como modelo gráfico para exibição da simulação;

- b) *Waypoints*. Arquivo que contém a localização, os nomes e as capacidades de todos os auxílios à navegação usados pelas aeronaves para a realização do seu planejamento de voo, além da execução do seu plano de voo;
- c) *Rotas*. Arquivo que contém uma lista de *waypoints* definindo as rotas usadas pelas aeronaves. Elas podem considerar a radionavegação ou o grande círculo para os voos entre origem e destino das aeronaves. *Waypoints* artificiais podem ser criados adicionalmente para refletir possíveis mudanças, combinações ou variações nas rotas;
- d) *Tabela de tempo (Timetable)*. Arquivo que contém a demanda de voos. Lista usada para identificar os voos, com dias e horas, origens e destinos, tipo de aeronave, rota utilizada, altitude de voo, SIDs, STARs, e as pistas;
- e) *Mapas*. Mapas gerados no formato AutoCAD mostrando estruturas funcionais e características do terreno, onde os pontos são definidos por latitude e longitude. Essas características podem incluir litoral, rios, lagos, rotas do espaço aéreo, layout dos setores, características próximas ao aeroporto, desenho do aeroporto, limites dos estados etc.;
- e
- f) *Arquivo de projeto*. Cada simulação é orientada por seu respectivo arquivo de projeto. O TAAM emprega esse arquivo para conectar a máquina de simulação a arquivos específicos inseridos na memória de simulação. A simulação é executada pela leitura desses arquivos.

Dados secundários também são inseridos e utilizados na simulação. Eles incluem:

- a) *Desempenho das aeronaves*. Arquivo que contém o desempenho de voo das aeronaves. Inclui as velocidades (mínimas, médias e máximas), o consumo de combustível em incrementos de 3.000 pés de altitude, diferenciados por fase de voo (subida, cruzeiro e descida), e

- taxa de desvio, razão de subida, além das velocidades de táxi e decolagem;
- b) *Arquivo de características da aeronave (Aircraft Cross-Walk File)*. Disponibiliza um modelo com características genéricas de desempenho das aeronaves;
  - c) *Estratégia de resolução de conflitos*. Arquivo que contém um conjunto de 38 regras de resolução de conflitos que o TAAM consulta quando um conflito é notado pela simulação. Considera-se uma resolução uma situação específica onde o TAAM realiza uma pesquisa na lista de soluções pela mais apropriada e a emprega na simulação; e
  - d) *Regras de separação no setor*. Conjunto de regras específicas para emprego de separação entre as aeronaves em voo dentro de um setor. Elas são inseridas durante a criação do setor no TAAM.

Ashford et al. (2011) também descrevem como os resultados são apresentados. Eles seguem as medidas e as métricas geradas pelo planejador da simulação. São gravados e podem ser registrados ou apresentados a qualquer momento da simulação. As principais incluem: atrasos, total e média por operação; conflitos, contados por grau de severidade e se foram solucionados ou não; movimento nos aeroportos, atrasos, operação das pistas e pistas de táxi, e ocupação das pistas; métricas de operação do espaço aéreo, tais como uso das rotas, setores, fixos, e das coordenações; consumo de combustível das aeronaves; custos agregados de combustível e de não combustível; carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo; perfil de voo individual das aeronaves; geração de cenários, tais como simulações ATC em tempo real ou outras quaisquer; identificação de erros, diagnósticos e resoluções; visualização gráfica em 2D/3D, em várias janelas concomitantemente à simulação; etc.

Ashford et al. (2011) definem ainda quais os aspectos importantes que devem ser construídos nos arquivos de entrada do TAAM para a realização dos casos estabelecidos em cada simulação. Os principais são: nível de demanda de tráfego para estudos de aumento no número de voos em um aeroporto; configuração dos aeroportos, onde o nível de detalhamento e a precisão das configurações refletem nos impactos esperados durante as simulações;

definição dos tipos de aeronaves, da frota e dos equipamentos CNS/ATM utilizados na simulação; separações empregadas quando do voo em rota.

### **5.3.3 Simulações**

Uma determinada simulação no TAAM é iniciada por meio dos seguintes passos:

- a) são selecionadas informações sobre uma área de atuação, com seu respectivo mapa representativo;
- b) as condições operacionais a serem seguidas pelas aeronaves (rotas, níveis de voo, horário de decolagem etc.) definidas nos planos de voo são determinadas e inseridas em sua base de dados;
- c) são definidos os aeroportos envolvidos nos voos, junto com suas configurações em solo; e
- d) a relação dos voos que participarão da simulação é inserida no simulador.

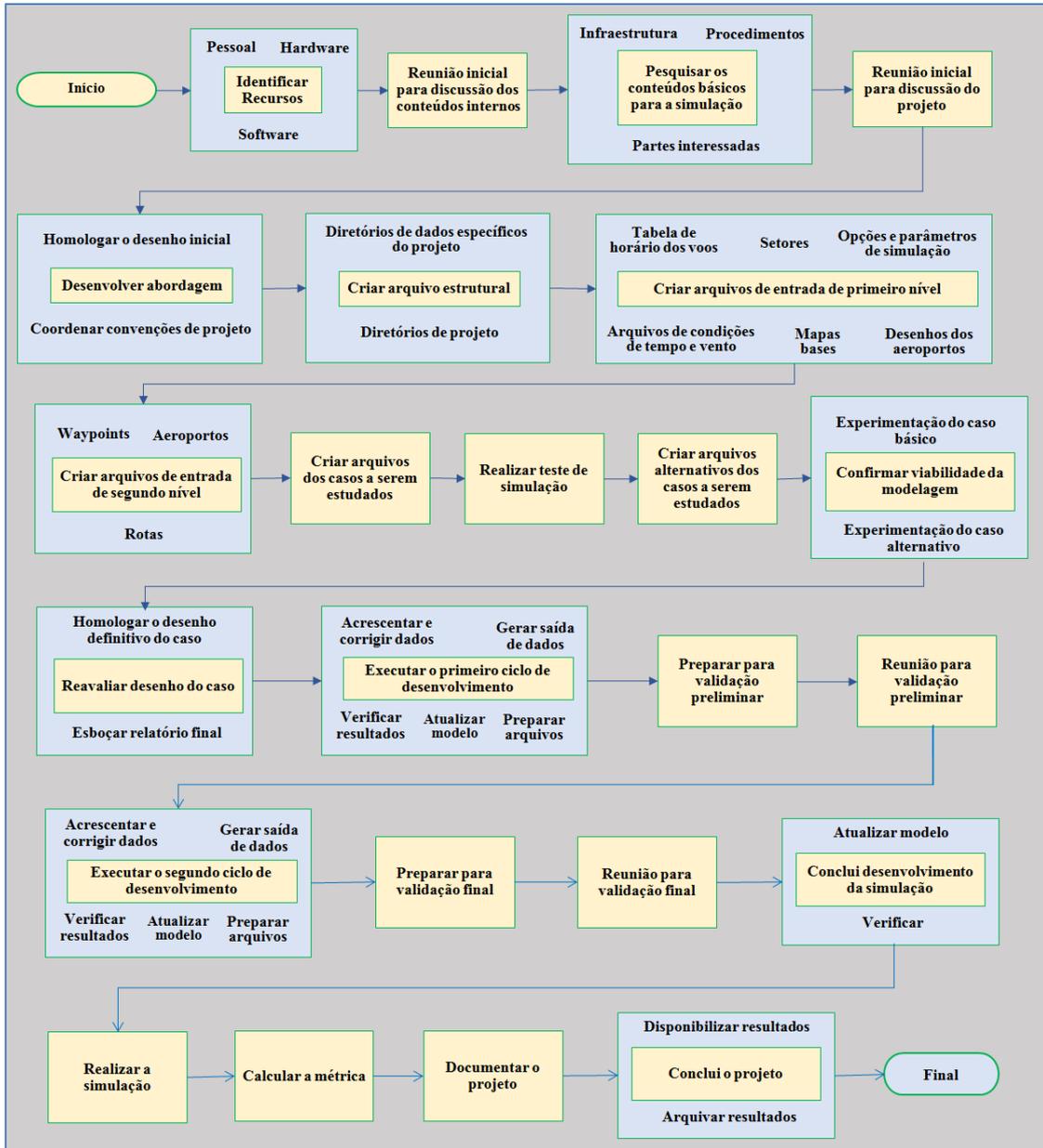
Por meio de uma condição definida pelo operador do sistema, os primeiros voos simulados decolam no horário previsto. A partir daí, o TAAM opera em condição inicial aleatória e acelerada, se for o caso, sendo que, a partir desse momento, todas as regras de tráfego aéreo predefinidas são seguidas, simulando as trajetórias das aeronaves dentro do que foi previsto nos planos de voo repetitivos e considerando outras regras de interesse predefinidas. Nesse caso, por exemplo, estão as regras relacionadas aos desvios de condições de tempo adversas e ações de gerenciamento de tráfego aéreo, quando existem.

Em função da dinâmica da simulação, alguns conflitos são gerados em solo, nos aeroportos, bem como durante os voos. Eles são resolvidos automaticamente por meio dos procedimentos operacionais previstos nas regras de tráfego aéreo em vigor ou por meio da inserção de ações preestabelecidas, considerando uma situação desejada. Essas ações podem gerar atrasos nos voos e mudanças nos horários de pouso e decolagem da simulação de voos subsequentes. Esse fato acaba por alterar e/ou redimensionar tempos de voos e em solo, modificando o consumo de

combustível e alterando a carga de trabalho realizada por controladores de tráfego aéreo.

Após a definição de um período de tempo a ser simulado, encerra-se a modelagem do fluxo de tráfego aéreo, gerando-se relatórios de interesse. Dessa forma, o modelador de espaço aéreo TAAM é uma ferramenta complexa capaz de simular situações muito próximas a uma realidade estabelecida pelo interessado, com precisão e confiabilidade (JEPPESEN, 2008). Por esse motivo, ele foi utilizado neste trabalho para a obtenção dos dados relativos ao consumo de combustível das aeronaves em voos regulares no espaço aéreo nacional, e das cargas de trabalho dos profissionais que fazem o controle da circulação aérea nas áreas de controle terminal de São Paulo e Rio de Janeiro. A Figura 5.1 representa um diagrama sequencial dos passos idealizados para simulações realizadas no TAAM, segundo Boesel et al. (2001).

Figura 5.1 – Diagrama sequencial dos passos idealizados para simulações realizadas no TAAM.



Fonte: adaptado de Boesel et al. (2001).

### 5.3.4 Limitações

Elias et al. (2005) citam que o TAAM era utilizado por 35 clientes em 6 continentes na data do trabalho desses pesquisadores. Esse modelador é empregado na avaliação de conceitos operacionais, na concepção de espaço aéreo e infraestrutura aeroportuária. Além disso, auxilia nas atividades de planejamento operacional das companhias aéreas. Nesse contexto, a ferramenta de simulação acelerada TAAM é um recurso bastante utilizado por várias instituições que gerenciam ou efetuam pesquisa sobre as condições operacionais do tráfego aéreo, em rota e/ou durante procedimentos de pouso e decolagem. A sua habilidade em realizar simulações de tráfego aéreo é muito bem descrita no Capítulo 5 de EUROCONTROL (2000).

Contudo, dependendo do nível de acuracidade necessário para o projeto em estudo, o TAAM apresenta algumas limitações principais, tais como:

- a) requer muito esforço na inserção de todos os dados de entrada e na calibração de seus recursos (EUROCONTROL, 2000, p. 56);
- b) é dependente do conjunto de hipóteses de regras impostas para a simulação, como, por exemplo, o escopo definido para o estudo, as pistas em uso, posições de estacionamento e portões de embarque utilizados, pistas de taxiamento utilizadas, operação aérea em área terminal, operação aérea em rota, intensidade de tráfego e condições meteorológicas de tempo (BOESEL et al., 2001, p. 2-3);
- c) o resultado final sobre a carga de trabalho global é coerente. Entretanto, o tipo de informação disponibilizada não é muito compreensível (EUROCONTROL, 2000, p. 57); e
- d) é dependente de informações precisas e atualizadas sobre todos os procedimentos a serem executados durante todas as fases do voo, esquemas detalhados dos aeroportos (configurações das pistas, pistas de taxi, portões de embarque/desembarque etc.) e performances das aeronaves o mais realísticas possível, durante todas as fases do voo (JEPESSEN, 2008).

Além disso, como ferramenta de simulação, ela possui as desvantagens apresentadas no item 5.2.4.

## 6 CONTRIBUIÇÃO DESTE TRABALHO

Como já comentado anteriormente, o DECEA (2010, p. 16) considera que a capacidade do sistema ATM depende de quatro parâmetros principais: a estrutura das rotas; a precisão de navegação da aeronave que usa o espaço aéreo; as condições meteorológicas; e a carga de trabalho do controlador.

Nesse contexto, e tomando como base os principais artigos da revisão bibliográfica realizada nesta tese, procurou-se identificar lacunas de conhecimento para a realização deste trabalho. A Tabela 6.1 abaixo resume os conteúdos abordados.

Tabela 6.1 – Pesquisas realizadas considerando um ou mais parâmetros que definem a capacidade de um Sistema ATM segundo DECEA (2010).

| Parâmetros principais que definem a capacidade do Sistema ATM<br>- DECEA (2010) -  |                     |                                   |                          |                                     |
|--|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Revisão Bibliográfica  | Estrutura das Rotas | Precisão de Navegação da Aeronave | Condições Meteorológicas | Carga de Trabalho dos Controladores |
| Meckiff et al. (1998); Teixeira (2007); Baum e Müller (2008).  | X                   |                                   |                          | X                                   |
| Erzberger (2004); Knorr e Walter (2011).   |                     | X                                 |                          | X                                   |
| Song et al. (2009); Michalek e Balakrishnan (2009b).   | X                   |                                   | X                        |                                     |
| Mogfort et al. (1995); Brooker (2003).   |                     |                                   |                          | X                                   |
| Rhoda e Pawlak (1999a, 1999b); Rhoda et al. (2002); Weber et al. (2005); DeLaura e Evans (2006); e DeLaura et al. (2008); Michalek e Balakrishnan (2009a; 2010); Krozel et al. (2011). |                     |                                   | X                        |                                     |

Fonte: o autor.

Dentro do que pode ser visto na Tabela 6.1, é possível identificar pesquisas que relacionam a carga de trabalho dos controladores à estrutura das rotas (setores do espaço aéreo) ou à precisão de navegação da aeronave. Observa-se, também, a relação entre condições meteorológicas e estrutura das rotas, além de vários trabalhos que tratam isoladamente sobre a importância do parâmetro carga de trabalho dos controladores e condições meteorológicas.

Em relação às emissões de poluentes por aeronaves, verifica-se que a revisão bibliográfica de alguns trabalhos descritos nos itens 3.2 e 3.3 leva em conta as diversas fases do voo no cálculo das quantidades sem considerar a interferência das condições meteorológicas sobre o gerenciamento de fluxo, fato esse que pode alterar significativamente as trajetórias de voo das aeronaves, o consumo de combustível e, conseqüentemente, a quantidade de emissões dispersas na atmosfera.

Esta tese vem compor e inter-relacionar três dos fatores aqui descritos: as condições meteorológicas, a carga de trabalho dos controladores e as emissões atmosféricas, esta última focando no CO<sub>2</sub>, composto de grande importância para o estudo de aquecimento global e forçante radiativa. Essa é a principal contribuição esperada.

## **7 DADOS E METODOLOGIA DE TRABALHO**

Para obter resultados relevantes por meio de simulações de tráfego aéreo, são necessários dados precisos e representativos do movimento aéreo desejado e um modelo confiável. Esses quesitos foram considerados nesta pesquisa e seguiram a sequência descrita abaixo.

### **7.1 Os Dados Utilizados**

#### **7.1.1 Tráfego aéreo**

A base de dados sobre o tráfego aéreo foi obtida do arquivo de plano de voos repetitivos (*Repetitive Flight Planning - RPL*) oriundos do CGNA. O RPL

é o plano de voo relativo a uma série de voos regulares, com base em horário de transporte (HOTRAN), que se realiza frequentemente, com idênticas características básicas, apresentado pelo explorador para retenção e uso repetitivo pelos órgãos ATS (CGNA, 2016).

O arquivo RPL utilizado nesta pesquisa refere-se ao dia 10 de junho de 2014, uma terça-feira. Essa referência semanal foi utilizada tomando como base o início dos trabalhos relativos a esta tese e os procedimentos operacionais cotidianos estabelecidos pelo CGNA, que considera esse dia como o que melhor representa o número diário médio dos voos na semana. Nesse contexto, foram utilizados todos os voos de aeronaves comerciais de matrícula brasileira, em linhas domésticas e internacionais, e voos de empresa internacionais em voos regulares internacionais para a realização das simulações realizadas neste trabalho. O total de voos considerados nas simulações foi de 2.192.

#### **7.1.2 Relatórios Diários de Situação Operacional (RDSO)**

Como citado na Introdução, esta tese busca estimar o impacto proporcionado pelas condições adversas de tempo sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo e sobre a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> na região do espaço aéreo composto pelas áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro.

Nesse contexto, as informações básicas para a realização deste trabalho foram coletadas em 365 relatórios diários de situação operacional do ano de 2014, confeccionados pelo CGNA. São elas: procedimentos diários de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo; atrasos médios dos voos maiores que 30 minutos, ocorridos nos aeroportos que são monitorados por esse Centro; e as condições de mau tempo decorrentes das condições atmosféricas. Não foram consideradas outras informações, tais como inoperâncias de auxílios à navegação, NOTAMs etc.

As condições atmosféricas são fatores responsáveis por proporcionar atrasos nos voos e nos horários de partida e chegada dos aeroportos. Assim, buscou-se identificar os dias em que houve os maiores atrasos nos RDSO e selecioná-los para a realização das rodadas de simulações. Esses dias estão descritos na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Sete dias de maiores atrasos nas operações de pouso e decolagem nos aeroportos nacionais sob a coordenação do CGNA, em 2014.

| <b>Percentagem de voos com atrasos maiores que 30 minutos, em Nível Nacional.</b> |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rodada 1 - Referência   | Rodada 2 | Rodada 3 | Rodada 4 | Rodada 5 | Rodada 6 | Rodada 7 | Rodada 8 |
| 10 jun.   | 24 jan.  | 25 jan.  | 28 fev.  | 15 abr.  | 28 jun.  | 17 dez.  | 23 dez.  |
| ---   | 22,26%   | 23,23%   | 23,88%   | 26,80%   | 21,30%   | 23,80%   | 28,18%   |

Fonte: CGNA – Relatórios de Situação (2014).

### 7.1.3 A configuração do TAAM

A simulação dos tráfegos aéreos de cada um dos dias descritos na Tabela 7.1 foi realizada utilizando-se a configuração padrão (*default*), prevista pelo TAAM. A versão do simulador empregada foi a 3.0, *release* 12, 2015. O desempenho das aeronaves nas diversas fases dos voos e a resolução dos conflitos existentes em voo ou durante o movimento em solo foram realizados por meio das regras existentes no próprio TAAM. Mais detalhes sobre as configurações operacionais dos voos, da área de interesse dessa pesquisa, e das condições de mau tempo podem ser encontrados no Item 7.2.

### 7.1.4 Área de estudo

A Figura 7.1, representada abaixo, descreve a região de estudo. As áreas destacadas nas Figuras 7.2 e 7.3 identificam os setores de controle de tráfego aéreo da TMA-SP e TMA-RJ onde as cargas de trabalho e emissões foram calculadas. Esses setores estão definidos de acordo com a complexidade e/ou o fluxo do tráfego aéreo da região em 2014 (SRPV, 2014a e 2014b). Cada um desses setores foi criado no TAAM por meio da ferramenta Gtool presente nesse simulador.

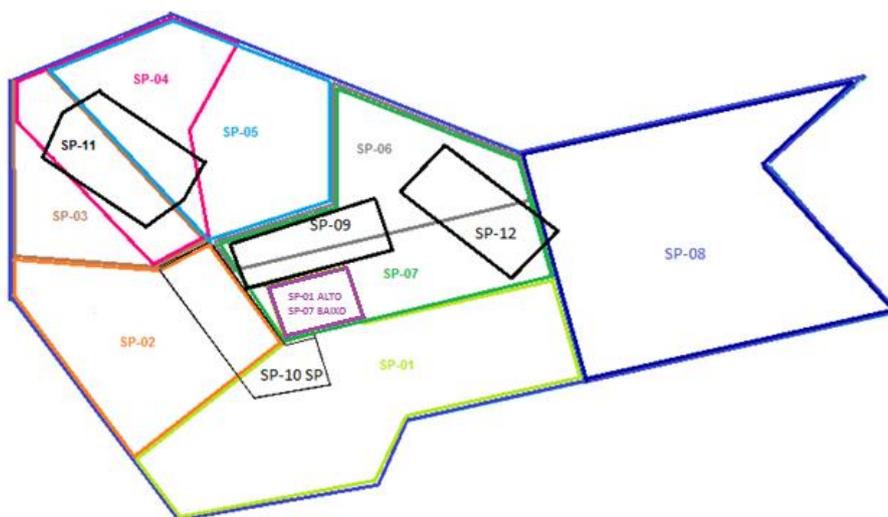
Figura 7.1 – Área de estudo.



Detalhe de uma carta de rota representando as áreas de controle terminal de São Paulo e Rio de Janeiro (TMA-SP e TMA-RJ), com suas respectivas aerovias superiores.

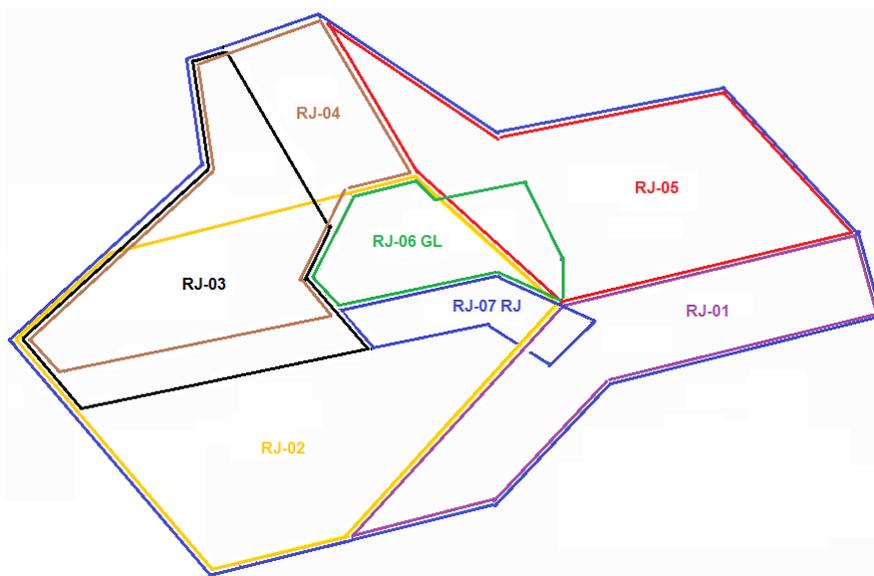
Fonte: Plano de voo net (2016).

Figura 7.2 – Setores da Área de Controle Terminal de São Paulo (TMA-SP).



Fonte: adaptado de SRPV (2014a).

Figura 7.3 – Setores da Área de Controle Terminal do Rio de Janeiro (TMA-RJ).



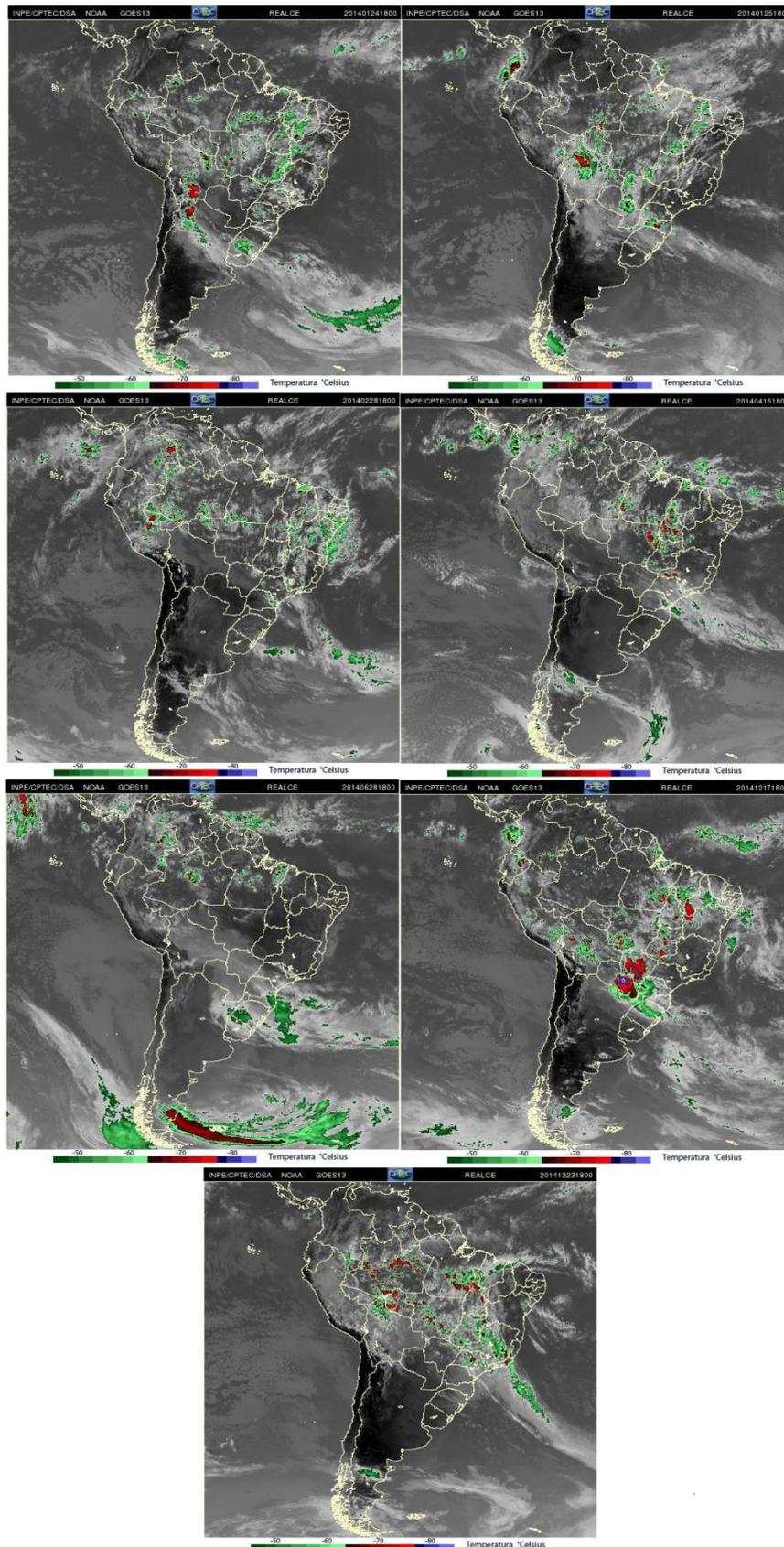
Fonte: adaptado de SRPV (2014b).

### 7.1.5 Condições meteorológicas predominantes na área de estudo

Tomando como base os RDSO produzidos pelo CGNA em 2014, foram selecionados os sete dias já descritos na Tabela 7.1. As condições sinóticas de tempo das 18:00 UTC desses dias podem ser observadas nas imagens de satélite apresentadas na Figura 7.4.

Nessas imagens, é possível observar que a região de estudo sofreu impacto direto da presença de condições meteorológicas adversas em quatro dos sete dias selecionados. Nos outros três dias, diversos tipos de sistemas meteorológicos impactaram os voos nas regiões de informação de voo de Curitiba, Brasília e Recife, provocando ações de gerenciamento de fluxo nessas regiões. Nesses casos, massas de ar frio e quente atuavam na região de estudo. Elas provocaram restrição de visibilidade e teto baixo pela manhã e convecções intensas no período da tarde, em alguns aeroportos. As condições meteorológicas observadas e consideradas nas simulações e nos resultados estão presentes no Apêndice D, detalhadas em todas as suas tabelas.

Figura 7.4 – Situação sinótica dos sete dias com os maiores atrasos no tráfego aéreo nacional, em 2014.



Imagens de satélites das 18 UTC. a) 24 de janeiro; b) 25 de janeiro; c) 28 de fevereiro; d) 15 de abril; e) 28 de junho; f) 17 de dezembro; g) 23 de dezembro.

Fonte: INPE/CPTEC (2017).

De modo resumido, as condições sinóticas estão descritas a seguir.

a) Cenário da Rodada 2 – Dia 24/01/2014.

Sistema frontal que se estende desde a região norte da Argentina até o Uruguai. Alta da Bolívia localizada na região central da Bolívia. Convecções ao norte da região centro-oeste e sudeste da Amazônia puderam ser observadas no período da tarde. Houve predomínio de uma massa de ar quente nas Regiões Sul e Sudeste. No lado ocidental da Região Nordeste do Brasil, também houve forte convecção após as 17:00 UTC derivada de nebulosidade associada a um VCAN sobre o estado da Bahia em 300 hPa e sobre o norte de Minas Gerais e Espírito Santo em 340 hPa e 390 hPa. No período da tarde, ocorreram trovoadas em diversos pontos do país. A região entre São Paulo e Rio de Janeiro sofreu com a presença de intensas trovoadas convectivas após as 17:00 UTC, com topos de Cbs atingindo 15 km de altitude. As regiões entre São Paulo, Vale do Paraíba, e o Litoral Norte do Estado de São Paulo foram fortemente impactadas entre 17:00 UTC e 20:00 UTC, sendo que os aeroportos de Congonhas e Guarulhos estiveram com condições severas de tempo nesse período. Outras regiões do estado de São Paulo também apresentaram formações convectivas que provocaram desvios nas rotas das aeronaves que chegavam e saíam dos aeroportos existentes nessa região. Vários desvios e várias ações de gerenciamento de fluxo foram realizados para que os pousos e as decolagens ocorressem com segurança nesses aeroportos. A Tabela 7.2 abaixo apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 24 de janeiro de 2014.

Tabela 7.2 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 24/01/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |
|          | SP01-ALTO   |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-06       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-07       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |
|          | SP-07 BAIXO |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |
|          | SP-09 GR    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-10 SP    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |
| SP-11 KP |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| SP-12 SJ |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    | X  |    |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-06 GL    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

b) Cenário da Rodada 3 – 25/01/2014.

Frente fria localizada no estado do Rio Grande do Sul no período da manhã, deslocando-se para os estados de Santa Catarina e Paraná no período da tarde. Essa dinâmica gerou instabilidades no lado ocidental da Região Centro-oeste e central da Região Sul, provocando chuvas e trovoadas nos aeroportos dessa região, principalmente em Cuiabá, Campo Grande e Foz do Iguaçu. Durante praticamente todo o dia, o Aeroporto de Porto Alegre operou com restrição de visibilidade e teto baixo. Nuvens convectivas no período vespertino também estiveram presentes nos estados do Piauí, Tocantins e parte de Goiás e Maranhão. Alta da Bolívia localizada na região central da Bolívia. VCAN localizado sobre o lado norte de Minas Gerais, atingindo 500 hPa. Na TMA-SP, observaram-se áreas com a presença de Cbs a oeste do setor 3 e ao norte do setor 4 no início do dia. No período da tarde, parte do setor 8, entre Caçapava e Guaratinguetá, esteve com atuação convectiva intensa, fato que provocou desvios nos voos no período em questão. Não houve relato de fechamento de aeroportos durante todo o dia, mesmo em função de condições meteorológicas adversas. A Tabela 7.3 abaixo apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 25 de janeiro de 2014.

Tabela 7.3 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 25/01/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |
|          | SP01-ALTO   |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-03       | X                             | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-04       | X                             | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-06       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-07       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-07 BAIXO |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-09 GR    | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-10 SP    | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-11 KP |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-12 SJ |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       | NADA A RELATAR                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-06 GL    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C, e D.

c) Cenário da Rodada 4 – Dia 28/02/2014.

Sistema frontal com seu ramo frio estendendo-se desde o estado do Mato Grosso até o estado de São Paulo. Um ciclone extratropical situado a sudeste do estado do Rio Grande do Sul, no litoral da Região Sul do Brasil, pôde ser observado. Essas condições de tempo provocaram restrição de visibilidade e teto baixo nos estados das Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste. Toda a área compreendida pelo ramo frio do sistema frontal foi submetida a trovoadas com chuvas. A Região Nordeste do Brasil esteve com presença de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), sendo que as áreas ao norte e central do estado de Minas Gerais e oeste da Bahia apresentaram nuvens convectivas no período da tarde. Duas intensas linhas de instabilidade se formaram entre a FIR-CW e a entrada da TMA-SP, uma às 11:00 UTC, atuando até as 15:00 UTC, e outra entre 21:00 UTC e 23:59 UTC. Diversos setores das áreas terminais de São Paulo e, principalmente, de Curitiba também foram impactadas pela presença de nuvens Cb. Isso provocou diversos desvios nos voos, que acabaram por gerar medidas de gerenciamento de tráfego aéreo. Apesar dessas condições, todos os aeroportos estudados permaneceram operacionais durante todo o dia. A Tabela 7.4 abaixo apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 28 de fevereiro de 2014.

Tabela 7.4 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 28/02/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       | X                             | X  |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    | X  | X  | X  |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |
|          | SP01-ALTO   |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       |                               |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |
|          | SP-03       |                               | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    |
|          | SP-04       |                               |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP-06       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-07       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |
|          | SP-07 BAIXO |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-09 GR    |                               | X  |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    | X  |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-10 SP    |                               |    |    |    |    |    | X  | X  |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-11 KP |             |                               |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |
| SP-12 SJ |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-06 GL    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

d) Cenário da Rodada 5 – Dia 15/04/2014.

Frente fria que atuou desde a região nordeste/leste do estado do Mato Grosso do Sul até São Paulo. A área da nebulosidade estratiforme abrangeu os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. Toda essa região sofreu impactos com a presença de nebulosidade baixa e restrição de visibilidade. O aeroporto do Rio de Janeiro, Santos Dumont, ficou fechado entre 09:00 UTC e 12:50 UTC em função dessas condições, fato que gerou impacto no fluxo do tráfego aéreo. Entre 11:00 UTC e 21:00 UTC, principalmente os setores 2, 3, e 10 SP sofreram impactos com a presença de nuvens Cb. A partir das 17:00 UTC até as 21:00 UTC do dia analisado, principalmente os setores 5, 6 e 8 da TMA-SP sofreram com a presença desse tipo de nebulosidade em decorrência do movimento da frente fria. Os topos das Cbs variaram entre 13 e 15 km de altitude. Foram efetuados diversos desvios nos voos em função dessas condições de tempo. A Tabela 7.5 a seguir apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 15 de abril de 2014.

Tabela 7.5 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 15/04/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                           | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |
|          | SP01-ALTO   |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |
|          | SP-03       | X                            | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-04       | X                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-05       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |
|          | SP-06       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |
|          | SP-07       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | SP-07 BAIXO |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | SP-08       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |
|          | SP-09 GR    |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | SP-10 SP    |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |
|          | SP-11 KP    |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-12 SJ |             |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | RJ-02       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | RJ-03       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |
|          | RJ-04       |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-05       |                              |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-06 GL    |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-07 RJ    |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

e) Cenário da Rodada 6 – Dia 28/06/2014.

Ciclone extratropical na região compreendida entre o norte/nordeste da Argentina, noroeste do Uruguai e região sudoeste do Rio Grande do Sul. Uma extensa área de nebulosidade baixa pôde ser vista estendendo-se desde o norte da Bolívia e centro-sul do estado de Rondônia, passando pelo estado do Mato Grosso do Sul, em direção à Região Sul do Brasil. Foram observados chuva, restrição de visibilidade e teto baixo nessa região durante todo o dia. A

área com trovoadas e Cbs ficou restrita ao lado leste do estado de Santa Catarina, em pequenos períodos da madrugada e pela manhã. A região de estudo sofreu impactos decorrentes da nebulosidade baixa e restrição de visibilidade presente somente no Rio de Janeiro, em função da circulação de vento em baixos níveis. O Aeroporto Santos Dumont ficou com condições meteorológicas abaixo do mínimo operacional entre 12:00 UTC e 12:55 UTC. Isso provocou várias ações de gerenciamento de fluxo para deslocar aeronaves para outros aeroportos, bem como ajustar a demanda de tráfego para esse local quando de sua abertura. A Tabela 7.6 a seguir apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 28 de junho de 2014.

Tabela 7.6 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 28/06/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 21 | 22 | 23 |  |
| TMA-SP   | SP-01       | NADA A RELATAR                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP01-ALTO   |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-06       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-07       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-07 BAIXO |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-09 GR    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-10 SP    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | SP-11 KP    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| SP-12 SJ |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| TMA-RJ   | RJ-01       | NADA A RELATAR                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-06 GL    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

a) Cenário da Rodada 7 – Dia 17/12/2014.

Ciclone extratropical no Oceano Atlântico, no litoral do estado do Rio Grande do Sul, desprendendo sua nebulosidade da região continental. Intensa região convectiva na região norte da Argentina e Paraguai, derivada da presença da Baixa do Chaco. A região de divergência no campo de vento em altos níveis, associada à Alta da Bolívia e VCAN situado a leste do nordeste brasileiro, esteve localizada entre a região oeste dos estados do Piauí e Bahia. Isso gerou uma extensa região convectiva abrangendo principalmente o estado do Mato Grosso do Sul, além dos estados do Mato Grosso, Goiás, Tocantins, e o sul do Maranhão e Piauí. Os aeroportos de Campo Grande e Brasília sofreram com trovoadas, sendo este último impactado também pela restrição de visibilidade e teto. Esse fato interrompeu sua operação no período da manhã. Em

decorrência dessas condições, ocorreram vários atrasos nos voos que se dirigiam à região de estudo, a qual não estava sob a atuação de qualquer condição meteorológica adversa. Diversas ações de gerenciamento de fluxo foram adotadas com a finalidade de readequar os voos que seguiam e saíam para e da região de estudo. A Tabela 7.7 a seguir apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 17 de dezembro de 2014.

Tabela 7.7 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 17/12/2014.

|          |             | HORARIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       | NADA A RELATAR                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP01-ALTO   |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-06       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-07       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-07 BAIXO |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-09 GR    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-10 SP    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-11 KP    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-12 SJ |             |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       | NADA A RELATAR                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-05       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-06 GL    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

f) Cenário da Rodada 8 – Dia 23/12/2014.

Frente fria avançando para as Regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, associada a uma grande área de nebulosidade baixa. Observam-se a Alta da Bolívia sobre a Bolívia, o VCAN sobre o extremo nordeste do NE brasileiro, e convergência de umidade oriunda da região amazônica em direção ao cavado frontal. Esses sistemas provocaram intensa convecção, chuva, restrição à visibilidade e teto baixo durante todo o dia. Essa condição impactou, principalmente, os seguintes aeroportos nacionais: Joinville, Curitiba, São Paulo – Congonhas, São Paulo – Guarulhos, Rio de Janeiro – Santos Dumont, Brasília e Campo Grande. Esse mau tempo interferiu significativamente na operação dos aeroportos de Brasília, Congonhas, Santos Dumont e Guarulhos, sendo os três últimos integrantes da região de estudo. Em consequência, foram adotadas várias ações de equilíbrio de demanda de fluxo, considerando a presença das condições meteorológicas adversas. A Tabela 7.8 a seguir

apresenta os setores da TMA-SP e TMA-RJ com atividades convectivas no dia 23 de dezembro de 2014.

Tabela 7.8 – Setores com presença de atividades convectivas nos setores das TMA-SP e TMA-RJ e seus respectivos horários de ocorrência – 23/12/2014.

|          |             | HORÁRIOS UTC – de 00 a 23:59. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |             | 00                            | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| TMA-SP   | SP-01       | X                             | X  | X  | X  | X  | X  |    | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP01-ALTO   | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-02       | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-03       | X                             | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-04       | X                             | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-05       | X                             | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-06       |                               |    | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-07       | X                             | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-07 BAIXO | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | SP-08       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-09 GR    | X                             | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
|          | SP-10 SP    | X                             | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SP-11 KP | X           | X                             | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |
| SP-12 SJ |             |                               | X  |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |
| TMA-RJ   | RJ-01       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-02       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | RJ-03       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |
|          | RJ-04       |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |
|          | RJ-05       | X                             | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |
|          | RJ-06 GL    | X                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |
|          | RJ-07 RJ    |                               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |

Fonte: o autor, compilado dos Apêndices A, B, C e D.

## 7.2 Metodologia de Produção dos Resultados

A metodologia empregada para determinar a carga de trabalho dos controladores e o consumo de combustível das aeronaves, traduzidos posteriormente em emissões de CO<sub>2</sub>, tomou como base a interferência que as condições meteorológicas adversas de tempo promovem sobre o movimento do tráfego aéreo nacional, gerando atrasos e variações na quantidade de trabalho dos controladores e na quantidade de emissões atmosféricas.

Para estimar o possível impacto produzido pelas condições de mau tempo sobre esses dois parâmetros, buscou-se relacionar um dia idealizado do movimento de tráfego aéreo a outros sete dias em que houve os maiores atrasos no ano de 2014, estes identificados em RDSO.

Utilizando esses dias como referências, foram identificadas as condições meteorológicas presentes. Elas foram determinadas pelo emprego de imagens dos radares de São Roque (Apêndice A) e Pico do Couto (Apêndice B), de imagens de satélites (Apêndice C), e das condições descritas em cada um dos respectivos RDSO (Apêndice D).

Nesse contexto, cada um dos dados descritos no Item 6.1 desta tese foi inserido no TAAM, de acordo com a necessidade. A partir de um momento predefinido, foi realizada uma primeira simulação do tráfego aéreo sem levar

em conta quaisquer condições meteorológicas. Ela foi definida como Rodada 1 – Referência. Foram realizadas outras sete simulações, aqui descritas como Rodadas de 2 a 8, levando em conta somente as condições meteorológicas identificadas nos sete dias de maiores atrasos no tráfego aéreo em nível nacional. Nesses casos, apesar de os dias da semana possuírem números de voos diferentes entres si, utilizou-se o movimento de tráfego aéreo semelhante ao de uma terça-feira, em função de essa condição melhor representar o número diário médio dos voos da semana. Isso foi feito para que os resultados encontrados pudessem ser comparados considerando-se apenas a variável relativa às condições adversas de tempo, desconsiderando a variável número de voos diários.

Os procedimentos de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo adotados durante esses dias derivados das condições meteorológicas encontradas, bem como os procedimentos relacionados ao serviço e ao gerenciamento de tráfego aéreo, também foram determinados nos RDSO e fizeram parte da configuração do TAAM para a realização de cada uma dessas simulações.

Não foi considerado o efeito do vento para a definição das cabeceiras das pistas, nem em qualquer outro nível da atmosfera, em todas as simulações realizadas. As cabeceiras das pistas utilizadas foram as mais usuais, considerando o vento predominante nos principais aeroportos envolvidos nas simulações.

Os procedimentos relacionados aos desvios das regiões de mau tempo foram gerados levando-se em conta a existência de ecos de radar iguais ou superiores a 41 dBz, e topos com 25.000 pés ou superiores. Nesse caso, para os voos realizados em rota que encontraram regiões convectivas dentro desses parâmetros, todos eles sofreram desvios. Os desvios laterais realizados se iniciaram com 25 km das condições meteorológicas (RHODA et al., 2000; 2002; DELAURA e EVANS, 2006; DELAURA et al., 2008), contornando o mau tempo sempre pelo menor percurso e considerando uma distância de 5 NM do sistema. A intensidade dos ecos e os topos das nuvens convectivas foram definidos por meio das imagens dos radares de São Roque – SP e Pico do Couto – RJ. Não foram realizados desvios nos voos das aeronaves que voavam em níveis iguais ou acima dos topos das nuvens Cb identificadas. Os

procedimentos relacionados ao serviço e ao gerenciamento do tráfego aéreo adotados também levaram em conta os padrões definidos pelo DECEA.

A existência de NOTAMs (*Notice to Airmen*) de inoperâncias em auxílios à navegação, bem como de quaisquer outras condições restritivas às operações aéreas, não oriundas das condições de tempo adversas, não foram consideradas nas simulações.

Nesse contexto, tomando como base as boas práticas descritas por Boesel et al. (2001), foram realizados os seguintes passos metodológicos, com a finalidade de obter os resultados sobre a carga de trabalho dos controladores e de emissões de CO<sub>2</sub>:

- a) definição da área de estudo e de seus setores, ou seja, as áreas de controle terminal de São Paulo e Rio de Janeiro (TMA-SP e TMA-RJ);
- b) definição dos objetivos do projeto de simulação;
- c) desenho da setorização do espaço aéreo brasileiro contendo a TMA-SP e a TMA-RJ;
- d) criação do arquivo contendo aeroportos no Brasil;
- e) criação de arquivo com todos os *waypoints* no espaço aéreo brasileiro, com 2.720 posições geográficas;
- f) criação de 909 rotas, a fim de atender aos voos da amostra;
- g) criação de 2.192 planos de voos repetitivos, com base na lista de voos regulares nacionais e internacionais repetitivos;
- h) desenho dos layouts dos principais aeroportos pertencentes à área de estudo (Guarulhos – SBGR, São Paulo – SBSP, Campinas – SBKP, Rio de Janeiro – Santos Dumont – SBRJ; e Rio de Janeiro – Galeão – SBGL);
- i) criação das áreas de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo para cada rodada;
- j) criação dos procedimentos de saída e chegada nos aeroportos internacionais de São Paulo, Guarulhos, Campinas, Santos Dumont e Galeão (SIDs e STARs);
- k) pesquisa e identificação dos sete principais dias onde o tráfego aéreo nacional sofreu os maiores atrasos;

- l) pesquisa e identificação das ações de tráfego aéreo e gerenciamento de fluxo empregadas nos sete dias de maiores atrasos;
- m) pesquisa e identificação das condições meteorológicas utilizadas como referência no TAAM;
- n) identificação dos horários e criação das áreas de mau tempo nos sete cenários considerados;
- o) criação de regras de desvio para todos os cenários que possuíam condições meteorológicas adversas;
- p) criação das ações de gerenciamento de fluxo específicas de mau tempo empregadas nos dias definidos para a simulação;
- q) simulação tentativa representativa do dia 10 de junho de 2014;
- r) realização de ajustes técnicos corretivos para a concretização da simulação do dia 10 de junho de 2014;
- s) realização das simulações dos dias definidos na Tabela 5.1, com seus respectivos ajustes técnicos;
- t) validação das simulações;
- u) geração de relatórios de carga de trabalho dos controladores para as oito rodadas;
- v) geração de relatórios sobre consumo de combustível para as oito rodadas de simulação;
- w) compilação das informações obtidas em formato de arquivos representativos das “rodadas”, com o objetivo de produzir os resultados das cargas de trabalho e consumo de combustível para os oito cenários de simulação; e
- x) seleção dos dados de interesse nos oito relatórios de simulação.

As Figuras 7.2 e 7.3 representam os setores da TMA-SP e TMA-RJ. Sua configuração no TAAM seguiu as seguintes faixas da atmosfera, descritas na Tabela 7.9.

Tabela 7.9 – Limites verticais da atmosfera considerados na configuração do TAAM para os setores das TMA-SP e TMA-RJ.

| TMA-SP      |                                | TMA-RJ   |                                |
|-------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|
| SETOR       | Faixa da Atmosfera Considerada | SETOR    | Faixa da Atmosfera Considerada |
| SP 01       | 0 pés a 19.500 pés             | RJ 01    | 0 pés a 19.500 pés             |
| SP 01 Alto  | 12.000 pés a 19.500 pés        | RJ 02    | 0 pés a 70.000 pés             |
| SP 02       | 0 pés a 19.500 pés             | RJ 03    | 0 pés a 12.000 pés             |
| SP 03       | 0 pés a 19.500 pés             | RJ 04    | 0 pés a 19.500 pés             |
| SP 04       | 12.000 pés e 19.500 pés        | RJ 05    | 0 pés a 70.000 pés             |
| SP 05       | 0 pés a 19.500 pés             | RJ06 GL  | 0 pés a 12.000 pés             |
| SP 06       | 0 pés a 19.500 pés             | RJ 07 RJ | 0 pés a 7.000 pés              |
| SP 07 Baixo | 0 pés a 12.000 pés             |          |                                |
| SP 07       | 0 pés a 19.500 pés             |          |                                |
| SP 08       | 0 pés a 70.000 pés             |          |                                |
| SP 09 GR    | 0 pés a 11.000 pés             |          |                                |
| SP 10 SP    | 0 pés a 11.000 pés             |          |                                |
| SP 11 KP    | 0 pés a 11.000 pés             |          |                                |
| SP 12 SJ    | 0 pés a 8.500 pés              |          |                                |

Fonte: produzido pelo autor.

A Tabela 7.10 apresenta os limites verticais de cada setor da área de estudo, utilizados nos resultados. Eles consideram as peculiaridades de cada setor, procurando atender ao que preconiza o SRPV (2014a; 2014b). Em relação à superfície, o limite inferior de 3.000 pés acima do solo também foi levado em conta. Ele tem por objetivo atender ao parâmetro definido nos ciclos LTO.

Tabela 7.10 - Limites verticais da atmosfera considerados para os resultados deste trabalho.

| TMA-SP      |                                | TMA-RJ   |                                |
|-------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|
| SETOR       | Faixa da Atmosfera Considerada | SETOR    | Faixa da Atmosfera Considerada |
| SP 01       | 5.500 pés a 19.500 pés         | RJ 01    | 3.000 pés a 19.500 pés         |
| SP 01 Alto  | 12.000 pés a 19.500 pés        | RJ 02    | 19.500 pés e 39.000 pés        |
| SP 02       | 5.500 pés a 19.500 pés         | RJ 03    | 3.000 pés a 12.000 pés         |
| SP 03       | 5.500 pés a 19.500 pés         | RJ 04    | 3.000 pés a 19.500 pés         |
| SP 04       | 12.000 pés e 19.500 pés        | RJ 05    | 3.000 pés a 19.500 pés         |
| SP 05       | 5.500 pés e 19.500 pés         | RJ06 GL  | 3.000 pés a 12.000 pés         |
| SP 06       | 5.500 pés e 19.500 pés         | RJ 07 RJ | 3.000 pés a 7.000 pés          |
| SP 07 Baixo | 5.500 pés a 12.000 pés         |          |                                |
| SP 07       | 5.500 pés e 19.500 pés         |          |                                |
| SP 08       | 10.500 pés e 39.000 pés        |          |                                |
| SP 09 GR    | 5.400 pés a 11.000 pés         |          |                                |
| SP 10 SP    | 5.600 pés a 11.000 pés         |          |                                |
| SP 11 KP    | 5.100 pés a 11.000 pés         |          |                                |
| SP 12 SJ    | 5.100 pés a 8.500 pés          |          |                                |

Fonte: produzido pelo autor.

Para estimar a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo, em minutos, foram utilizados os relatórios produzidos em cada simulação realizada pelo TAAM. Tendo em vista que o TAAM caracteriza essa variável por meio de parâmetro adimensional, este trabalho utilizou o que descreve o EUROCONTROL (2000, p. 53) para a conversão dessa variável para a referência em minutos. Nesse caso, foi considerada a metodologia CAPAN, descrita em EUROCONTROL (2003b). Ela estabelece que um minuto de tempo de carga de trabalho encontrado pelo simulador RAMS corresponde a dois pontos do valor encontrado pelo TAAM.

No contexto desta tese, considera-se sobrecarga de trabalho não controlada quando o limite de 42 minutos/hora de carga laboral é observado em mais de uma hora consecutiva. Essa sistemática procura associar o conceito da variação da carga laboral estabelecido pela metodologia CAPAN e o princípio de manutenção da carga de trabalho em nível elevado por um tempo também elevado, conforme descreve o DECEA (2014a, p. 15).

Para estimar as cargas de emissão de gás carbônico nas áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro, por setor e por região do espaço aéreo, foi necessário determinar o consumo de combustível em cada um desses volumes atmosféricos. Isso foi feito por meio da análise e coleta das informações existentes nos relatórios de consumo de combustível do movimento aéreo de cada simulação, gerados pelo TAAM. O procedimento realizado, considerando os detalhes da simulação, é caracterizado por Winther e Rypdal (2016) como *Tier 3b*. A partir da identificação desses valores em cada setor das áreas terminais, adotou-se simplesmente a multiplicação do consumo de combustível pelo índice de emissão de 3.155 g de CO<sub>2</sub> emitido por quilo de combustível consumido (SUTKUS et al., 2001). Nesse contexto, foram produzidos os resultados apresentados no capítulo a seguir.



## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados e a metodologia descritos no capítulo anterior, foram realizadas oito simulações no TAAM. Elas produziram resultados que apresentam a estimativa de carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo e as emissões atmosféricas de gás carbônico advindas das aeronaves em voo acima de 3.000 pés do solo. Este capítulo trata separadamente desses resultados e apresenta a discussão pertinente.

### 8.1 Variação da Carga de Trabalho dos Controladores

Conforme comentado no capítulo anterior, o TAAM disponibiliza as informações sobre carga de trabalho em valores adimensionais, sendo essa uma desvantagem desse simulador. Assim, para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, tratou-se de transformar esses valores em parâmetros de tempo. Isso permite o emprego da metodologia CAPAN (*ATC Capacity Analyser tool*), que é um método de avaliação de capacidade do espaço aéreo desenvolvida pelo EUROCONTROL. A Tabela 8.1 esclarece tal sistemática, descrevendo a carga de trabalho. Ela considera apenas uma posição operacional de controle de tráfego aéreo.

Tabela 8.1 – Descrição da carga de trabalho.

| Limites     | Interpretação    | Tempo de trabalho registrado durante 1 hora | Representação em cor |
|-------------|------------------|---|----------------------|
| 70% ou mais | Sobrecarga       | 42 minutos ou mais                          | Vermelho             |
| 54% a 69%   | Carga Pesada     | 32 a 41 minutos                             | Marrom               |
| 30% a 53%   | Carga Média      | 18 a 31 minutos                             | Amarelo              |
| 18% a 29%   | Carga Leve       | 11 a 17 minutos                             | Azul                 |
| 0% a 17%    | Carga Muito Leve | 0 a 10 minutos                              | Verde Claro          |

A carga de trabalho apresentada na Tabela 8.1 se refere à metodologia CAPAN. A coluna representada em cores é uma adaptação deste autor para destacar os resultados obtidos.

Fonte: adaptado de EUROCONTROL (2003b, p. 5).

#### 8.1.1 TMA-SP

Os resultados obtidos sobre a carga de trabalho dos controladores na TMA-SP são apresentados em três etapas: a) Carga de trabalho diária total por rodada e por setor; b) Carga de trabalho por rodada e por hora do dia; e c) Carga de trabalho por setor e por hora do dia.

### 8.1.1.1 Carga de trabalho diária total por rodada e por setor

Utilizando-se do mesmo princípio empregado pela metodologia CAPAN, no que diz respeito aos limites estabelecidos para a mudança de intensidade, além de considerar a carga total diária de trabalho de 1440 minutos, identifica-se na Tabela 8.2 abaixo que na rodada 1 de referência o setor SP-09 GR possui carga de trabalho diária de intensidade “média”, pois esse setor emprega 717 minutos do tempo diário total, correspondente a aproximadamente 50%, do dia de operação. Essa rodada não leva em conta qualquer condição meteorológica adversa atuando na região de estudo.

Tabela 8.2 – Resultado da carga de trabalho total diária executada nos setores da TMA-SP, em minutos.

|                   | Rod1-Ref | Rod2 | Rod3 | Rod4 | Rod5 | Rod6 | Rod7 | Rod8 |
|-------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Setor SP-01       | 194      | 261  | 258  | 206  | 247  | 237  | 201  | 192  |
| Setor SP-01 Alto  | 281      | 288  | 297  | 277  | 272  | 288  | 280  | 274  |
| Setor SP-02       | 355      | 363  | 361  | 359  | 294  | 358  | 354  | 456  |
| Setor SP-03       | 320      | 358  | 357  | 332  | 346  | 346  | 314  | 440  |
| Setor SP-04       | 264      | 260  | 258  | 275  | 346  | 322  | 284  | 331  |
| Setor SP-05       | 273      | 292  | 286  | 269  | 297  | 281  | 265  | 208  |
| Setor SP-06       | 623      | 725  | 723  | 612  | 674  | 727  | 628  | 527  |
| Setor SP-07       | 575      | 595  | 622  | 558  | 568  | 653  | 564  | 599  |
| Setor SP-07 Baixo | 284      | 326  | 321  | 280  | 327  | 344  | 279  | 322  |
| Setor SP-08       | 544      | 571  | 555  | 549  | 667  | 561  | 543  | 567  |
| Setor SP-09 GR    | 717      | 787  | 793  | 744  | 760  | 790  | 735  | 706  |
| Setor SP-10 SP    | 518      | 574  | 616  | 524  | 499  | 586  | 506  | 564  |
| Setor SP-11 KP    | 423      | 532  | 519  | 452  | 512  | 517  | 447  | 441  |
| Setor SP-12 SJ    | 5        | 4    | 3    | 4    | 3    | 3    | 7    | 7    |

Fonte: Produção do autor.

Ao incorporar os parâmetros atmosféricos descritos no item 7.1.5 às rodadas de simulações subsequentes, percebe-se que em quatro delas a carga laboral atinge o parâmetro definido como “pesada”, todas no setor SP-09 GR. São elas: Rodada 2 com 54,7% – 787 minutos; Rodada 3 com 55,1% – 793 minutos; Rodada 5 com 53% – 760 minutos; e Rodada 6 com 54,9% – 790 minutos. Os demais setores não atingem tal condição em qualquer das condições simuladas. Não foi identificada sobrecarga de trabalho diária em qualquer setor ou rodada de simulação.

A Tabela 8.3 apresenta a variação da carga de trabalho diária total estimada nos setores da TMA-SP. A legenda abaixo, representativa das cores existentes nessa tabela, destaca a intensidade do impacto esperado com a variação da carga de trabalho encontrada. O critério de cores utilizado foi estabelecido por

este autor. Ele considera a mudança de nível de impacto a cada aumento ou diminuição de 60 minutos na carga de trabalho diária.

Legenda:

| Minutos        | Impacto Positivo (Diminuição) | Minutos       | Impacto Negativo (Aumento) |
|----------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|
| -1 a -60       | Leve                          | 0 a 60        | Leve                       |
| -61 a -120     | Moderado                      | 61 a 120      | Moderado                   |
| -121 a -180    | Forte                         | 121 a 180     | Forte                      |
| menor que -180 | Severo                        | maior que 180 | Severo                     |

Assim, observando-se a Tabela 8.3, é possível identificar que a variação da carga de trabalho diária aponta para aumento na carga laboral nos setores na maioria dos casos. Essa variação do impacto é de intensidade leve a moderada negativo. Três situações merecem destaque: a Rodada 7 é a única que apresenta diminuição da carga de trabalho na maioria dos setores da TMA-SP; na rodada 8 observa-se os setores SP-05 e SP-06 com impactos moderados positivos; e na Rodada 5, no setor SP-08, apresenta o único impacto negativo forte registrado.

Tabela 8.3 – Estimativa da variação da carga de trabalho total diária nos setores da TMA-SP, em minutos.

|                   | Rod (2-1) | Rod (3-1) | Rod (4-1) | Rod (5-1) | Rod (6-1) | Rod (7-1) | Rod (8-1) |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Setor SP-01       | 68        | 64        | 12        | 53        | 43        | 7         | -1        |
| Setor SP-01 Alto  | 7         | 16        | -5        | -10       | 7         | -2        | -7        |
| Setor SP-02       | 8         | 6         | 4         | -61       | 3         | -1        | 100       |
| Setor SP-03       | 38        | 38        | 12        | 26        | 26        | -6        | 120       |
| Setor SP-04       | -4        | -6        | 11        | 82        | 58        | 20        | 67        |
| Setor SP-05       | 19        | 14        | -4        | 24        | 8         | -7        | -65       |
| Setor SP-06       | 102       | 100       | -11       | 51        | 104       | 5         | -96       |
| Setor SP-07       | 20        | 47        | -17       | -7        | 78        | -11       | 24        |
| Setor SP-07 Baixo | 42        | 37        | -4        | 43        | 60        | -5        | 38        |
| Setor SP-08       | 28        | 11        | 5         | 123       | 17        | -1        | 24        |
| Setor SP-09 GR    | 70        | 76        | 27        | 43        | 73        | 18        | -11       |
| Setor SP-10 SP    | 56        | 97        | 6         | -19       | 68        | -13       | 46        |
| Setor SP-11 KP    | 109       | 96        | 29        | 89        | 94        | 24        | 18        |
| Setor SP-12 SJ    | -1        | -2        | -1        | -2        | -1        | 2         | 2         |

Fonte: Produção do autor.

Diante das análises das informações contidas nas Tabelas 8.2 e 8.3, é possível identificar que, de modo geral, a presença de condições adversas de tempo provoca aumento na estimativa de carga de trabalho diária dos controladores que operam na TMA-SP, principalmente nos setores SP-08 e SP-09 GR. O setor SP-08 é o maior dos setores da TMA-SP sendo aquele faz fronteira com a TMA-RJ, corredor dos voos realizados entre São Paulo e Rio de Janeiro. O setor SP-09 GR é onde está localizado o aeroporto internacional de Guarulhos, para onde converge e dispersa o maior fluxo nacional de tráfego aéreo. Ele é um dos menores setores da TMA-SP.

O cenário apresentado na rodada 6 apresenta-se como aquele que gera o maior impacto sobre a carga de trabalho do controlador, com estimativa de aumento a carga laboral diária em 13 dos 14 setores na TMA-SP. A condição meteorológica reinante apresentava nebulosidade baixa e restrição de visibilidade na área de estudo. O aeroporto Santos Dumont ficou com condições meteorológicas abaixo do mínimo operacional entre 12 UTC e 12:55 UTC. Isso provocou a adoção de uma série de ações de gerenciamento de fluxo para ajustar a demanda reprimida de voos que tinham como destino esse aeroporto ou que saia dele. A região sul também sofria impacto do mau tempo, com presença de chuva, nebulosidade baixa e restrição de visibilidade durante todo o dia.

O impacto positivo de maior relevância, ou seja, a estimativa de diminuição da carga de trabalho, aparece mais bem definido nos setores SP-01 Alto e SP-05, sendo a rodada 7 aquela que mais gera esta condição, em 8 de 14 setores. O cenário da condição meteorológica dessa rodada era muito bom para a aviação na área de estudo. A condição de mau tempo estava localizada na região sul do país. Em função da presença de uma região de divergência no campo de vento em altos níveis, localizada a oeste dos Estados do Piauí e Bahia, associada a um VCAN situado a leste do nordeste brasileiro, uma extensa região convectiva, abrangendo principalmente o estado de Mato Grosso do Sul, além dos estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins, e sul do Maranhão, provocou impacto nos aeroportos de Campo Grande e Brasília. O aeroporto de Brasília interrompeu sua operação no período da manhã devido à restrição de visibilidade e teto. Em decorrência dessas condições, ocorreram vários atrasos nos voos que se dirigiam à região de estudo. Diversas ações de gerenciamento de fluxo tiveram que ser adotadas para ajustar a demanda de voos para a TMA-SP. Elas promoveram coordenações de tráfego aéreo entre as regiões de informação de voo de Curitiba, Brasília e Recife. A nova organização produzida para os voos desse dia em direção à região de estudo e para fora dela pode ter sido o motivo da diminuição da carga de trabalho observada nessa rodada de simulação.

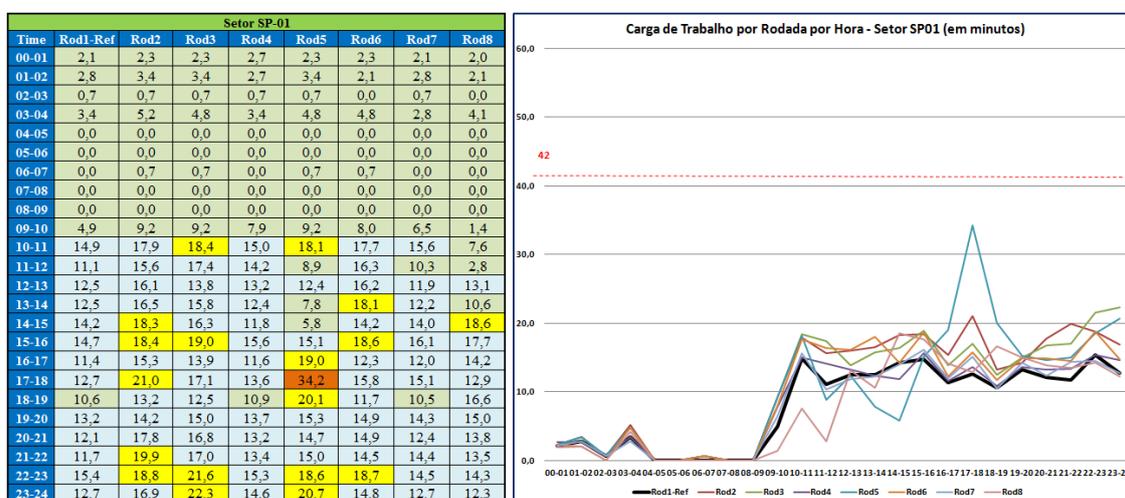
### 8.1.1.2 Carga de trabalho por rodada por hora do dia

Neste item, são descritos os resultados para cada setor da TMA-SP. Aqui estão disponibilizadas figuras compostas por dois tipos de informações: uma tabela que relaciona cada uma das rodadas às suas respectivas cargas de trabalho por hora do dia; e um gráfico que destaca o limite para a sobrecarga de trabalho. Na tabela, as cores representam os parâmetros descritos pela metodologia CAPAN, já citados na Tabela 8.1. No gráfico, duas linhas aparecem em destaque: a linha preta intensa é indicativa da Rodada 1 de referência. Ela serve de base comparativa para as demais linhas coloridas, representativas da dinâmica de evolução da carga de trabalho das outras simulações. A linha tracejada em vermelho estabelece a região limite acima da qual existirá sobrecarga de trabalho, ou seja, trabalho realizado por mais de 42 minutos/hora. Para efeito desta tese, quando essa condição é ultrapassada em duas ou mais horas consecutivas, ela é diagnosticada como *sobrecarga de trabalho não controlada*, definindo um conceito semelhante ao que está estabelecido em DECEA (2014a, p. 15).

Para permitir uma melhor contextualização das discussões, elas serão apresentadas logo após os resultados de cada setor, quando for o caso. O foco será dado somente sobre os pontos relacionados à sobrecarga de trabalho não controlada.

#### a) Análise para o setor SP-01

Figura 8.1 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01, por rodada por hora, em minutos.

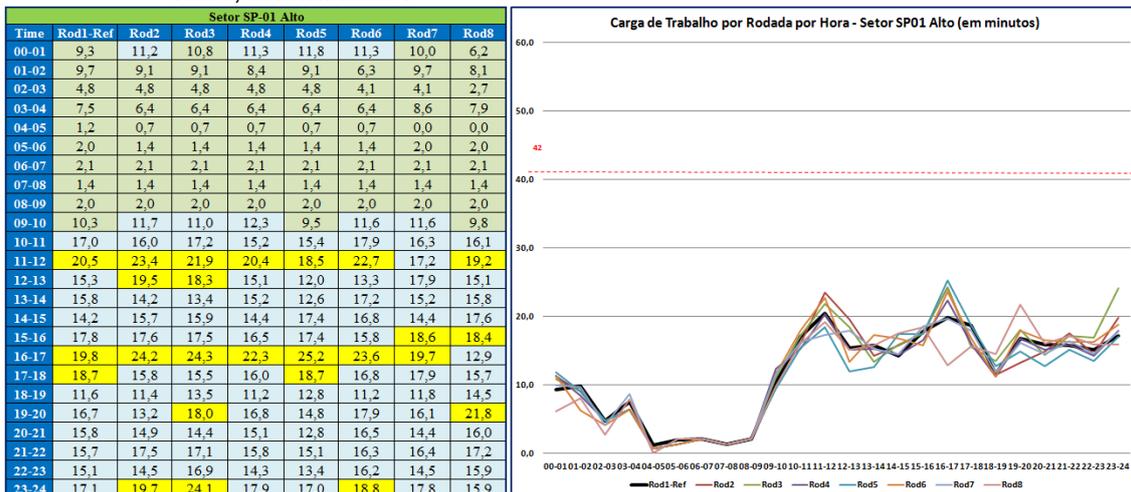


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.1, verifica-se que a maioria das rodadas apresenta aumento da carga laboral, porém sem gerar impactos de sobrecarga de trabalho. Na rodada 5, existe uma diminuição na carga laboral no período entre 11:00 UTC e 14:00 UTC, para intensidade leve ou muito leve, e há um aumento na carga de trabalho no período entre 16:00 UTC e 19:00 UTC, atingindo a intensidade pesada entre 17:00 UTC e 18:00 UTC. Isso indica que houve um movimento do número de voos do primeiro horário para o segundo, porém **se** mantendo a carga de trabalho controlada. Na rodada 8, percebe-se uma diminuição na carga laboral no período entre 09:00 UTC e 12:00 UTC, para intensidade leve ou muito leve.

b) Análise para o setor SP-01 Alto

Figura 8.2 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01 Alto, por rodada por hora, em minutos.

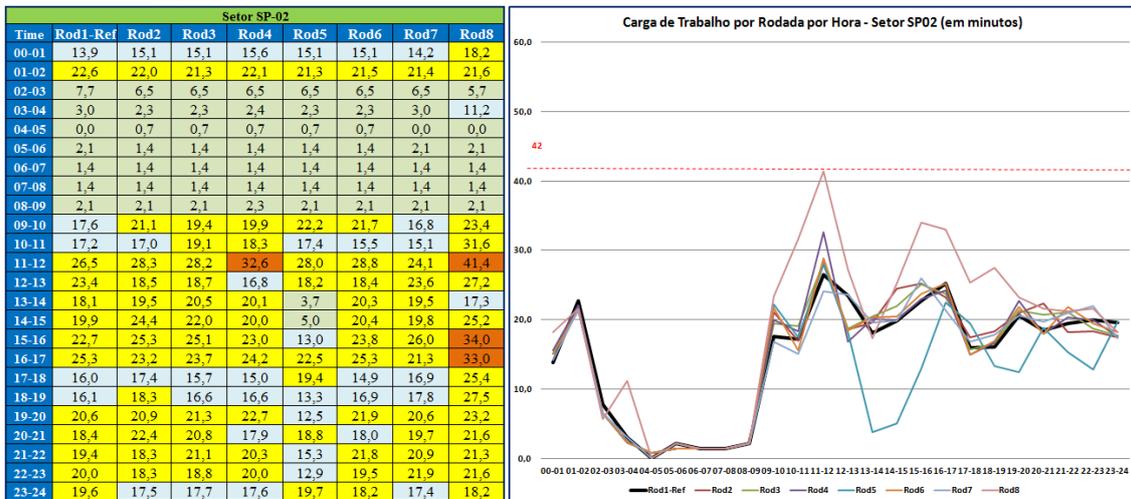


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.2, verifica-se que o comportamento da distribuição das cargas de trabalho não se afasta significativamente do padrão encontrado na Rodada 1 de referência. A carga laboral do setor atinge o nível máximo como “moderado” durante todo o período do dia e em todas as rodadas realizadas.

c) Análise para o setor SP-02

Figura 8.3 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-02, por rodada por hora, em minutos.

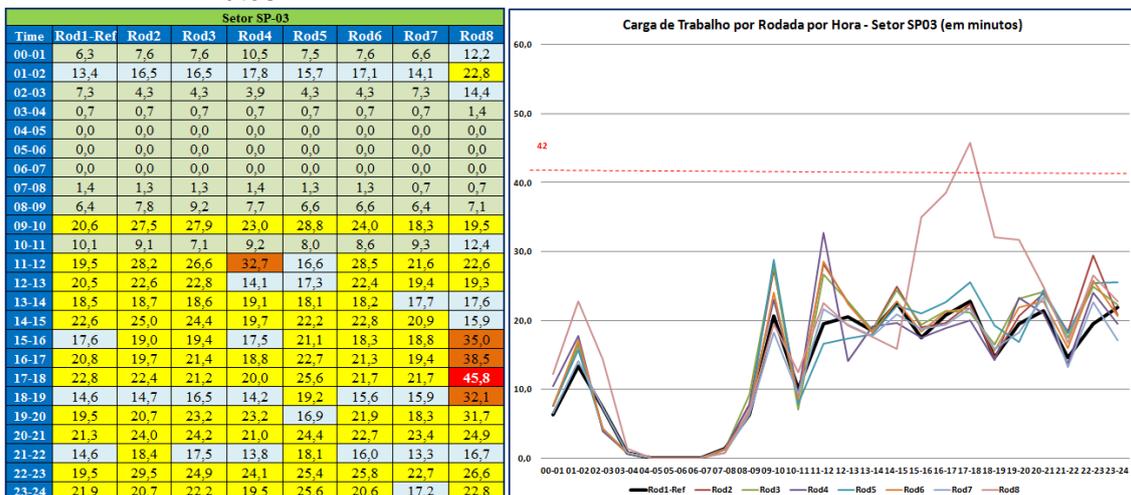


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.3, verifica-se que a maioria das rodadas apresenta um aumento na carga laboral, porém sem gerar impactos de sobrecarga de trabalho. Em todas as rodadas realizadas, há predomínio da carga laboral com intensidade “média”. Há um aumento na carga de trabalho com mudança da intensidade de leve ou média para pesada em três momentos: entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, na rodada 4; entre 10:00 UTC e 12:00 UTC, na rodada 8; e entre 15:00 UTC e 17:00 UTC, na rodada 8. Uma diminuição na carga de trabalho com mudança de média para leve entre 13:00 UTC e 15:00 UTC é observada na rodada 5.

d) Análise para o setor SP-03

Figura 8.4 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-03, por rodada por hora, em minutos.

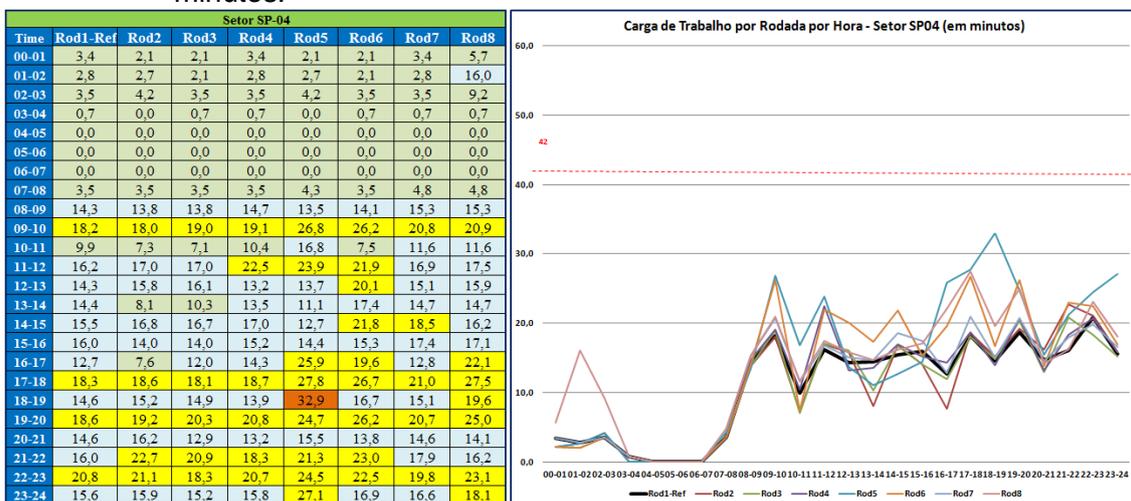


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.4, verifica-se que a maioria das rodadas produz um aumento na carga laboral. Há o predomínio da carga laboral com intensidade “média” no setor, em todas as rodadas realizadas, com exceção da rodada 8. Percebe-se um aumento na carga de trabalho com mudança da intensidade de leve ou média para pesada em dois momentos: entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, na rodada 4; e entre 15:00 UTC e 20:00 UTC, na rodada 8. É identificado um caso de sobrecarga de trabalho na rodada 8, entre 17:00 UTC e 18:00 UTC, porém essa condição pode ser administrada, conforme definido em DECEA (2014a).

e) Análise para o setor SP-04

Figura 8.5 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-04, por rodada por hora, em minutos.

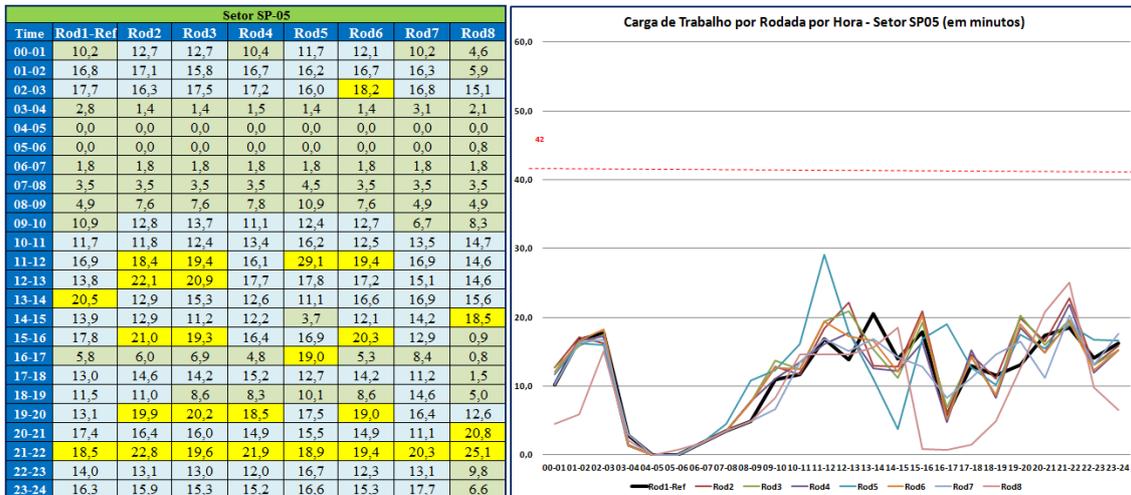


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.5, verifica-se que a maioria das rodadas apresenta um aumento na carga laboral, porém sem gerar impactos de sobrecarga de trabalho. A carga laboral do setor varia entre muito leve, leve e média durante praticamente todo o período do dia e em todas as rodadas realizadas. Há somente um caso de aumento da carga de trabalho para intensidade pesada, na rodada 5, entre 17:00 UTC e 18:00 UTC.

f) Análise para o setor SP-05

Figura 8.6 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-05, por rodada por hora, em minutos.

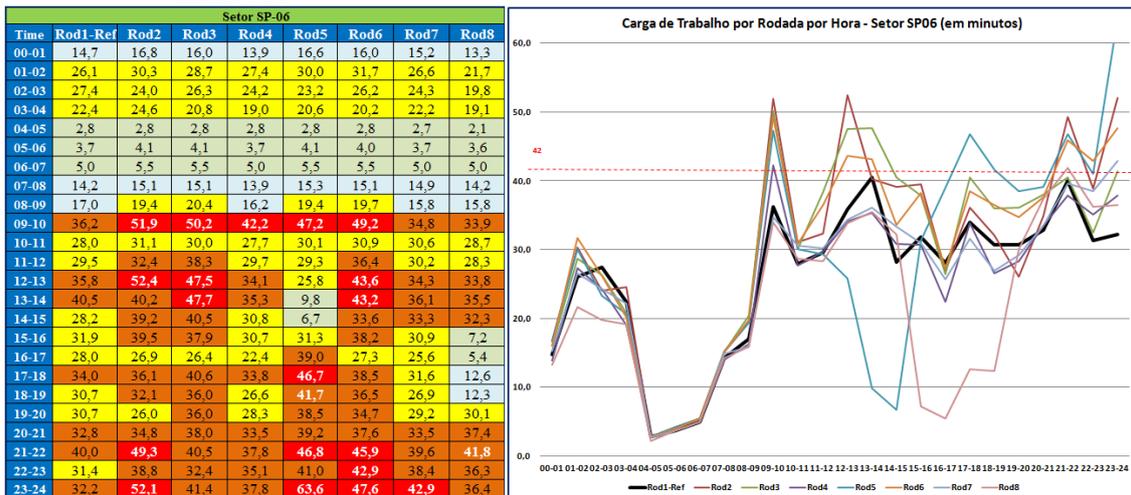


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.6, verifica-se que há um ligeiro predomínio de aumento da carga laboral (53,6%) no setor, porém não gera impactos de sobrecarga de trabalho. A carga laboral do setor varia entre muito leve, leve e média durante praticamente todo o período do dia e em todas as rodadas realizadas.

g) Análise para o setor SP-06

Figura 8.7 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-06, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.7, verifica-se que, de modo geral, há um predomínio de aumento da carga laboral no setor. Essa carga de trabalho varia entre média, pesada e sobrecarga de trabalho. Já na rodada 1 de referência, a partir

das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, observa-se a estimativa da carga de trabalho com intensidade média ou pesada. É possível identificar a presença de sobrecarga de trabalho durante, pelo menos, uma hora do dia em todas as rodadas com presença de mau tempo. Em três rodadas, houve estimativa de sobrecarga de trabalho por duas ou mais horas consecutivas: na rodada 3, entre 12:00 UTC e 14:00 UTC; e na rodada 6, entre 12:00 UTC e 14:00 UTC e entre 21:00 UTC e 24:00 UTC. Na rodada 5, entre 23:00 UTC e 24:00 UTC, existe a estimativa de carga de trabalho de 63,6 minutos, sugerindo a necessidade de subdividir o setor em, pelo menos, mais uma posição operacional. Os horários das 09:00 às 10:00 UTC, e das 23:00 às 24:00 UTC apresentaram-se como os mais impactados com sobrecarga de trabalho, considerando a presença das condições adversas de tempo descritas no Item 7.1.5.

Em duas rodadas, houve uma diminuição significativa na estimativa de carga laboral: na rodada 5, entre 13:00 UTC e 15:00 UTC, e na rodada 8, entre 15:00 UTC e 19:00 UCT, passando de média ou pesada para muito leve ou leve. Em ambos os casos, observa-se que uma parte dos movimentos aéreos desses períodos foi transferida para o setor SP-07 devido ao posicionamento do mau tempo estar na rota dos voos que se originaram nas Regiões Norte e Centro-Oeste para a TMA-SP e vice-versa, porém fora da região de estudo, e outra para horário posterior, conforme observado no Apêndice E – Setor SP-06.

Os três casos observados com sobrecarga de trabalho não controlada podem ser assim caracterizados:

- g.1) O cenário meteorológico para a rodada 3 não aponta registro de condições meteorológicas que poderiam impactar os voos na região de estudo. O RDSO do dia em questão descreve que houve propagação dos atrasos dos voos do dia 24 para o dia 25 de janeiro, em decorrência do mau tempo observado nesse dia. Considerando que a simulação foi realizada também de modo sequencial, ela representou bem essa condição. O aumento da carga de trabalho encontrada no período entre 12:00 UTC e 14:00 UTC é decorrente de voos que aparecem na simulação, deslocados de horários adjacentes para o horário impactado, conforme pode ser observado no Apêndice

E – Setor 6. Percebe-se que a sobrecarga de trabalho apresentada nesse horário ocorre em função de fatores relacionados à resolução de conflitos, comportamento do tráfego envolvido na simulação e coordenações realizadas pelas configurações padrão do TAAM (EUROCONTROL, 2000, p. 46).

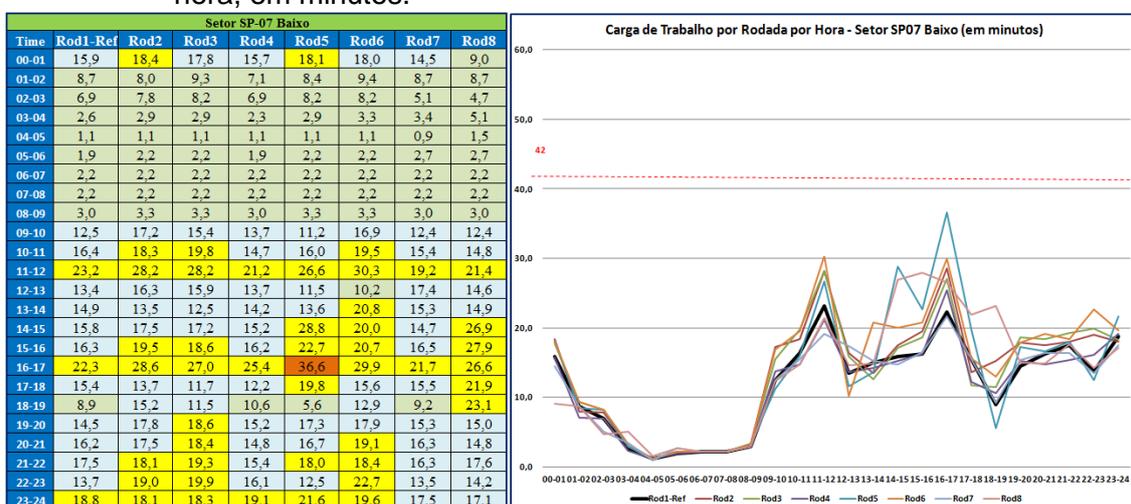
g.2) Em se tratando do cenário meteorológico presente na rodada 6, há indicação da presença de um sistema frontal entre o norte/nordeste da Argentina e a região oeste do Rio Grande do Sul. Foram observados chuva, restrição de visibilidade e teto baixo na Região Sul durante todo o dia na área de atuação desse sistema. A região de estudo estava com nebulosidade baixa e restrição de visibilidade somente no Rio de Janeiro, em decorrência da circulação de vento em baixos níveis. O Aeroporto Santos Dumont ficou com condições meteorológicas abaixo do mínimo operacional entre 12:00 UTC e 12:55 UTC. Isso provocou uma série de ações de gerenciamento de fluxo para ajustar a demanda reprimida de voos que tinham como destino esse aeroporto ou que saíam dele. O setor 6 não sofreu impacto pela presença de condições meteorológicas adversas. No Anexo E – Setor 6, observa-se que:

- na rodada 6, há um aumento de aproximadamente 21,7% na carga de trabalho, entre 12:00 UTC e 13:00 UTC, com aumento de uma aeronave no setor. Há, também, um aumento de 6,8% entre 13:00 UTC e 14:00 UTC, com diminuição de duas aeronaves no setor, considerando a rodada 1 de referência. Esses aumentos nos valores observados da carga de trabalho ocorreram devido à implementação das ações de gerenciamento de fluxo que modificaram horários de entrada e saída de aeronaves no setor 6, fato que promoveu outra dinâmica nos voos, obrigando o TAAM a empregar suas regras de resolução de conflitos, considerando o comportamento do tráfego, e de coordenações realizadas (EUROCONTROL, 2000, p. 46).
- entre 21:00 UTC e 24:00 UTC: há um aumento de aproximadamente 14,9% na carga de trabalho, com a diminuição de duas aeronaves no setor, entre 21:00 UTC e 22:00 UTC; há aumento de aproximadamente 36,9%, com aumento de três aeronaves no setor,

entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; e há aumento de aproximadamente 47,9% com diminuição de duas aeronaves no setor, entre 23:00 UTC e 24:00 UTC, quando se leva em conta o que havia na rodada 1 de referência. Ao se verificar o motivo de tais variações na carga laboral, identifica-se no RDSO do dia 28/06 que várias medidas de gerenciamento de fluxo foram tomadas em decorrência de condições meteorológicas adversas na TMA-SP para voos que se dirigiam para a TMA-RJ. Algumas rotas que levam voos de São Paulo para o Rio de Janeiro e vice-versa estão inseridas no setor SP-06. Assim, é possível concluir que o aumento observado da carga de trabalho, mais uma vez, deve-se à implementação de ações de gerenciamento de fluxo que modificaram horários de entrada e saída de aeronaves no setor 6, fato que promoveu outra dinâmica nos voos, obrigando o TAAM a empregar suas regras de resolução de conflitos, considerando o comportamento do tráfego, e de coordenações realizadas (EUROCONTROL, 2000, p. 46).

#### h) Análise setor SP-07 Baixo

Figura 8.8 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-07 Baixo, por rodada por hora, em minutos.



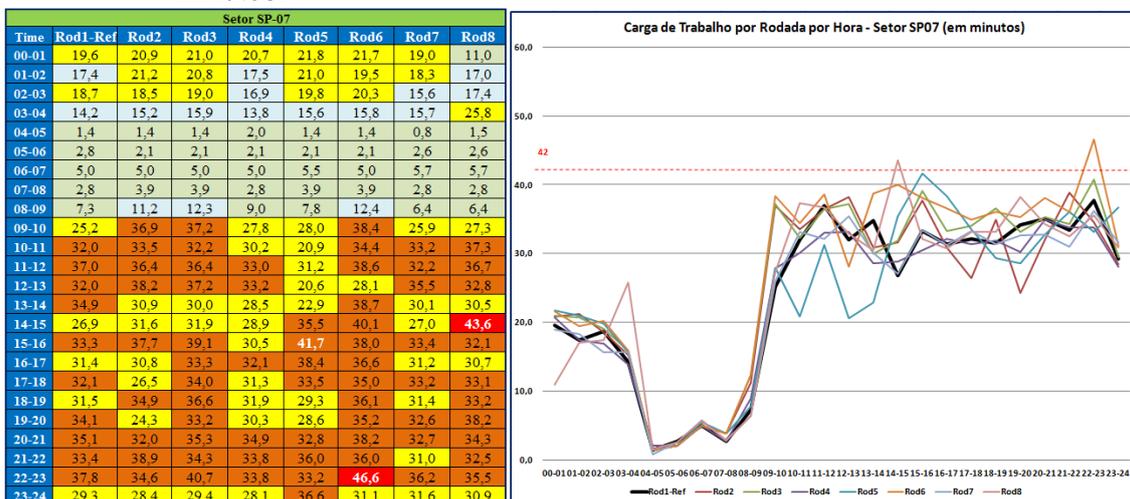
Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.8, verifica-se que há um ligeiro predomínio de aumento da carga laboral, porém sem gerar impactos de sobrecarga de trabalho. A carga laboral do setor varia entre muito leve, leve e média durante praticamente todo o período do dia. Há somente um caso onde a estimativa de

carga de trabalho atinge a intensidade pesada: na rodada 5, entre 16:00 UTC e 17:00 UTC.

i) Análise para o setor SP-07

Figura 8.9 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-07, por rodada por hora, em minutos.

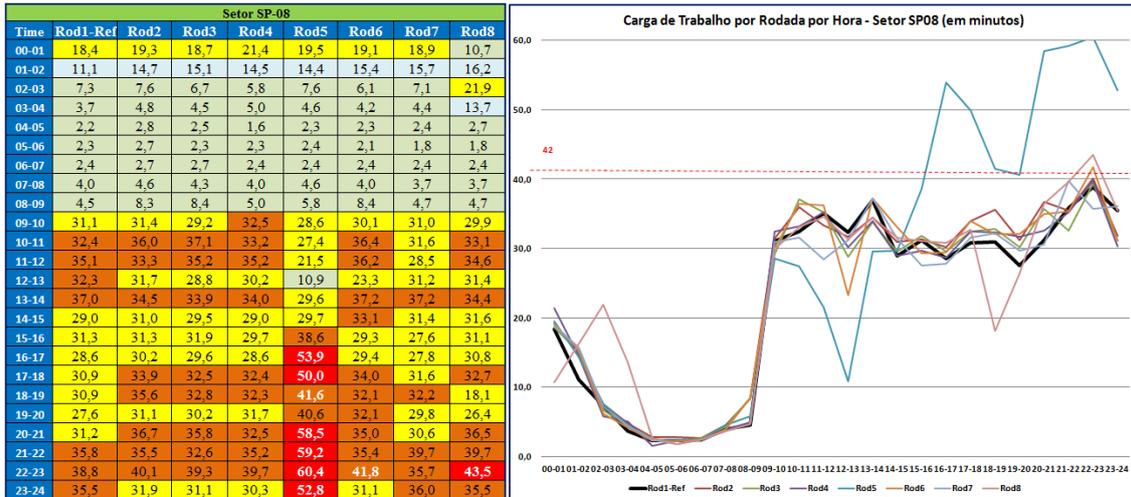


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.9, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral varia entre média, pesada e sobrecarga de trabalho. A rodada 1 de referência apresenta uma estimativa da carga de trabalho com intensidade média ou pesada, mesmo sem condições de tempo adversas, a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC. Em duas rodadas de simulação, houve uma estimativa de sobrecarga de trabalho por uma hora: na rodada 6, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; e na rodada 8, entre 14:00 UTC e 15:00 UTC. As reduções das cargas laborais não foram suficientes para modificar significativamente as intensidades estimadas.

j) Análise para o setor SP-08

Figura 8.10 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-08, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

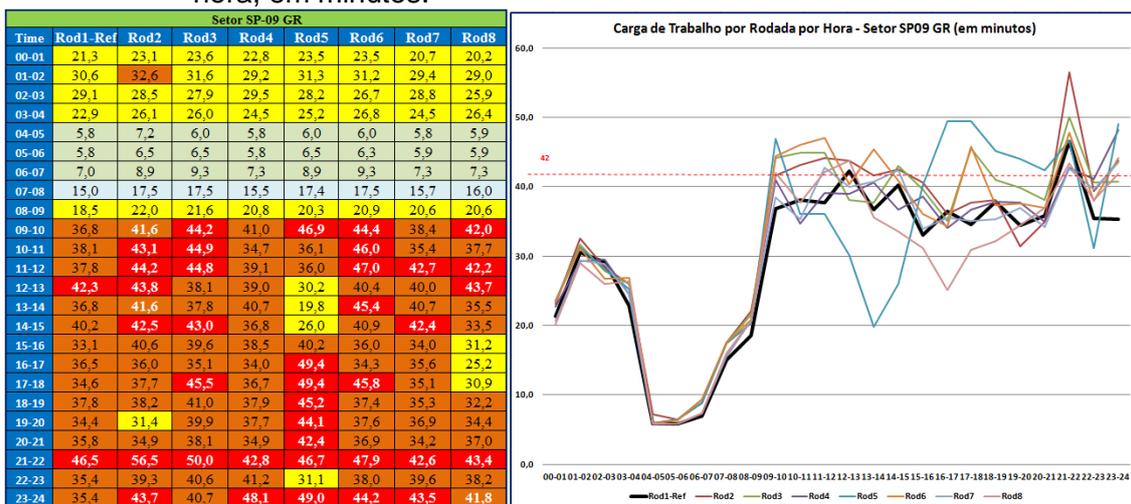
Observando-se a Figura 8.10, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral varia entre média e pesada em todas as rodadas realizadas, com exceção da rodada 5. A rodada 1 de referência, a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, apresenta uma estimativa de carga de trabalho com intensidade média ou pesada mesmo sem a presença de condições adversas de tempo. Em duas rodadas, houve estimativa de sobrecarga de trabalho por, pelo menos, uma hora: na rodada 5, entre 16:00 UTC e 18:00 UTC e entre 20:00 UTC e 24:00 UTC; e na rodada 8, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC. Há um período de redução da estimativa da carga laboral na rodada 5, entre 09:00 UTC e 15:00 UTC, sendo mais significativa entre 12:00 UTC e 13:00 UTC, passando da intensidade pesada para leve.

Nesse setor, identificam-se dois casos de sobrecarga de trabalho não controlada, ambos na rodada 5, entre 16:00 UTC e 18:00 UTC e entre 20:00 UTC e 24:00 UTC. O cenário meteorológico apresentado na rodada 5 indica a presença de uma frente fria atuando desde a região nordeste/leste do estado do Mato Grosso do Sul até São Paulo, com nebulosidade estratiforme abrangendo toda essa região. Entre 11:00 UTC e 21:00 UTC, principalmente os setores 2, 3, e 10 SP sofreram impactos com a presença de nuvens Cb. A partir das 17:00 UTC até as 21:00 UTC do dia analisado, principalmente os setores 5, 6 e 8 da TMA-SP sofreram com a presença desse tipo de nebulosidade, em decorrência do movimento da frente fria. Nesse contexto, é

possível perceber uma diminuição da carga laboral, que varia de aproximadamente 8% a 66,4%, entre 09:00 UTC e 14:00 UTC, em decorrência da diminuição do número de aeronaves no setor, fato que contribui para a melhoria do nível de severidade de conflitos, do comportamento do tráfego e das coordenações realizadas no setor pelo TAAM. Por outro lado, o período entre 14:00 UTC e 24:00 UTC foi impactado significativamente com um aumento na carga de trabalho. Esse aumento é derivado basicamente do substancial aumento do tráfego deslocado do período da manhã para a tarde e dos desvios realizados quando em presença de nebulosidade convectiva no setor, entre 21:00 UTC e 23:00 UTC.

### k) Análise para o setor SP-09 GR

Figura 8.11 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-09 GR, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.11, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A carga laboral do setor varia entre carga média, pesada e sobrecarga de trabalho em todas as rodadas realizadas, ou seja, muito próxima ao limite definido como sobrecarga de trabalho, durante grande parte do dia. A rodada 1 de referência, a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, apresenta uma estimativa de carga de trabalho que varia de pesada a sobrecarga, mesmo sem considerar a presença de condições de mau tempo. Em todas as rodadas, estima-se sobrecarga de trabalho por, pelo menos, uma hora. Em cinco rodadas, houve estimativa de sobrecarga de trabalho por mais de uma hora consecutiva: na rodada 2, entre 10:00 UTC e 15:00 UTC; na

rodada 3, entre 09:00 UTC e 12:00 UTC; na rodada 5, entre 16:00 UTC e 22:00 UTC; na rodada 6, entre 09:00 UTC e 12:00 UTC; e na rodada 8, entre 11:00 UTC e 13:00 UTC. Para as condições apresentadas nas simulações, o horário entre 21:00 UTC e 22:00 UTC apresenta estimativa de sobrecarga de trabalho em todas as rodadas realizadas, sendo assim o mais impactado. Há uma estimativa de carga de trabalho de intensidade pesada em duas rodadas no período da madrugada: na rodada 2, entre 01:00 UTC e 02:00 UTC; e na rodada 3, também no mesmo horário. Em duas rodadas, houve uma diminuição significativa na estimativa de carga laboral: na rodada 5, entre 12:00 UTC e 15:00 UTC; e na rodada 8, entre 15:00 UTC e 18:00 UCT, passando de pesada ou sobrecarga de trabalho para a intensidade média.

Os cinco casos com presença de sobrecarga de trabalho não controlada podem ser assim caracterizados:

- k.1) O cenário meteorológico da rodada 2 descreve a presença de restrição de visibilidade menor que 1.000 metros, entre 07:00 UTC e 08:00 UTC, devido à presença de nevoeiro no Aeroporto de Guarulhos. Ao se observar o Apêndice E, Setor SP-09 GR, percebe-se que não há aumento no número de voos no horário entre 09:00 UTC e 15:00 UTC e sim aumento da carga de trabalho. Assim, é possível afirmar que esse aumento é derivado da melhora do mau tempo nesse horário e da elevação das atividades laborais dos controladores, conforme descreve Jeppesen (2008), calculado conforme as configurações-padrão do TAAM.
- k.2) O cenário meteorológico para a rodada 3 não indica registro de condições meteorológicas adversas no horário de 09:00 UTC a 12:00 UTC, na área de estudo. O RDSO do respectivo dia não aponta a existência de ações de gerenciamento de fluxo. Entretanto, ele descreve que parte do movimento de tráfego aéreo foi deslocado do dia 24 para o dia 25 de janeiro. Essa condição foi bem representada na simulação que também foi realizada de modo sequencial. O Anexo E – Setor SP-09 GR, apresenta somente a diminuição de uma aeronave no setor, no período das 11:00 UTC às 12:00 UTC. Assim, é possível concluir que o aumento observado na carga de trabalho se deve ao modo como o TAAM considerou a resolução de conflitos, ao

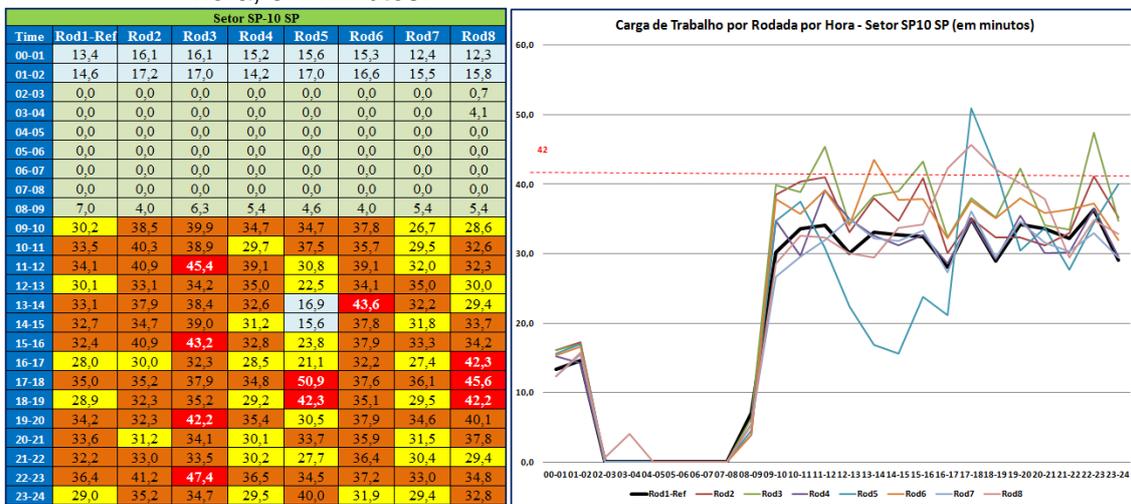
comportamento do tráfego e às coordenações realizadas, considerando sua configuração-padrão (EUROCONTROL, 2000, p. 46).

- k.3) O cenário meteorológico para a rodada 5 indica o registro de uma frente fria sobre a região de estudo, sendo que a região de nebulosidade baixa estratiforme e chuva também impactava aeroportos dos estados de Santa Catarina e Paraná. Essa condição provocou atrasos em pousos e decolagens nesses aeroportos, deslocando parte do movimento do tráfego aéreo do horário da manhã para horários posteriores. Consequentemente, o horário entre 16:00 UTC e 22:00 UTC teve maior movimento, em coincidência com o período diário de maior convecção.
- k.4) O cenário meteorológico para a rodada 6 indica nebulosidade baixa e restrição de visibilidade na cidade do Rio de Janeiro em decorrência da circulação do vento no período da manhã. O Aeroporto Santos Dumont ficou com condições meteorológicas abaixo do mínimo operacional entre 12:00 UTC e 12:55 UTC. Isso provocou uma série de ações de gerenciamento de fluxo para ajustar a demanda reprimida de voos que tinham como destino esse aeroporto ou que saíam dele, quando de sua abertura. Essa condição contribuiu para o aumento da carga de trabalho do setor SP-09 GR no horário entre 10:00 UTC e 13:00 UTC. Outro ponto a se considerar é percebido ao se verificar o Apêndice E, no setor SP-09 GR. Nele é possível perceber que, no horário impactado, há um aumento de somente duas aeronaves no setor no horário das 10:00 UTC até as 11:00 UTC. No restante desse período, há um aumento de carga de trabalho sem elevação do número de aeronaves no setor. Assim, aqui também é possível afirmar que o aumento da carga de trabalho estimada se deve ao modo como o TAAM considerou a resolução de conflitos, ao comportamento do tráfego e às coordenações realizadas (EUROCONTROL, 2000, p. 46).
- k.5) O cenário meteorológico para a rodada 8 indica intensa convecção, chuva, restrição à visibilidade e teto baixo durante todo o dia, principalmente nos seguintes aeroportos: Joinville, Curitiba, São Paulo – Congonhas, São Paulo – Guarulhos, Rio de Janeiro – Santos Dumont, Brasília e Campo Grande. Isso em decorrência de uma frente fria cobrindo as Regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, associada a

um VCAN no NE brasileiro. Em consequência, várias ações para equilibrar a demanda de fluxo foram adotadas em função da presença de condições meteorológicas adversas. Ao se verificar o Apêndice E, no setor SP-09 GR, observa-se um aumento de três aeronaves no setor no período impactado, sendo isso indicativo do aumento da carga de trabalho no horário entre 11:00 UTC e 13:00 UTC do dia em questão.

I) Análise para o setor SP-10 SP

Figura 8.12 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-10 SP, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.12, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A carga laboral do setor varia predominantemente entre média e pesada. A rodada 1 de referência, a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, apresenta estimativa da carga de trabalho com intensidade média ou pesada, mesmo sem considerar a presença de mau tempo na simulação. Em quatro rodadas de simulação, houve uma estimativa de sobrecarga de trabalho por, pelo menos, uma hora: na rodada 3, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, entre 15:00 UTC e 16:00 UTC, entre 19:00 UTC e 20:00 UTC, e entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; na rodada 5, entre 17:00 UTC e 19:00 UTC; na rodada 6, entre 13:00 UTC e 14:00 UTC; e na rodada 8, entre 16:00 UTC e 19:00 UTC. Em uma rodada, houve uma diminuição significativa na estimativa de carga laboral: na rodada 5, entre 11:00 UTC e 17:00 UTC, passando de média ou pesada para média ou leve.

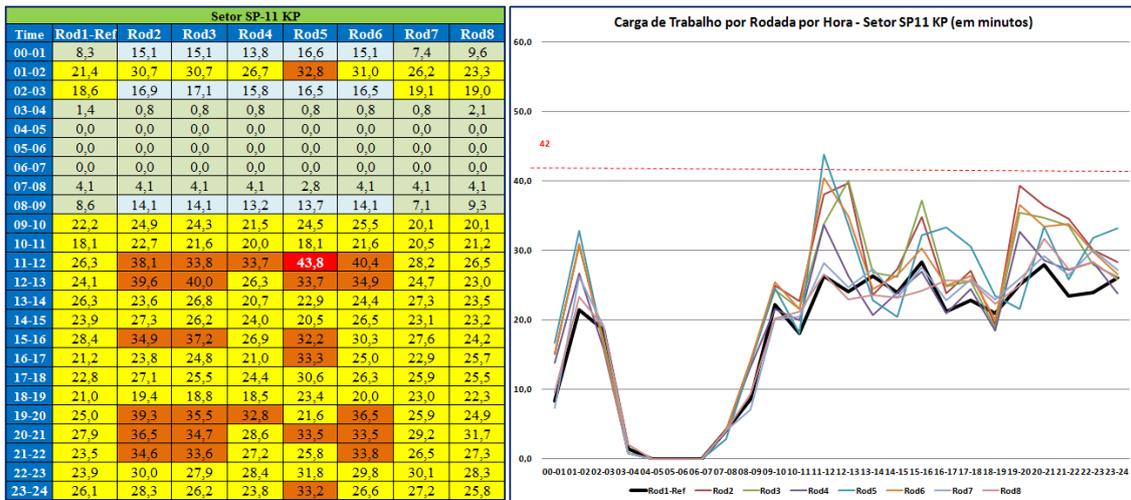
Dois casos com sobrecarga de trabalho não controlada são identificados nas rodadas 5 e 8. Eles podem ser assim caracterizados:

- I.1) O cenário meteorológico para a rodada 5 indica a presença de uma frente fria que atua desde a região nordeste/leste do estado do Mato Grosso do Sul até São Paulo. A área de atuação da nebulosidade estratiforme abrangia os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. Toda essa região sofreu impactos com a presença de nebulosidade baixa e restrição de visibilidade. Entre 11:00 UTC e 21:00 UTC, principalmente os setores 2, 3, e 10 SP sofreram impactos com a presença de nuvens Cb. A partir das 17:00 UTC até as 21:00 UTC do dia analisado, principalmente os setores 5, 6 e 8 da TMA-SP também sofreram com a presença desse tipo de nebulosidade, em decorrência do movimento da frente fria. Em consequência, é possível perceber o deslocamento de parte do movimento de tráfego de aeronaves do período entre 11:00 UTC e 17:00 UTC para o período do registro da sobrecarga de trabalho. Entre 15:00 UTC e 21:00 UTC, também foram observadas formações convectivas nesse setor;
- I.2) O cenário meteorológico para a rodada 8 indica a presença de uma frente fria que avança para as Regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, associada a um VCAN no NE brasileiro, Alta da Bolívia e convergência de umidade oriunda da região amazônica. Esses sistemas provocaram intensa convecção, chuva, restrição à visibilidade e teto baixo durante todo o dia, principalmente nos seguintes aeroportos: Joinville, Curitiba, São Paulo – Congonhas, São Paulo – Guarulhos, Rio de Janeiro – Santos Dumont, Brasília e Campo Grande. No período entre 08:00 UTC e 14:00 UTC, há registro de diminuição da carga de trabalho entre aproximadamente 0,2% e 23,5%, em função das restrições de tempo. A partir das 14:00 UTC até as 21:00 UTC, houve um aumento da carga laboral, atingindo valores entre aproximadamente 30,4% e 50,9% entre 16:00 UTC e 19:00 UTC acima do registro observado na rodada 1 de referência. O Apêndice E, Setor SP-10 SP, confirma o aumento do movimento de voos nesse período. Assim, é possível perceber a atuação das condições meteorológicas

transferindo parte do movimento de tráfego aéreo do período da manhã para o período da tarde. Além disso, a presença de nebulosidade convectiva em setores adjacentes ao setor SP-10 SP acabou por deslocar aeronaves daqueles setores para este setor. Isso também contribuiu para o forte acréscimo na carga de trabalho estimada.

m) Análise para o setor SP-11 KP

Figura 8.13 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-01, por rodada por hora, em minutos.

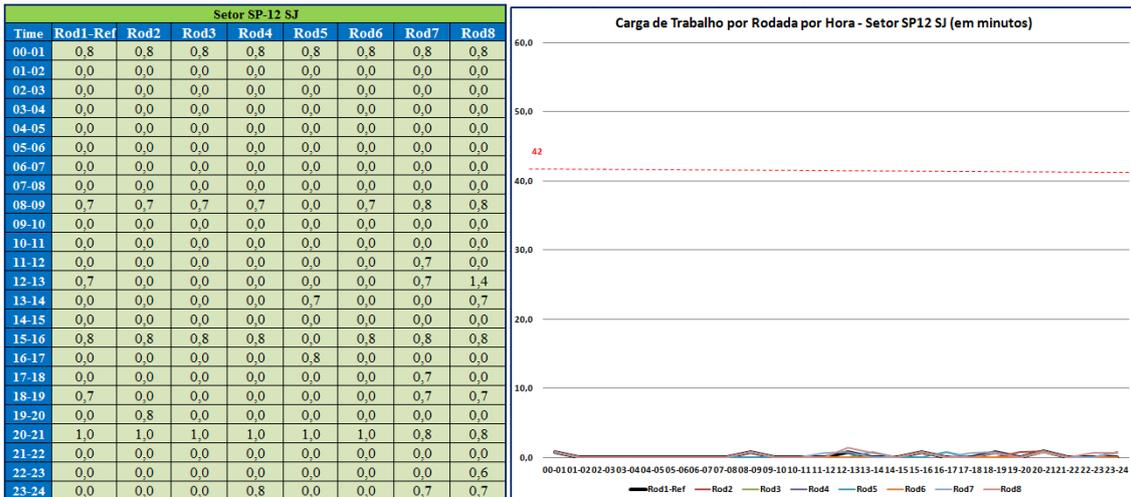


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.13, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A carga laboral do setor varia entre média e pesada em todas as rodadas realizadas, com exceção da rodada 1 de referência e da rodada 7. Em apenas uma rodada, houve estimativa de sobrecarga de trabalho, por uma hora: na rodada 5, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC. Há estimativa de carga de trabalho de intensidade pesada em uma rodada no período da madrugada: na rodada 5, entre 01:00 UTC e 02:00 UTC.

n) Análise para o setor SP-12 SJ

Figura 8.14 – Distribuição da carga de trabalho do setor SP-12 SJ, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.14, é possível identificar que a estimativa da carga de trabalho no setor SP-12 SJ é insignificante quando comparada aos casos descritos nos outros setores.

Em acréscimo à análise realizada nas Figuras de 8.1 a 8.14, é possível verificar que, na maioria dos casos e horários, as curvas relativas às rodadas com presença de mau tempo tendem a estar muito próximas à curva da rodada 1 de referência. Nesses casos, é possível inferir que as ações de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo adotadas tendem a manter a carga de trabalho num nível elevado para a segurança do voo. Essa condição pode ser a principal responsável pelo surgimento de possíveis atrasos nos horários dos voos descritos nos RDSOs utilizados nesta pesquisa, tendo em vista que o tráfego aéreo pode ser mantido em solo e/ou em esperas para a realização do voo.

### 8.1.1.3 Carga de trabalho por setor e por hora do dia

A Figura 8.15 apresenta a estimativa da carga de trabalho nas rodadas de simulação para os setores da TMA-SP. As cores observadas seguem o que foi descrito na Tabela 8.1.

Ao se observar essa figura, é possível perceber que existem dois grupos de setores na rodada 1 onde as estimativas de carga de trabalho são bem distintas. Para o intervalo do dia entre 09:00 UTC e 24:00 UTC, os setores SP-06, SP-07, SP-08, SP-09 GR, e SP-10 SP possuem estimativa de carga laboral

próxima ao valor limite de 42 minutos/hora (sobrecarga de trabalho). Nesse mesmo intervalo de tempo, os demais setores apresentam estimativa de carga laboral não superior a 31 minutos (média). Também se verifica que as rodadas de simulação 2, 3, 5, 6 e 8 se destacam apresentando, pelo menos, dez horários com impactos de sobrecarga de trabalho. A rodada 5 possui o maior número de horários com estimativa de sobrecarga de trabalho, sendo assim a que sofre o maior impacto das condições adversas de tempo. A rodada 4 é a que apresenta o menor número de estimativa de sobrecarga de trabalho: três.

Figura 8.15 – Estimativa da carga de trabalho nas oito rodadas de simulação nos setores da TMA-SP, em minutos.

| RODADA 1 - REFERÊNCIA |      |          |      |      |      |      |      |      |            |      |         |         |         | RODADA 2 |       |      |          |      |      |      |      |      |      |            |      |         |         |         |         |
|-----------------------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------------|------|---------|---------|---------|----------|-------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------------|------|---------|---------|---------|---------|
| Time                  | SP01 | SP01 Ato | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SP07 | SP07 Bairo | SP08 | SP09 GR | SP10 SP | SP11 KP | SP12 SJ  | Time  | SP01 | SP01 Ato | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SP07 | SP07 Bairo | SP08 | SP09 GR | SP10 SP | SP11 KP | SP12 SJ |
| 00:01                 | 2,1  | 9,3      | 13,9 | 6,3  | 3,4  | 10,2 | 14,7 | 19,6 | 15,9       | 18,4 | 21,3    | 13,4    | 8,3     | 0,8      | 00:01 | 2,3  | 11,2     | 15,1 | 7,6  | 2,1  | 12,7 | 16,8 | 20,9 | 18,4       | 19,3 | 23,1    | 16,1    | 15,1    | 0,8     |
| 00:02                 | 2,8  | 9,7      | 22,6 | 13,4 | 2,8  | 16,8 | 26,1 | 17,4 | 8,7        | 11,1 | 30,6    | 14,6    | 21,4    | 0,0      | 00:02 | 3,4  | 9,1      | 22,0 | 16,5 | 2,7  | 17,1 | 30,3 | 21,2 | 8,0        | 14,7 | 32,6    | 17,2    | 30,7    | 0,0     |
| 00:03                 | 0,7  | 4,8      | 5,7  | 7,3  | 3,5  | 17,3 | 27,2 | 17,7 | 6,9        | 7,3  | 29,1    | 0,0     | 18,6    | 0,0      | 00:03 | 0,7  | 4,8      | 6,5  | 4,3  | 4,2  | 16,3 | 3,0  | 18,5 | 7,8        | 7,6  | 28,5    | 0,0     | 16,1    | 0,0     |
| 00:04                 | 5,4  | 7,5      | 3,0  | 0,7  | 0,7  | 2,8  | 22,4 | 14,2 | 2,6        | 3,7  | 22,9    | 0,0     | 1,4     | 0,0      | 00:04 | 5,2  | 6,4      | 2,3  | 0,7  | 0,0  | 1,4  | 24,6 | 15,2 | 2,9        | 4,8  | 26,1    | 0,0     | 0,8     | 0,0     |
| 00:05                 | 0,0  | 1,2      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 3,7  | 2,8  | 1,9        | 2,3  | 5,8     | 0,0     | 0,0     | 0,0      | 00:05 | 0,0  | 0,7      | 0,7  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 2,8  | 1,4  | 1,1        | 2,8  | 7,2     | 0,0     | 0,0     | 0,0     |
| 00:06                 | 0,0  | 2,0      | 2,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 3,7  | 2,8  | 1,9        | 2,3  | 5,8     | 0,0     | 0,0     | 0,0      | 00:06 | 0,0  | 1,4      | 1,4  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 4,1  | 2,1  | 2,2        | 2,7  | 6,5     | 0,0     | 0,0     | 0,0     |
| 00:07                 | 0,0  | 2,1      | 1,4  | 0,0  | 0,0  | 1,8  | 5,0  | 5,0  | 2,2        | 2,4  | 7,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0      | 00:07 | 0,7  | 2,1      | 1,4  | 0,0  | 0,0  | 1,8  | 5,5  | 5,0  | 2,2        | 2,7  | 8,9     | 0,0     | 0,0     | 0,0     |
| 00:08                 | 0,0  | 1,4      | 1,4  | 1,4  | 3,5  | 3,5  | 14,2 | 2,8  | 2,2        | 4,0  | 15,0    | 0,0     | 4,1     | 0,0      | 00:08 | 0,0  | 1,4      | 1,4  | 1,3  | 3,5  | 3,5  | 15,1 | 3,9  | 2,2        | 4,6  | 17,5    | 0,0     | 4,1     | 0,0     |
| 00:09                 | 0,0  | 2,0      | 2,1  | 0,0  | 0,0  | 1,8  | 5,0  | 5,0  | 2,2        | 2,4  | 7,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0      | 00:09 | 0,0  | 2,0      | 2,1  | 7,8  | 13,8 | 7,6  | 19,4 | 11,2 | 3,3        | 8,3  | 22,0    | 4,0     | 14,1    | 0,7     |
| 00:10                 | 4,9  | 10,3     | 17,6 | 20,6 | 18,2 | 10,9 | 36,2 | 25,2 | 12,5       | 31,1 | 36,8    | 30,2    | 22,2    | 0,0      | 00:10 | 9,2  | 11,7     | 21,1 | 27,5 | 18,0 | 12,8 | 41,9 | 36,9 | 17,2       | 31,4 | 41,6    | 38,5    | 24,9    | 0,0     |
| 00:11                 | 14,9 | 17,0     | 17,2 | 10,1 | 9,9  | 11,7 | 28,0 | 32,0 | 16,4       | 32,4 | 38,1    | 33,5    | 18,1    | 0,0      | 00:11 | 17,9 | 16,0     | 17,0 | 9,1  | 7,3  | 11,8 | 31,1 | 33,5 | 18,3       | 36,0 | 43,1    | 40,3    | 22,7    | 0,0     |
| 00:12                 | 11,1 | 20,5     | 26,5 | 19,5 | 16,2 | 16,7 | 29,5 | 37,0 | 23,2       | 35,1 | 37,8    | 34,1    | 26,3    | 0,0      | 00:12 | 11,5 | 25,4     | 28,3 | 28,2 | 17,0 | 18,4 | 32,4 | 36,4 | 28,2       | 33,0 | 44,2    | 40,9    | 38,1    | 0,0     |
| 00:13                 | 12,5 | 15,3     | 23,4 | 20,5 | 14,3 | 13,8 | 35,8 | 32,0 | 13,4       | 32,3 | 42,3    | 30,1    | 24,1    | 0,7      | 00:13 | 16,1 | 19,5     | 18,5 | 22,6 | 15,8 | 22,1 | 52,4 | 38,2 | 16,3       | 31,7 | 43,8    | 37,1    | 39,6    | 0,0     |
| 00:14                 | 12,5 | 15,8     | 18,1 | 18,5 | 14,4 | 20,5 | 40,5 | 34,9 | 14,9       | 37,0 | 36,8    | 33,1    | 26,3    | 0,0      | 00:14 | 16,5 | 14,2     | 19,5 | 18,7 | 8,1  | 12,9 | 40,2 | 30,9 | 13,5       | 34,5 | 41,6    | 37,9    | 23,6    | 0,0     |
| 00:15                 | 14,2 | 14,2     | 19,9 | 22,6 | 15,5 | 13,9 | 28,2 | 26,9 | 15,8       | 29,0 | 40,2    | 32,7    | 23,9    | 0,0      | 00:15 | 18,3 | 15,7     | 24,4 | 25,0 | 16,8 | 12,9 | 39,2 | 31,6 | 17,5       | 31,0 | 42,5    | 34,7    | 27,3    | 0,0     |
| 00:16                 | 14,7 | 17,8     | 22,7 | 17,6 | 16,0 | 17,8 | 30,0 | 33,3 | 16,3       | 31,3 | 33,1    | 32,8    | 28,4    | 0,8      | 00:16 | 18,4 | 17,6     | 25,3 | 19,0 | 14,0 | 21,0 | 39,5 | 33,7 | 19,5       | 33,8 | 40,6    | 40,0    | 38,8    | 0,8     |
| 00:17                 | 11,4 | 19,8     | 25,3 | 20,8 | 12,7 | 5,8  | 28,0 | 31,4 | 1,1        | 2,5  | 6,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0      | 00:17 | 15,3 | 24,2     | 23,2 | 19,7 | 7,6  | 6,0  | 26,9 | 30,8 | 28,6       | 30,2 | 36,0    | 30,0    | 23,8    | 0,0     |
| 00:18                 | 12,7 | 18,7     | 16,0 | 22,8 | 18,3 | 13,0 | 34,0 | 32,1 | 15,4       | 30,9 | 34,6    | 35,0    | 22,8    | 0,0      | 00:18 | 21,0 | 15,8     | 17,4 | 22,4 | 18,6 | 14,6 | 36,1 | 26,5 | 13,7       | 33,9 | 37,7    | 35,2    | 27,1    | 0,0     |
| 00:19                 | 10,6 | 11,6     | 16,1 | 14,6 | 11,3 | 30,7 | 31,5 | 8,9  | 30,9       | 37,8 | 28,9    | 21,0    | 0,7     | 00:19    | 13,2  | 11,4 | 18,3     | 14,7 | 15,2 | 11,0 | 32,1 | 34,9 | 15,2 | 35,6       | 38,2 | 32,3    | 19,4    | 0,0     |         |
| 00:20                 | 13,2 | 16,7     | 20,6 | 19,5 | 18,6 | 13,1 | 30,7 | 34,1 | 14,5       | 27,6 | 34,4    | 34,2    | 25,0    | 0,0      | 00:20 | 14,2 | 13,2     | 20,9 | 20,7 | 19,2 | 19,9 | 26,0 | 24,3 | 17,8       | 31,1 | 31,4    | 32,3    | 39,3    | 0,8     |
| 00:21                 | 12,1 | 15,8     | 18,4 | 21,3 | 14,6 | 17,4 | 32,8 | 35,1 | 16,2       | 31,2 | 35,8    | 33,6    | 27,9    | 1,0      | 00:21 | 17,8 | 14,9     | 22,4 | 24,0 | 16,2 | 16,4 | 34,8 | 32,0 | 17,5       | 36,7 | 34,9    | 31,2    | 26,5    | 1,0     |
| 00:22                 | 11,7 | 15,7     | 19,4 | 14,6 | 16,0 | 18,5 | 40,0 | 33,4 | 17,5       | 35,8 | 46,5    | 32,2    | 23,5    | 0,0      | 00:22 | 19,9 | 17,5     | 18,3 | 18,4 | 22,7 | 22,8 | 49,3 | 38,9 | 18,1       | 35,5 | 56,5    | 33,0    | 34,0    | 0,0     |
| 00:23                 | 15,4 | 15,1     | 20,9 | 19,5 | 20,8 | 14,0 | 34,4 | 36,8 | 13,7       | 38,8 | 35,4    | 36,8    | 23,9    | 0,0      | 00:23 | 18,8 | 14,5     | 18,3 | 29,5 | 21,1 | 13,1 | 34,6 | 19,0 | 40,1       | 38,1 | 41,2    | 30,0    | 30,0    | 0,0     |
| 00:24                 | 12,7 | 17,1     | 19,6 | 21,9 | 15,6 | 16,3 | 32,2 | 33,8 | 18,8       | 35,5 | 35,4    | 29,0    | 26,1    | 0,0      | 00:24 | 16,9 | 19,7     | 17,5 | 20,7 | 15,9 | 15,9 | 52,1 | 28,4 | 18,1       | 31,9 | 43,7    | 35,2    | 28,3    | 0,0     |

As células destacadas em vermelho representam cargas de trabalho iguais ou superiores ao valor limite de 42 minutos/hora, apresentado por EUROCONTROL (2003b, p. 5) como sobrecarga de trabalho. Fonte: Produção do autor.

Nesse contexto, é possível afirmar que existem setores que já apresentam atividade laboral elevada e são os que sofrem os maiores impactos de sobrecarga de trabalho não controlada quando existem condições meteorológicas significativas presentes.

## 8.1.2 TMA-RJ

Os resultados da carga de trabalho dos controladores na TMA-RJ são descritos de modo semelhante ao já comentado para a TMA-SP, ou seja, de três formas: a) Carga de trabalho diária total por rodada e por setor; b) Carga de trabalho por rodada por hora do dia; e c) Carga de trabalho por setor por hora do dia. A discussão pertinente será realizada em cada um desses blocos. O foco continua sendo somente sobre os pontos relacionados à sobrecarga de trabalho não controlada.

### 8.1.2.1 Carga de trabalho diária total por rodada e por setor.

Observando a Tabela 8.4 e utilizando-se do mesmo princípio estabelecido pela metodologia CAPAN, verifica-se que o setor RJ-02 é o que possui maior estimativa de carga de trabalho diária, quando se observa todas as rodadas de simulação. O valor da carga laboral diária varia entre 36% e 44%, sendo classificado como carga média. Para os demais setores e rodadas, a estimativa da carga de trabalho máxima é de 33,1%, ficando dentro do parâmetro de intensidade média.

Tabela 8.4 – Resultado da carga de trabalho total diária estimada nos setores da TMA-RJ, em minutos.

|                | Rod 1-Ref. | Rod-2 | Rod-3 | Rod-4 | Rod-5 | Rod-6 | Rod-7 | Rod-8 |
|----------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Setor RJ-01    | 61         | 61    | 61    | 61    | 60    | 60    | 64    | 75    |
| Setor RJ-02    | 633        | 632   | 620   | 625   | 582   | 618   | 622   | 613   |
| Setor RJ-03    | 266        | 342   | 344   | 273   | 243   | 377   | 267   | 254   |
| Setor RJ-04    | 200        | 265   | 257   | 200   | 210   | 261   | 201   | 199   |
| Setor RJ-05    | 346        | 342   | 341   | 345   | 331   | 346   | 346   | 348   |
| Setor RJ-06 GL | 390        | 477   | 414   | 389   | 408   | 424   | 389   | 398   |
| Setor RJ-07 RJ | 364        | 409   | 357   | 363   | 313   | 360   | 361   | 359   |

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 8.5 apresenta a variação da carga de trabalho diária total estimada nos setores da TMA-RJ. A legenda abaixo é a mesma citada no item 8.1.1.1 e destaca a variação da intensidade do impacto. O critério de cores estabelecido utilizado é o mesmo já citado anteriormente.

#### Legenda:

| Minutos        | Impacto Positivo (Diminuição) | Minutos       | Impacto Negativo (Aumento) |
|----------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|
| -1 a -60       | Leve                          | 0 a 60        | Leve                       |
| -61 a -120     | Moderado                      | 61 a 120      | Moderado                   |
| -121 a -180    | Forte                         | 121 a 180     | Forte                      |
| menor que -180 | Severo                        | maior que 180 | Severo                     |

Nesse contexto, ao se observar a Tabela 8.5, é possível identificar que há uma ligeira predominância de aumento na estimativa da carga laboral diária nos setores. A intensidade varia entre leve e média. O setor RJ-03 é o que sofre o maior aumento nos valores de carga laboral, porém de impacto moderado. O setor RJ-02, apesar de ser o de maior carga de trabalho diária, apresenta a peculiaridade de possuir uma diminuição na carga de trabalho em todas as rodadas. Porém, essa redução é de intensidade leve. O cenário apresentado na rodada 2 é o que provoca o maior impacto negativo, em 5 dos 7 setores da TMA-RJ. O cenário da rodada 5 é o que apresenta o maior impacto positivo, com diminuição da carga de trabalho em 4 dos 7 setores, sendo eles mais intensos.

Tabela 8.5 – Estimativa da variação da carga de trabalho total diária nos setores da TMA-RJ, em minutos.

|                | Rod (2-1) | Rod (3-1) | Rod (4-1) | Rod (5-1) | Rod (6-1) | Rod (7-1) | Rod (8-1) |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Setor RJ-01    | 0         | 0         | 0         | 0         | -1        | 3         | 14        |
| Setor RJ-02    | -1        | -13       | -8        | -51       | -15       | -11       | -20       |
| Setor RJ-03    | 76        | 79        | 8         | -23       | 111       | 1         | -12       |
| Setor RJ-04    | 66        | 57        | 0         | 10        | 62        | 1         | 0         |
| Setor RJ-05    | -4        | -5        | -1        | -15       | 0         | 0         | 2         |
| Setor RJ-06 GL | 87        | 24        | -1        | 18        | 34        | -1        | 7         |
| Setor RJ-07 RJ | 45        | -7        | -1        | -51       | -4        | -3        | -5        |

Fonte: Produção do autor.

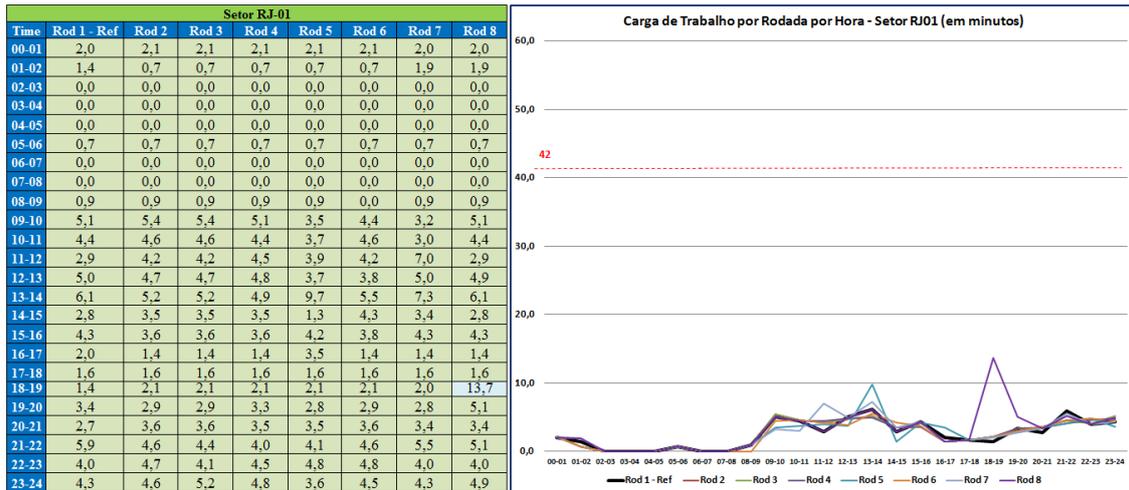
Assim, levando-se em consideração as informações contidas nas Tabelas 8.4 e 8.5, é possível identificar que a presença de condições adversas de tempo provoca um impacto diferenciado em relação àquele produzido sobre os setores da TMA-SP. Aqui, há a predominância de impacto que varia de leve positivo (diminuição) a leve negativo (aumento) na carga de trabalho. O setor RJ-02 é o que apresenta as melhores condições, tendo uma diminuição de carga laboral em todas as rodadas realizadas com presença de mau tempo. Os setores mais impactados negativamente são o RJ-03 e RJ-04, porém com intensidade média. As condições meteorológicas presentes na rodada 2 são as que provocaram os piores impactos negativos sobre os setores da TMA-RJ. Destaca-se que, nesse caso, as condições meteorológicas de mau tempo ocorreram na TMA-SP, entre 13:00 UTC e 22:00 UTC, decorrente de atividades convectivas.

### 8.1.2.2 Carga de trabalho por rodada por hora do dia

Neste item, a apresentação das estimativas das cargas de trabalho segue os mesmos princípios já descritos no item 8.1.1.2.

#### a) Análise para o setor RJ-01

Figura 8.16 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-01, por rodada por hora, em minutos.

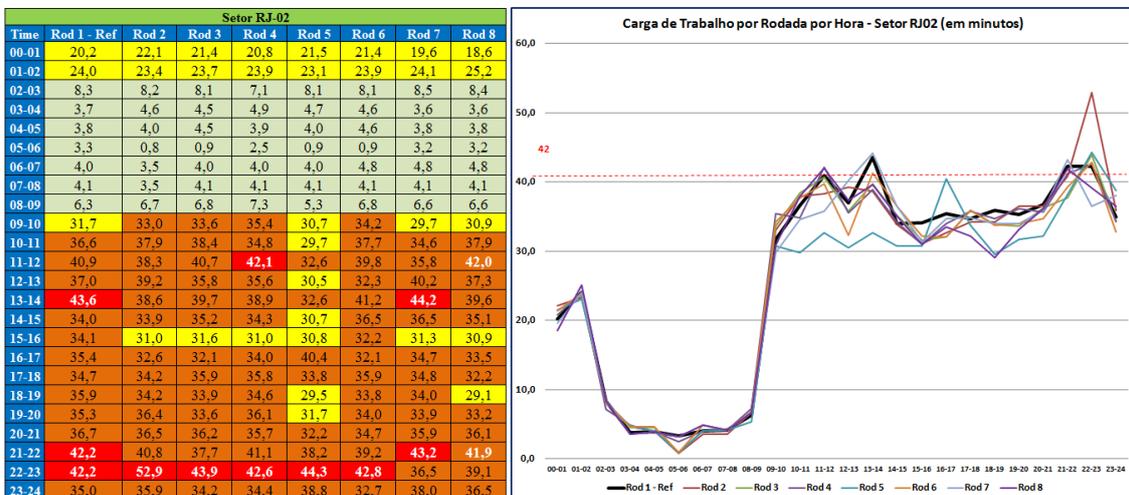


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.16, é possível identificar que a estimativa da carga de trabalho no setor RJ-01 é muito baixa, sendo classificada como muito leve ou leve em todos os horários e rodadas realizadas.

#### b) Análise para o setor RJ-02

Figura 8.17 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-02, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

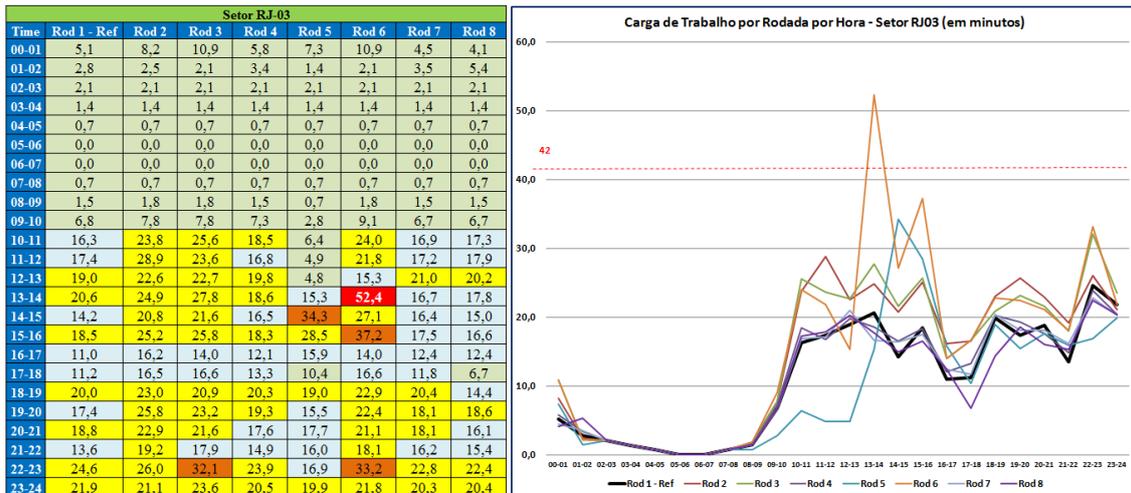
Observando-se a Figura 8.17, verifica-se que há predomínio de diminuição da carga laboral no setor, sendo ela de muito pouca intensidade. A rodada 1 de referência possui uma estimativa da carga de trabalho com intensidade pesada ou com sobrecarga de trabalho a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, mesmo sem considerar as condições de mau tempo. O horário entre 21:00 UTC e 23:00 UTC aponta para a presença de sobrecarga de trabalho não controlada, em função do movimento de tráfego elevado previsto para esse horário, estabelecido no HOTRAN utilizado nas simulações.

Percebe-se que a estimativa de carga laboral se apresenta predominantemente com intensidade média ou pesada, em todas as rodadas. Em sete das oito rodadas de simulação, houve uma estimativa de sobrecarga de trabalho por, pelo menos, uma hora: na rodada 1 de referência, entre 13:00 UTC e 14:00 UTC, e entre 21:00 UTC e 23:00 UTC; na rodada 2, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; na rodada 3, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; na rodada 4, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, e entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; na rodada 5, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC, na rodada 6, entre 22:00 UTC e 23:00 UTC; e na rodada 7, entre 13:00 UTC e 14:00 UTC, e entre 21:00 UTC e 22:00 UTC. A rodada 8, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, e entre 21:00 UTC e 22:00 UTC, chegou muito próximo ao limite de 42 min/hora. Na rodada 5, houve uma diminuição significativa na estimativa de carga laboral entre 09:00 UTC e 16:00 UTC, passando de pesada ou sobrecarga para média ou pesada, respectivamente. O horário entre 22:00 UTC e 23:00 UTC é o mais impactado com sobrecarga de trabalho.

Nesse contexto, as condições meteorológicas presentes na região de estudo parecem influenciar positivamente a carga de trabalho do setor.

c) Análise para o setor RJ-03

Figura 8.18 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-03, por rodada por hora, em minutos.

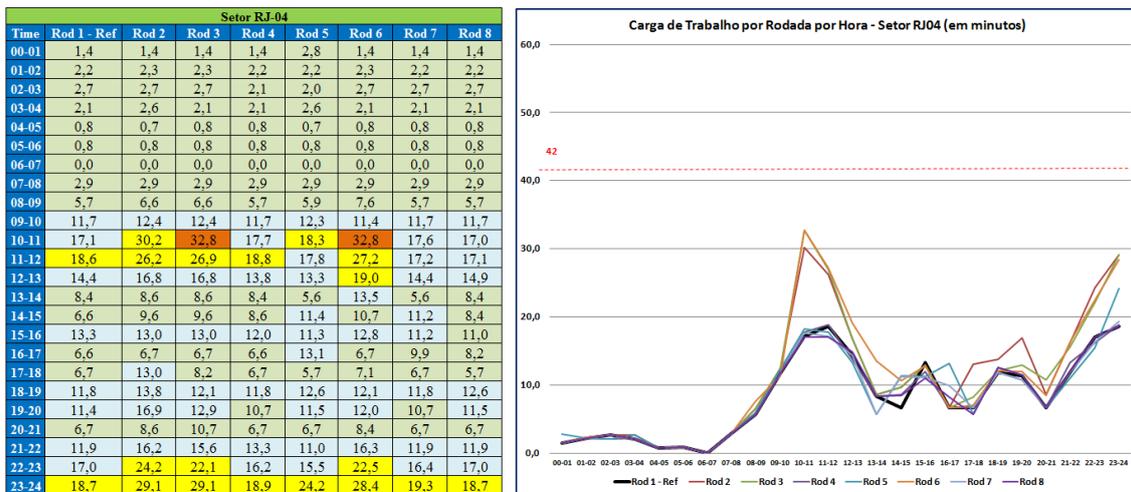


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.18, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral apresenta-se predominantemente com intensidade leve e média nas rodadas. Somente na rodada 6, houve uma estimativa de sobrecarga de trabalho durante uma hora, entre 13:00 UTC e 14:00 UTC. Na rodada 5, foi observado apenas um período de diminuição significativa na estimativa de carga laboral, entre 12:00 UTC e 13:00 UTC, passando de intensidade média para muito leve.

#### d) Análise para o setor RJ-04

Figura 8.19 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-04, por rodada por hora, em minutos.

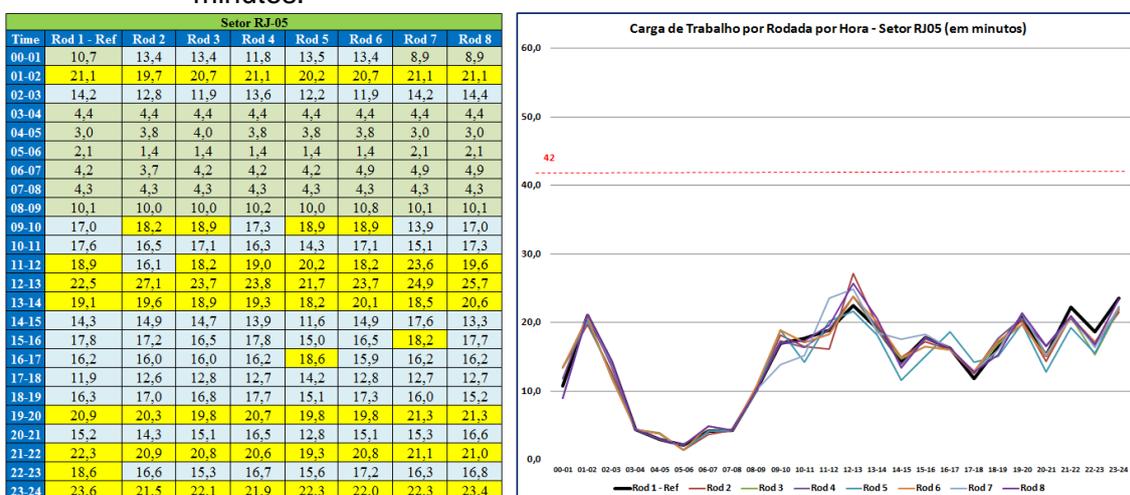


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.19, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral, porém sem atingir sobrecarga de trabalho. A estimativa de carga laboral apresenta-se predominantemente com intensidade muito leve e leve. Somente nas rodadas 3 e 6, houve uma estimativa da carga de trabalho de intensidade pesada, ambas entre 10:00 UTC e 11:00 UTC. Não se observaram períodos com diminuição significativa na estimativa de carga laboral.

e) Análise para o setor RJ-05

Figura 8.20 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-05, por rodada por hora, em minutos.

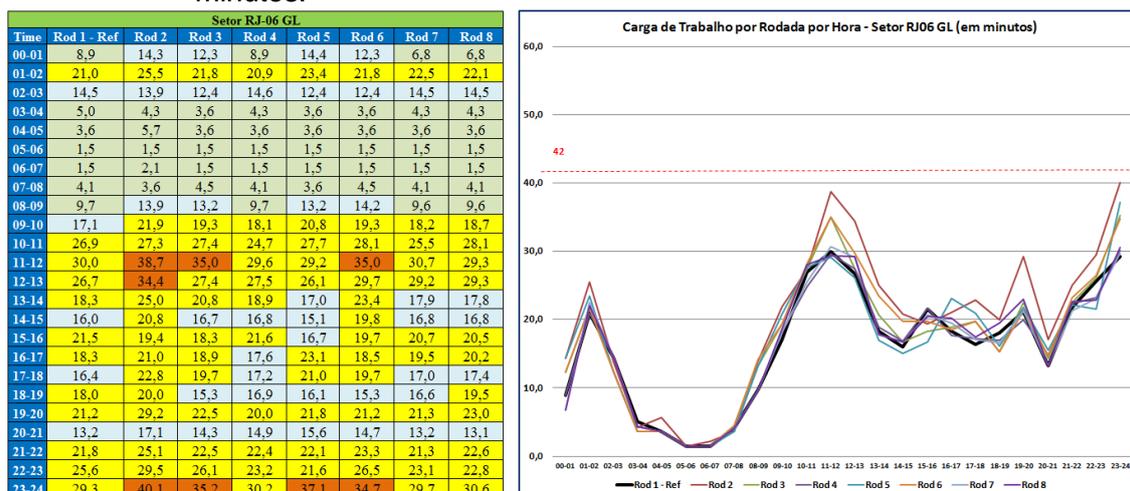


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.20, verifica-se que há predominância de diminuição da carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral do setor apresenta-se predominantemente com intensidade leve e média em todas as rodadas. As linhas de intensidade da carga laboral permanecem muito próximas à linha de referência durante todos os horários do dia, em todas as rodadas. Não há casos de sobrecarga de trabalho estimada.

f) Análise para o setor RJ-06 GL

Figura 8.21 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-06 GL, por rodada por hora, em minutos.

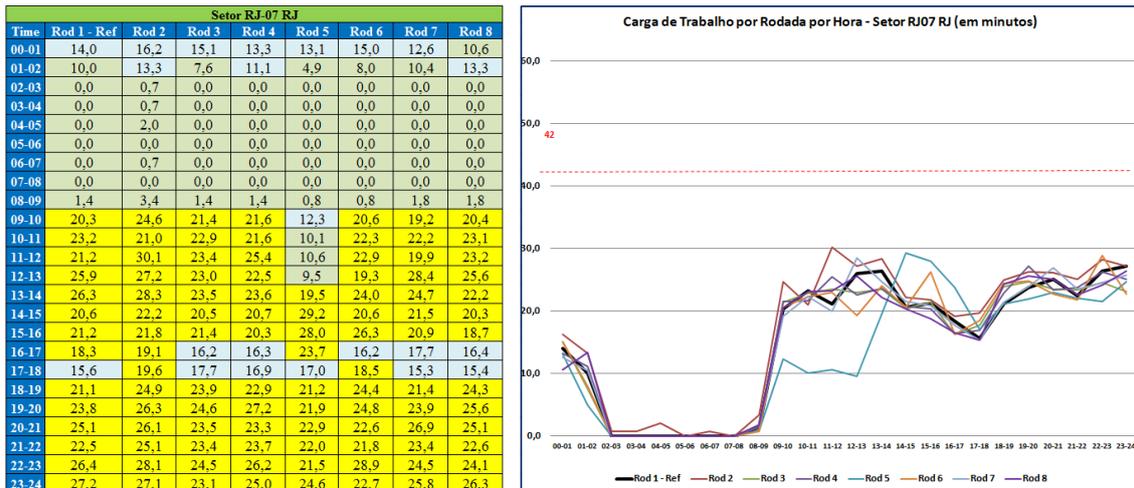


Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.21, verifica-se que há predominância de aumento da estimativa de carga laboral. A estimativa de carga laboral apresenta-se predominantemente com intensidade leve e média em todas as rodadas. As curvas de intensidade da carga laboral permanecem muito próximas à linha de referência durante todos os horários do dia, em todas as rodadas. Existem quatro rodadas onde as estimativas de carga laboral atingem intensidade pesada: na rodada 2, entre 11:00 UTC e 13:00 UTC, e entre 23:00 UTC e 24:00 UTC; na rodada 3, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, e entre 23:00 UTC e 24:00 UTC; na rodada 5, entre 23:00 UTC e 24:00 UTC; e na rodada 6, entre 11:00 UTC e 12:00 UTC, e entre 23:00 UTC e 24:00 UTC. Não há casos de sobrecarga de trabalho estimada.

g) Análise para o setor RJ-07 RJ.

Figura 8.22 – Perfil da carga de trabalho do setor RJ-07 RJ, por rodada por hora, em minutos.



Fonte: Produção do autor.

Observando-se a Figura 8.22, verifica-se que há predominância de diminuição da estimativa de carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral do setor apresenta-se predominantemente com intensidade leve e média, em todas as rodadas. As curvas de intensidade da carga laboral permanecem muito próximas à linha de referência durante todos os horários do dia, em todas as rodadas, com exceção da rodada 5. Na rodada 5, houve uma diminuição da carga laboral, variando de média para muito leve e leve, entre 09:00 UTC e 13:00 UTC. Não há casos de sobrecarga de trabalho estimada.

Assim, quando se observam os resultados descritos nas Figuras de 8.16 a 8.22, percebem-se dois setores com sobrecarga de trabalho, destacada com células em vermelho: o setor RJ-02 e o setor RJ-03. É identificado um único caso de sobrecarga de trabalho não controlada, sendo ele observado na rodada 1 de referência. Ele ocorre em função do movimento de tráfego elevado previsto para esse horário, estabelecido no HOTRAN utilizado nas simulações.

Da mesma forma que para a TMA-SP, é possível verificar que, na maioria dos casos e horários, as curvas relativas às rodadas com presença de mau tempo tendem a estar muito próximas à curva da rodada 1 de referência. Há um ligeiro aumento da carga laboral na maioria dos setores da TMA-RJ estudados. Também aqui, é possível inferir que as ações de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo adotadas tendem a manter a carga de trabalho em um nível elevado para a segurança do voo. Essa condição pode ser a responsável por provocar o surgimento dos atrasos nos horários dos voos em consequência da

manutenção do movimento das aeronaves em solo e/ou em espera nos aeroportos.

### **8.1.2.3 Carga de trabalho por setor e por hora do dia**

A Figura 8.23 apresenta a estimativa da carga de trabalho nos cenários diários de simulação nos setores da TMA-RJ. As cores observadas na figura ainda seguem o que foi descrito na Tabela 8.1. Nesse contexto, é possível observar que dois setores se destacam com maior e menor impacto, respectivamente: setor RJ-02 e RJ-01. O setor 2 é observado como o único com vários impactos de sobrecarga de trabalho de, pelo menos, uma hora. Elas acontecem em seis das sete rodadas com presença de mau tempo. Na rodada 6, o setor 3 apresenta somente um impacto de sobrecarga de trabalho entre 13:00 UTC e 14:00 UTC, em decorrência principalmente de ações de coordenação empregadas pelo TAAM. Não se observaram casos de sobrecarga de trabalho não controlada na TMA-RJ.

Figura 8.23 – Estimativa da carga de trabalho nas oito rodadas de simulação nos setores da TMA-RJ, em minutos.

| Rod 1 - Ref |      |      |      |      |      |         |         | Rod 2 |      |      |      |      |      |         |         |
|-------------|------|------|------|------|------|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| Time        | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ | Time  | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ |
| 00-01       | 2,0  | 20,2 | 5,1  | 1,4  | 10,7 | 8,9     | 14,0    | 00-01 | 2,1  | 22,1 | 8,2  | 1,4  | 13,4 | 14,3    | 16,2    |
| 01-02       | 1,4  | 24,0 | 2,8  | 2,2  | 21,1 | 21,0    | 10,0    | 01-02 | 0,7  | 23,4 | 2,5  | 2,3  | 19,7 | 25,5    | 13,3    |
| 02-03       | 0,0  | 8,3  | 2,1  | 2,7  | 14,2 | 14,5    | 0,0     | 02-03 | 0,0  | 8,2  | 2,1  | 2,7  | 12,8 | 13,9    | 0,7     |
| 03-04       | 0,0  | 3,7  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 5,0     | 0,0     | 03-04 | 0,0  | 4,6  | 1,4  | 2,6  | 4,4  | 4,3     | 0,7     |
| 04-05       | 0,0  | 3,8  | 0,7  | 0,8  | 3,0  | 3,6     | 0,0     | 04-05 | 0,0  | 4,0  | 0,7  | 0,7  | 3,8  | 5,7     | 2,0     |
| 05-06       | 0,7  | 3,3  | 0,0  | 0,8  | 2,1  | 1,5     | 0,0     | 05-06 | 0,7  | 0,8  | 0,0  | 0,8  | 1,4  | 1,5     | 0,0     |
| 06-07       | 0,0  | 4,0  | 0,0  | 0,0  | 4,2  | 1,5     | 0,0     | 06-07 | 0,0  | 3,5  | 0,0  | 0,0  | 3,7  | 2,1     | 0,7     |
| 07-08       | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,1     | 0,0     | 07-08 | 0,0  | 3,5  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 3,6     | 0,0     |
| 08-09       | 0,9  | 6,3  | 1,5  | 5,7  | 10,1 | 9,7     | 1,4     | 08-09 | 0,9  | 6,7  | 1,8  | 6,6  | 10,0 | 13,9    | 3,4     |
| 09-10       | 5,1  | 31,7 | 6,8  | 11,7 | 17,0 | 17,1    | 20,3    | 09-10 | 5,4  | 33,0 | 7,8  | 12,4 | 18,2 | 21,9    | 24,6    |
| 10-11       | 4,4  | 36,6 | 16,3 | 17,1 | 17,6 | 26,9    | 23,2    | 10-11 | 4,6  | 37,9 | 23,8 | 30,2 | 16,5 | 27,3    | 21,0    |
| 11-12       | 2,9  | 40,9 | 17,4 | 18,6 | 18,9 | 30,0    | 21,2    | 11-12 | 4,2  | 38,3 | 28,9 | 26,2 | 16,1 | 38,7    | 30,1    |
| 12-13       | 5,0  | 37,0 | 19,0 | 14,4 | 22,5 | 26,7    | 25,9    | 12-13 | 4,7  | 39,2 | 22,6 | 16,8 | 27,1 | 34,4    | 27,2    |
| 13-14       | 6,1  | 43,6 | 20,6 | 8,4  | 19,1 | 18,3    | 26,3    | 13-14 | 5,2  | 38,6 | 24,9 | 8,6  | 19,6 | 25,0    | 28,3    |
| 14-15       | 2,8  | 34,0 | 14,2 | 6,6  | 14,3 | 16,0    | 20,6    | 14-15 | 3,5  | 33,9 | 20,8 | 9,6  | 14,9 | 20,8    | 22,2    |
| 15-16       | 4,3  | 34,1 | 18,5 | 13,3 | 17,8 | 21,5    | 21,2    | 15-16 | 3,6  | 31,0 | 25,2 | 13,0 | 17,2 | 19,4    | 21,8    |
| 16-17       | 2,0  | 35,4 | 11,0 | 6,6  | 16,2 | 18,3    | 18,3    | 16-17 | 1,4  | 32,6 | 16,2 | 6,7  | 16,0 | 21,0    | 19,1    |
| 17-18       | 1,6  | 34,7 | 11,2 | 6,7  | 11,9 | 16,4    | 15,6    | 17-18 | 1,6  | 34,2 | 16,5 | 13,0 | 12,6 | 22,8    | 19,6    |
| 18-19       | 1,4  | 35,9 | 20,0 | 11,8 | 16,3 | 18,0    | 21,1    | 18-19 | 2,1  | 34,2 | 23,0 | 13,8 | 17,0 | 20,0    | 24,9    |
| 19-20       | 3,4  | 35,3 | 17,4 | 11,4 | 20,9 | 21,2    | 23,8    | 19-20 | 2,9  | 36,4 | 25,8 | 16,9 | 20,3 | 29,2    | 26,3    |
| 20-21       | 2,7  | 36,7 | 18,8 | 6,7  | 15,2 | 13,2    | 25,1    | 20-21 | 3,6  | 36,5 | 22,9 | 8,6  | 14,3 | 17,1    | 26,1    |
| 21-22       | 5,9  | 42,2 | 13,6 | 11,9 | 22,3 | 21,8    | 22,5    | 21-22 | 4,6  | 40,8 | 19,2 | 16,2 | 20,9 | 25,1    | 25,1    |
| 22-23       | 4,0  | 42,2 | 24,6 | 17,0 | 18,6 | 25,6    | 26,4    | 22-23 | 4,7  | 52,9 | 26,0 | 24,2 | 16,9 | 29,5    | 28,1    |
| 23-24       | 4,3  | 35,0 | 21,9 | 18,7 | 23,6 | 29,3    | 27,2    | 23-24 | 4,6  | 35,9 | 21,1 | 29,1 | 21,5 | 40,1    | 27,1    |
| Rod 3       |      |      |      |      |      |         |         | Rod 4 |      |      |      |      |      |         |         |
| Time        | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ | Time  | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ |
| 00-01       | 2,1  | 21,4 | 10,9 | 1,4  | 13,4 | 12,3    | 15,1    | 00-01 | 2,1  | 20,8 | 5,8  | 1,4  | 11,8 | 8,9     | 8,9     |
| 01-02       | 0,7  | 23,7 | 2,1  | 2,3  | 20,7 | 21,8    | 7,6     | 01-02 | 0,7  | 23,9 | 3,4  | 2,2  | 21,1 | 20,9    | 20,9    |
| 02-03       | 0,0  | 8,1  | 2,1  | 2,7  | 11,9 | 12,4    | 0,0     | 02-03 | 0,0  | 7,1  | 2,1  | 2,1  | 13,6 | 14,6    | 14,6    |
| 03-04       | 0,0  | 4,5  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 3,6     | 0,0     | 03-04 | 0,0  | 4,9  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 4,3     | 4,3     |
| 04-05       | 0,0  | 4,5  | 0,7  | 0,8  | 4,0  | 3,6     | 0,0     | 04-05 | 0,0  | 3,9  | 0,7  | 0,8  | 3,8  | 3,6     | 3,6     |
| 05-06       | 0,7  | 0,9  | 0,0  | 0,8  | 1,4  | 1,5     | 0,0     | 05-06 | 0,7  | 2,5  | 0,0  | 0,8  | 1,4  | 1,5     | 1,5     |
| 06-07       | 0,0  | 4,0  | 0,0  | 0,0  | 4,2  | 1,5     | 0,0     | 06-07 | 0,0  | 4,0  | 0,0  | 0,0  | 4,2  | 1,5     | 1,5     |
| 07-08       | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,5     | 0,0     | 07-08 | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,1     | 4,1     |
| 08-09       | 0,9  | 6,8  | 1,8  | 6,6  | 10,0 | 13,2    | 1,4     | 08-09 | 0,9  | 7,3  | 1,5  | 5,7  | 10,2 | 9,7     | 9,7     |
| 09-10       | 5,4  | 33,6 | 7,8  | 12,4 | 18,9 | 19,3    | 21,4    | 09-10 | 5,1  | 35,4 | 7,3  | 11,7 | 17,3 | 18,1    | 18,1    |
| 10-11       | 4,6  | 38,4 | 25,6 | 32,8 | 17,1 | 27,4    | 22,9    | 10-11 | 4,4  | 34,8 | 18,5 | 17,7 | 16,3 | 24,7    | 24,7    |
| 11-12       | 4,2  | 40,7 | 23,6 | 26,9 | 18,2 | 35,0    | 23,4    | 11-12 | 4,5  | 42,1 | 16,8 | 18,8 | 19,0 | 29,6    | 29,6    |
| 12-13       | 4,7  | 35,8 | 22,7 | 16,8 | 23,7 | 27,4    | 23,0    | 12-13 | 4,8  | 35,6 | 19,8 | 13,8 | 23,8 | 27,5    | 27,5    |
| 13-14       | 5,2  | 39,7 | 27,8 | 8,6  | 18,9 | 20,8    | 23,5    | 13-14 | 4,9  | 38,9 | 18,6 | 8,4  | 19,3 | 18,9    | 18,9    |
| 14-15       | 3,5  | 35,2 | 21,6 | 9,6  | 14,7 | 16,7    | 20,5    | 14-15 | 3,5  | 34,3 | 16,5 | 8,6  | 13,9 | 16,8    | 16,8    |
| 15-16       | 3,6  | 31,6 | 25,8 | 13,0 | 16,5 | 18,3    | 21,4    | 15-16 | 3,6  | 31,0 | 18,3 | 12,0 | 17,8 | 21,6    | 21,6    |
| 16-17       | 1,4  | 32,1 | 14,0 | 6,7  | 16,0 | 18,9    | 16,2    | 16-17 | 1,4  | 34,0 | 12,1 | 6,6  | 16,2 | 17,6    | 17,6    |
| 17-18       | 1,6  | 35,9 | 16,6 | 8,2  | 12,8 | 19,7    | 17,7    | 17-18 | 1,6  | 35,8 | 13,3 | 6,7  | 12,7 | 17,2    | 17,2    |
| 18-19       | 2,1  | 33,9 | 20,9 | 12,1 | 16,8 | 15,3    | 23,9    | 18-19 | 2,1  | 34,6 | 20,3 | 11,8 | 17,7 | 16,9    | 16,9    |
| 19-20       | 2,9  | 33,6 | 23,2 | 12,9 | 19,8 | 22,5    | 24,6    | 19-20 | 3,3  | 36,1 | 19,3 | 10,7 | 20,7 | 20,0    | 20,0    |
| 20-21       | 3,6  | 36,2 | 21,6 | 10,7 | 15,1 | 14,3    | 23,5    | 20-21 | 3,5  | 35,7 | 17,6 | 6,7  | 16,5 | 14,9    | 14,9    |
| 21-22       | 4,4  | 37,7 | 17,9 | 15,6 | 20,8 | 22,5    | 23,4    | 21-22 | 4,0  | 41,1 | 14,9 | 13,3 | 20,6 | 22,4    | 22,4    |
| 22-23       | 4,1  | 43,9 | 32,1 | 22,1 | 15,3 | 26,1    | 24,5    | 22-23 | 4,5  | 42,6 | 23,9 | 16,2 | 16,7 | 23,2    | 23,2    |
| 23-24       | 5,2  | 34,2 | 23,6 | 29,1 | 22,1 | 35,2    | 23,1    | 23-24 | 4,8  | 34,4 | 20,5 | 18,9 | 21,9 | 30,2    | 30,2    |
| Rod 5       |      |      |      |      |      |         |         | Rod 6 |      |      |      |      |      |         |         |
| Time        | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ | Time  | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ |
| 00-01       | 2,1  | 21,5 | 7,3  | 2,8  | 13,5 | 14,4    | 13,1    | 00-01 | 2,1  | 21,4 | 10,9 | 1,4  | 13,4 | 12,3    | 15,0    |
| 01-02       | 0,7  | 23,1 | 1,4  | 2,2  | 20,2 | 23,4    | 4,9     | 01-02 | 0,7  | 23,9 | 2,1  | 2,3  | 20,7 | 21,8    | 8,0     |
| 02-03       | 0,0  | 8,1  | 2,1  | 2,0  | 12,2 | 12,4    | 0,0     | 02-03 | 0,0  | 8,1  | 2,1  | 2,7  | 11,9 | 12,4    | 0,0     |
| 03-04       | 0,0  | 4,7  | 1,4  | 2,6  | 4,4  | 3,6     | 0,0     | 03-04 | 0,0  | 4,6  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 3,6     | 0,0     |
| 04-05       | 0,0  | 4,0  | 0,7  | 0,7  | 3,8  | 3,6     | 0,0     | 04-05 | 0,0  | 4,6  | 0,7  | 0,8  | 3,8  | 3,6     | 0,0     |
| 05-06       | 0,7  | 0,9  | 0,0  | 0,8  | 1,4  | 1,5     | 0,0     | 05-06 | 0,7  | 0,9  | 0,0  | 0,8  | 1,4  | 1,5     | 0,0     |
| 06-07       | 0,0  | 4,0  | 0,0  | 0,0  | 4,2  | 1,5     | 0,0     | 06-07 | 0,0  | 4,8  | 0,0  | 0,0  | 4,9  | 1,5     | 0,0     |
| 07-08       | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 3,6     | 0,0     | 07-08 | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,5     | 0,0     |
| 08-09       | 0,9  | 5,3  | 0,7  | 5,9  | 10,0 | 13,2    | 0,8     | 08-09 | 0,0  | 6,8  | 1,8  | 7,6  | 10,8 | 14,2    | 0,8     |
| 09-10       | 3,5  | 30,7 | 2,8  | 12,3 | 18,9 | 20,8    | 12,3    | 09-10 | 4,4  | 34,2 | 9,1  | 11,4 | 18,9 | 19,3    | 20,6    |
| 10-11       | 3,7  | 29,7 | 6,4  | 18,3 | 14,3 | 27,7    | 10,1    | 10-11 | 4,6  | 37,7 | 24,0 | 32,8 | 17,1 | 28,1    | 22,3    |
| 11-12       | 3,9  | 32,6 | 4,9  | 17,8 | 20,2 | 29,2    | 10,6    | 11-12 | 4,2  | 39,8 | 21,8 | 27,2 | 18,2 | 35,0    | 22,9    |
| 12-13       | 3,7  | 30,5 | 4,8  | 13,3 | 21,7 | 26,1    | 9,5     | 12-13 | 3,8  | 32,3 | 15,3 | 19,0 | 23,7 | 29,7    | 19,3    |
| 13-14       | 9,7  | 32,6 | 15,3 | 5,6  | 18,2 | 17,0    | 19,5    | 13-14 | 5,5  | 41,2 | 52,4 | 13,5 | 20,1 | 23,4    | 24,0    |
| 14-15       | 1,3  | 30,7 | 34,3 | 11,4 | 11,6 | 15,1    | 29,2    | 14-15 | 4,3  | 36,5 | 27,1 | 10,7 | 14,9 | 19,8    | 20,6    |
| 15-16       | 4,2  | 30,8 | 28,5 | 11,3 | 15,0 | 16,7    | 28,0    | 15-16 | 3,8  | 32,2 | 37,2 | 12,8 | 16,5 | 19,7    | 26,3    |
| 16-17       | 3,5  | 40,4 | 15,9 | 13,1 | 18,6 | 23,1    | 23,7    | 16-17 | 1,4  | 32,1 | 14,0 | 6,7  | 15,9 | 18,5    | 16,2    |
| 17-18       | 1,6  | 33,8 | 10,4 | 5,7  | 14,2 | 21,0    | 17,0    | 17-18 | 1,6  | 35,9 | 16,6 | 7,1  | 12,8 | 19,7    | 18,5    |
| 18-19       | 2,1  | 29,5 | 19,0 | 12,6 | 15,1 | 16,1    | 21,2    | 18-19 | 2,1  | 33,8 | 22,9 | 12,1 | 17,3 | 15,3    | 24,4    |
| 19-20       | 2,8  | 31,7 | 15,5 | 11,5 | 19,8 | 21,8    | 21,9    | 19-20 | 2,9  | 34,0 | 22,4 | 12,0 | 19,8 | 21,2    | 24,8    |
| 20-21       | 3,5  | 32,2 | 17,7 | 6,7  | 12,8 | 15,6    | 22,9    | 20-21 | 3,6  | 34,7 | 21,1 | 8,4  | 15,1 | 14,7    | 22,6    |
| 21-22       | 4,1  | 38,2 | 16,0 | 11,0 | 19,3 | 22,1    | 22,0    | 21-22 | 4,6  | 39,2 | 18,1 | 16,3 | 20,8 | 23,3    | 21,8    |
| 22-23       | 4,8  | 44,3 | 16,9 | 15,5 | 15,6 | 21,6    | 21,5    | 22-23 | 4,8  | 42,8 | 33,2 | 22,5 | 17,2 | 26,5    | 28,9    |
| 23-24       | 3,6  | 38,8 | 19,9 | 24,2 | 22,3 | 37,1    | 24,6    | 23-24 | 4,5  | 32,7 | 21,8 | 28,4 | 22,0 | 34,7    | 22,7    |
| Rod 7       |      |      |      |      |      |         |         | Rod 8 |      |      |      |      |      |         |         |
| Time        | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ | Time  | RJ01 | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ |
| 00-01       | 2,0  | 19,6 | 4,5  | 1,4  | 8,9  | 6,8     | 12,6    | 00-01 | 2,0  | 18,6 | 4,1  | 1,4  | 8,9  | 6,8     | 10,6    |
| 01-02       | 1,9  | 24,1 | 3,5  | 2,2  | 21,1 | 22,5    | 10,4    | 01-02 | 1,9  | 25,2 | 5,4  | 2,2  | 21,1 | 22,1    | 13,3    |
| 02-03       | 0,0  | 8,5  | 2,1  | 2,7  | 14,2 | 14,5    | 0,0     | 02-03 | 0,0  | 8,4  | 2,1  | 2,7  | 14,4 | 14,5    | 0,0     |
| 03-04       | 0,0  | 3,6  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 4,3     | 0,0     | 03-04 | 0,0  | 3,6  | 1,4  | 2,1  | 4,4  | 4,3     | 0,0     |
| 04-05       | 0,0  | 3,8  | 0,7  | 0,8  | 3,0  | 3,6     | 0,0     | 04-05 | 0,0  | 3,8  | 0,7  | 0,8  | 3,0  | 3,6     | 0,0     |
| 05-06       | 0,7  | 3,2  | 0,0  | 0,8  | 2,1  | 1,5     | 0,0     | 05-06 | 0,7  | 3,2  | 0,0  | 0,8  | 2,1  | 1,5     | 0,0     |
| 06-07       | 0,0  | 4,8  | 0,0  | 0,0  | 4,9  | 1,5     | 0,0     | 06-07 | 0,0  | 4,8  | 0,0  | 0,0  | 4,9  | 1,5     | 0,0     |
| 07-08       | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,1     | 0,0     | 07-08 | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 2,9  | 4,3  | 4,1     |         |

Fonte: Produção do autor.

Na avaliação da carga de trabalho na TMA-RJ, percebe-se que o impacto provocado sobre cada setor é bem distinto daquele observado na TMA-SP. Na TMA-RJ, observam-se impactos bem menores e, algumas vezes, de caráter positivo. Ao verificar as condições de tempo na TMA-RJ, nos cenários meteorológicos dos dias utilizados nas simulações, é possível identificar que elas são menos intensas, de caráter não convectivo, ou, na maioria das vezes, ocorrem fora dessa área.

O setor RJ-02 se apresenta como o mais impactado positivamente e de maior carga de trabalho, muito provavelmente devido a deslocamentos para setores adjacentes em razão de procedimentos estabelecidos pelo simulador. Esse setor é o maior setor da TMA-RJ e faz limite com o setor SP-08, da TMA-SP. Nele, pode ser observada grande parte do fluxo de tráfego aéreo que entra ou sai da TMA-RJ.

## **8.2 Estimativa das Emissões de CO<sub>2</sub>.**

Neste item do trabalho, estão estimadas as emissões de CO<sub>2</sub> advindas de 2.192 voos distribuídos no decorrer de um dia em setores da TMA-SP e TMA-RJ. O cálculo da emissão foi feito pela multiplicação do consumo de combustível total encontrado em cada setor pelo índice de emissão 3,155 kg de CO<sub>2</sub>/ 1 kg de combustível queimado, sendo essa referência descrita por Sutkus (2001).

### **8.2.1 TMA-SP**

A Tabela 8.6 apresenta as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> realizadas pelas aeronaves em cada um dos setores da TMA-SP, por rodada. Os menores valores podem ser observados por meio das células mais claras, em branco. Os maiores valores estão destacados pelas células que tendem ao vermelho. Observa-se que os três setores com maiores quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas são o SP-08, SP-09 GR, e SP-02, em ordem decrescente.

Tabela 8.6 – Estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> em cada setor da TMA-SP, por rodada.

|             | Emissões de CO <sub>2</sub> , em Kg. |           |         |         |        |         |         |         |            |         |         |         |         |         |
|-------------|--------------------------------------|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | SP01                                 | SP01-ALTO | SP02    | SP03    | SP04   | SP05    | SP06    | SP07    | SP07-BAIXO | SP08    | SP09-GR | SP10-SP | SP11-KP | SP12-SJ |
| Rod 1 - Ref | 32.749                               | 37.614    | 322.107 | 111.989 | 36.559 | 158.143 | 251.179 | 264.846 | 152.795    | 393.905 | 350.050 | 121.458 | 118.044 | 764     |
| Rod 2       | 49.669                               | 55.869    | 285.121 | 128.583 | 43.120 | 177.764 | 353.219 | 234.984 | 147.234    | 398.270 | 395.747 | 146.446 | 127.828 | 956     |
| Rod 3       | 45.482                               | 56.594    | 292.970 | 132.073 | 46.644 | 175.460 | 389.980 | 246.967 | 146.414    | 403.954 | 401.325 | 151.793 | 127.386 | 795     |
| Rod 4       | 48.328                               | 60.005    | 272.336 | 136.542 | 73.754 | 173.923 | 284.228 | 279.508 | 166.619    | 413.740 | 373.208 | 135.485 | 128.393 | 795     |
| Rod 5       | 33.001                               | 53.752    | 284.568 | 140.478 | 57.118 | 191.744 | 283.388 | 276.463 | 174.481    | 408.345 | 396.546 | 139.303 | 127.241 | 795     |
| Rod 6       | 24.858                               | 49.369    | 292.039 | 133.896 | 57.710 | 176.021 | 317.573 | 266.042 | 163.309    | 425.127 | 409.169 | 136.687 | 136.350 | 795     |
| Rod 7       | 27.657                               | 43.574    | 327.883 | 135.162 | 52.878 | 188.443 | 292.863 | 266.216 | 195.922    | 490.735 | 378.190 | 133.176 | 163.476 | 1.458   |
| Rod 8       | 27.546                               | 58.156    | 374.079 | 152.267 | 51.693 | 142.793 | 241.566 | 247.967 | 198.336    | 447.224 | 347.804 | 150.380 | 164.309 | 1.331   |

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 8.7 apresenta o número de aeronaves que trafegaram nos setores da TMA-SP por dia, em cada rodada de simulação. Os valores menores são observados com destaques que tendem ao azul nas células. Os valores maiores estão destacados por meio das células que tendem ao vermelho. Observa-se que os três setores com maior quantidade de tráfego diário de aeronaves são o SP-09 GR, o SP-07 e o SP-06, em ordem decrescente.

Tabela 8.7 – Número de aeronaves estimadas por setor da TMA-SP, por rodada, por dia.

|             | Número de Aeronaves por Setor por dia. |           |      |      |      |      |      |      |            |      |         |         |         |         |
|-------------|--|-----------|------|------|------|------|------|------|------------|------|---------|---------|---------|---------|
|             | SP01                                   | SP01-ALTO | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SP07 | SP07-BAIXO | SP08 | SP09-GR | SP10-SP | SP11-KP | SP12-SJ |
| Rod 1 - Ref | 217                                    | 389       | 427  | 379  | 284  | 292  | 703  | 754  | 282        | 490  | 818     | 531     | 466     | 6       |
| Rod 2       | 290                                    | 378       | 408  | 374  | 281  | 312  | 679  | 682  | 273        | 522  | 808     | 501     | 483     | 5       |
| Rod 3       | 287                                    | 385       | 405  | 386  | 264  | 312  | 694  | 723  | 267        | 509  | 817     | 523     | 477     | 4       |
| Rod 4       | 240                                    | 386       | 425  | 358  | 299  | 297  | 702  | 753  | 281        | 506  | 828     | 533     | 477     | 5       |
| Rod 5       | 276                                    | 358       | 344  | 358  | 315  | 318  | 663  | 675  | 261        | 633  | 808     | 413     | 473     | 4       |
| Rod 6       | 278                                    | 386       | 402  | 359  | 278  | 299  | 700  | 756  | 287        | 504  | 815     | 526     | 482     | 4       |
| Rod 7       | 231                                    | 387       | 431  | 379  | 316  | 293  | 717  | 759  | 281        | 483  | 822     | 526     | 465     | 9       |
| Rod 8       | 212                                    | 380       | 552  | 528  | 380  | 243  | 613  | 823  | 340        | 508  | 819     | 617     | 463     | 10      |

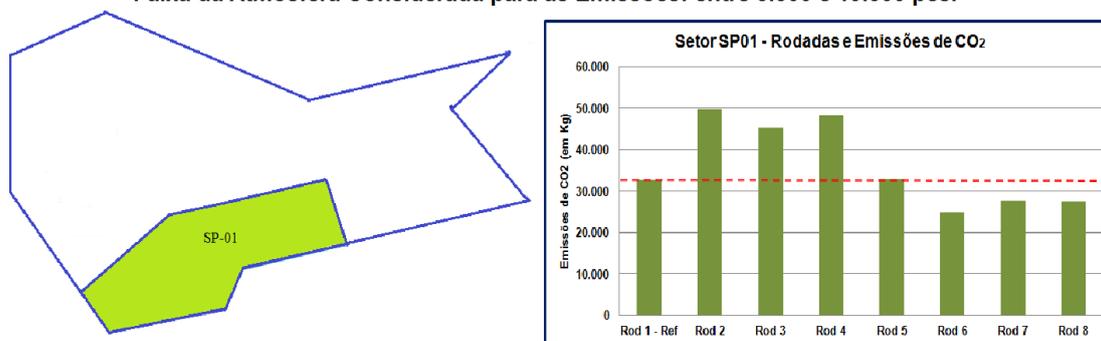
Fonte: Produção do autor.

A seguir, é feita a identificação da estimativa de emissões individuais dos setores, levando-se em conta os diversos cenários descritos no item 7.1.5.

a) Análise do resultado das emissões no setor SP-01

Figura 8.24 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-01.

Faixa da Atmosfera Considerada para as Emissões: entre 5.500 e 19.500 pés.

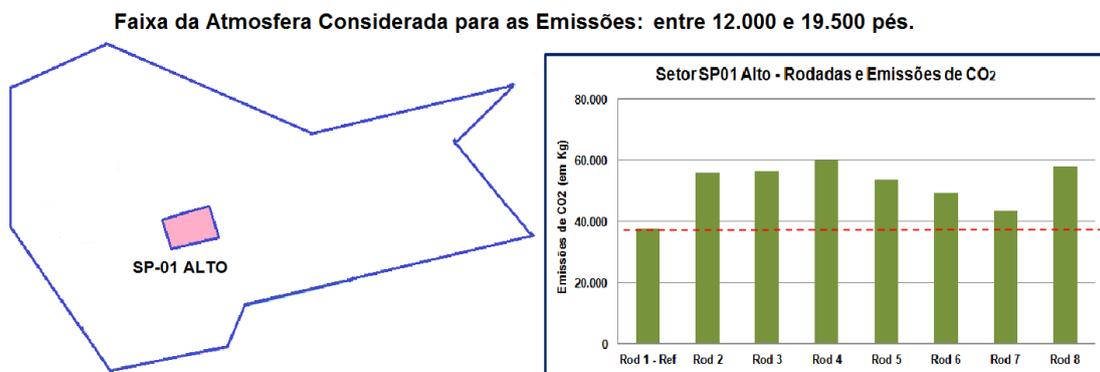


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.24 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-01, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada relativamente baixa, quando comparada aos outros setores da TMA-SP. Ela é pouco superior a 32,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que a variação na quantidade estimada de emissões está entre -24,1% e 51,7%, sendo que as rodadas 2, 3 e 4 apresentam aumento de emissão, e as rodadas 6, 7 e 8 apresentam diminuição nas emissões.

b) Análise do resultado das emissões no setor SP-01 Alto.

Figura 8.25 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-01 Alto.



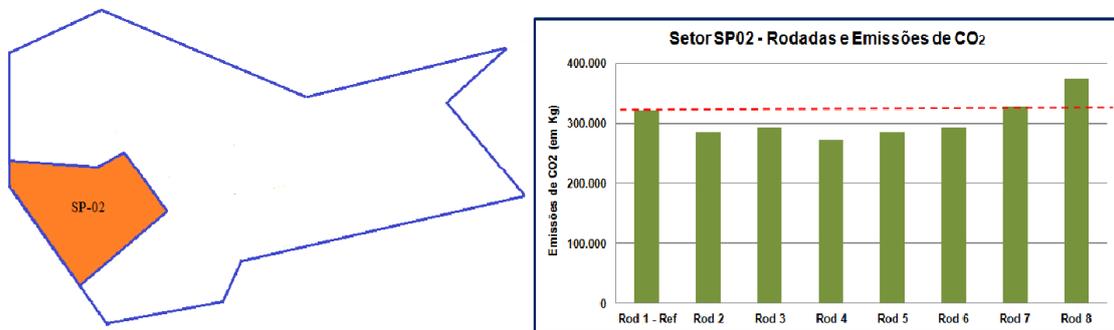
Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.25 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-01 Alto, entre 12.000 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência também apresenta emissão estimada relativamente baixa quando comparada a outros setores analisados. Esse valor estimado é pouco superior a 37,6 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas as demais rodadas apresentam aumento de emissão de CO<sub>2</sub>, que varia de 15,8%, na rodada 7, até 59,5%, na rodada 4.

c) Análise do resultado das emissões no setor SP-02.

Figura 8.26 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-02.

Faixa da Atmosfera Considerada para as Emissões: entre 5.500 e 19.500 pés.



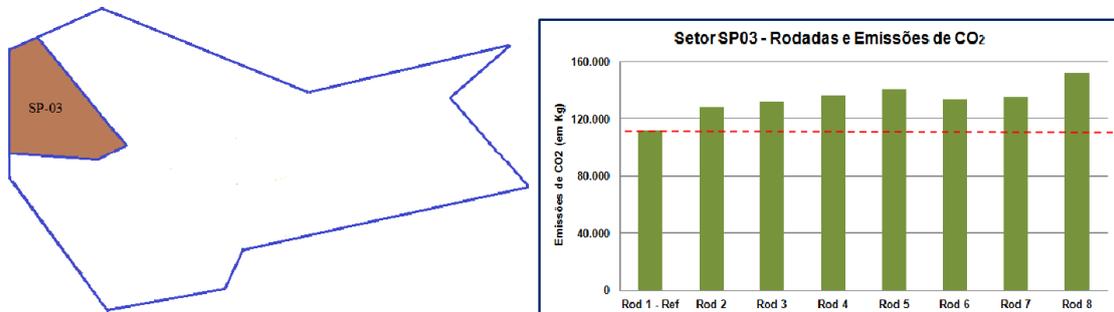
Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.26 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-02, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada pouco superior a 322,1 toneladas de CO<sub>2</sub>, sendo a terceira maior da TMA-SP. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que somente as rodadas 7 e 8 possuem aumento na estimativa de emissões de 1,8% e 16,1%, respectivamente. Nas demais, a variação negativa ficou entre 9,0% e 15,5%. Nesse setor, deslocam-se a maioria das aeronaves para e da FIR-CW oriundas da TMA-SP.

d) Análise do resultado das emissões no setor SP-03.

Figura 8.27 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-03.

Faixa da Atmosfera Considerada para as Emissões: entre 5.500 e 19.500 pés.



Fonte: Produção do autor.

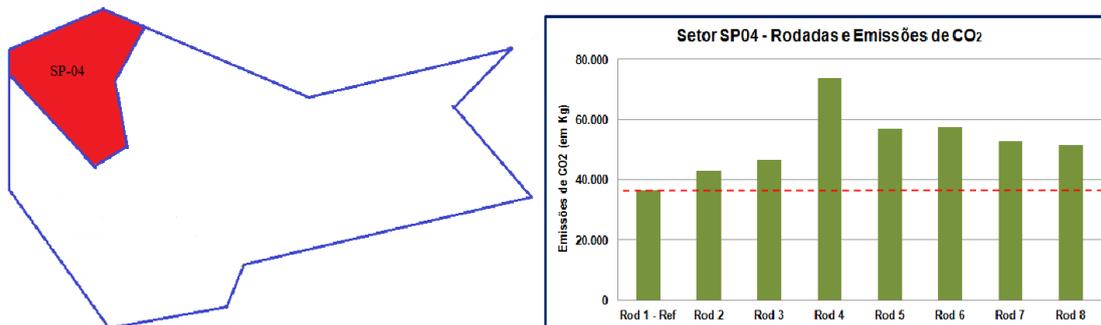
A Figura 8.27 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-03, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de

referência apresenta emissão estimada pouco superior a 111,9 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas as demais rodadas apresentam aumento de emissão de CO<sub>2</sub>. A variação fica entre 14,8% e 36,0%. O cenário 8 apresenta o maior acréscimo, atingindo pouco mais de 152,2 toneladas de CO<sub>2</sub> estimadas.

e) Análise do resultado das emissões no setor SP-04.

Figura 8.28 – variação da quantidade de emissão no setor SP-04.

Faixa da Atmosfera Considerada para as Emissões: entre 12.000 e 19.500 pés.



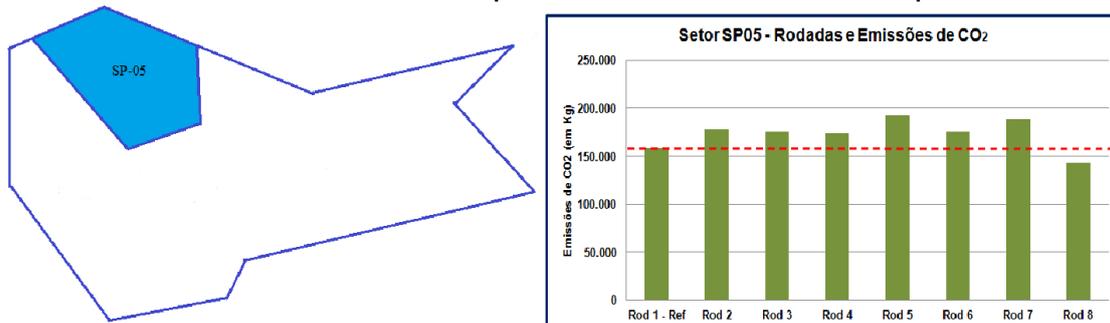
Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.28 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-04, entre 12.000 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada relativamente baixa quando comparada a outros setores da TMA-SP. Ela é pouco superior a 36,5 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas também apresentam aumento de emissão de CO<sub>2</sub>, sendo que a variação está entre 17,9% e 101,7%. A rodada 4 se destaca, apresentando o maior acréscimo de emissão. Porém, pouco superior a 73,7 toneladas de CO<sub>2</sub>.

f) Análise do resultado das emissões no setor SP-05.

Figura 8.29 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-05.

Faixa da Atmosfera Considerada para as Emissões: entre 5.500 e 19.500 pés.

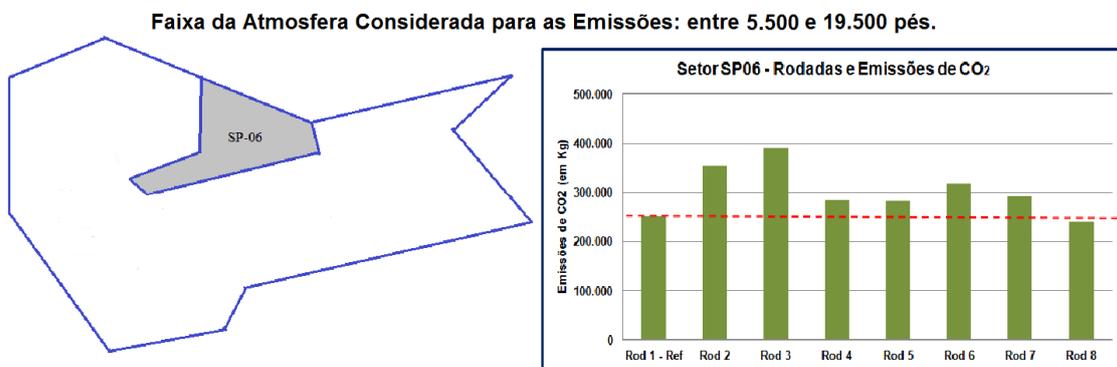


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.29 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-05, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada pouco superior a 158 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que elas apresentam aumento de emissão de CO<sub>2</sub>. A variação está entre 10% e 21,2%. A exceção fica por conta da rodada 8, que apresenta uma diminuição de 9,7%. O cenário 5 apresenta o maior acréscimo, atingindo uma quantidade de pouco mais de 191,7 toneladas de CO<sub>2</sub>.

g) Análise do resultado das emissões no setor SP-06.

Figura 8.30 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-06.

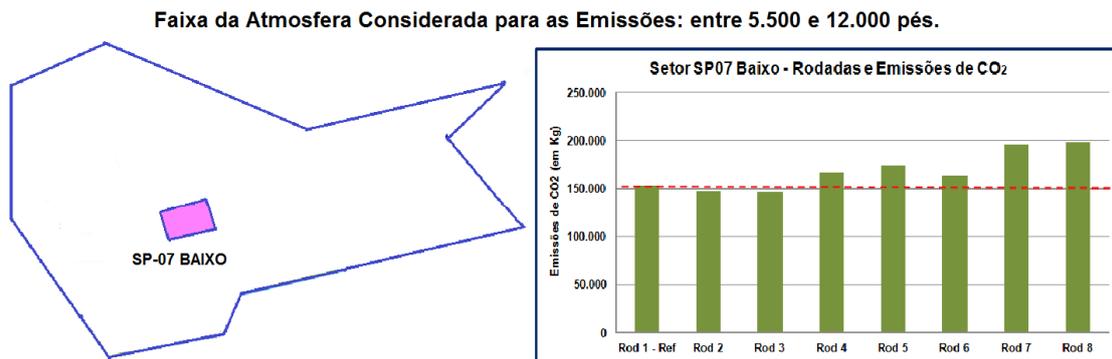


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.30 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-06, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada pouco superior a 251,1 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que as demais rodadas de simulações apresentam aumento de emissão de CO<sub>2</sub>. A variação está entre 12,8% e 55,3%. A rodada 8 é a única que apresenta uma diminuição de 3,8%, atingindo uma quantidade pouco acima de 241,5 toneladas. A rodada 3 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo uma quantidade de pouco mais de 389,9 toneladas de CO<sub>2</sub>.

h) Análise do resultado das emissões no setor SP-07 Baixo.

Figura 8.31 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-07 Baixo.

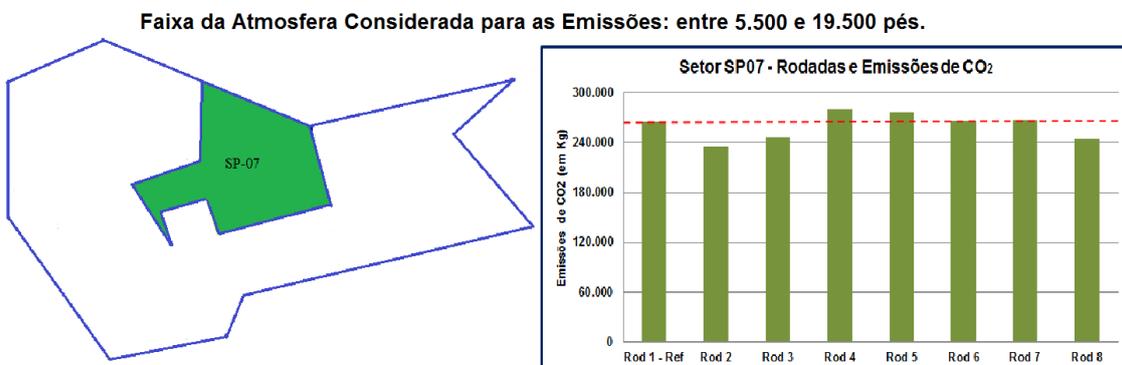


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.31 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-07 Baixo, entre 5.500 e 12.000 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão pouco superior a 152,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. Aqui, quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que cinco delas apresentam aumento das emissões, sendo a variação entre elas de 9% a 29,8%. Outras duas, as rodadas 2 e 3, apresentam diminuição das emissões, sendo que a variação fica entre 3,6% e 4,2%, respectivamente. A rodada 8 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo uma quantidade pouco superior a 198,3 toneladas de CO<sub>2</sub>. A maior diminuição aconteceu na rodada 2. Porém, mesmo assim, atingiu uma quantidade pouco superior a 264,8 toneladas.

i) Análise do resultado das emissões no setor SP-07.

Figura 8.32 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-07.

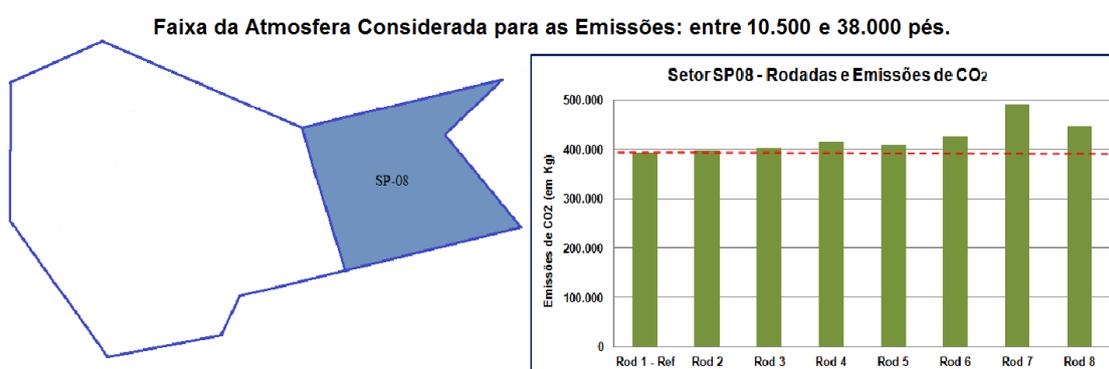


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.32 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-07, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão de pouco mais de 264,8 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que a variação das emissões fica entre -11,3%, na rodada 2, e 5,5% na rodada 4. Apesar de as variações percentuais serem relativamente pequenas, as quantidades de emissões estão entre 234,9 e 279,5 toneladas estimadas.

j) Análise do resultado das emissões no setor SP-08.

Figura 8.33 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-08.

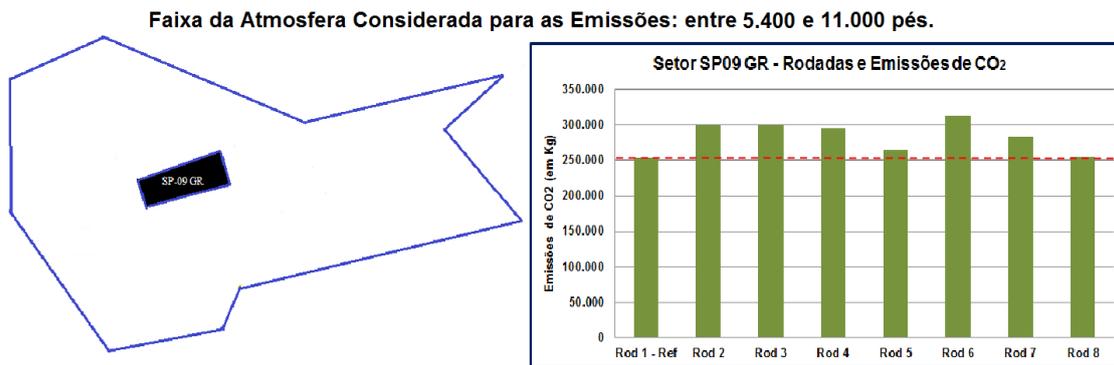


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.33 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-08, entre 10.500 e 38.000 pés de altitude. Nela, observa-se que esse é o setor onde está presente a maior quantidade estimada. A rodada 1 de referência apresenta emissão pouco superior a 393,9 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento das emissões, sendo que a variação está entre 1,1% e 24,6%. A rodada 7 apresenta o maior acréscimo e a maior emissão das rodadas, atingindo um valor pouco acima de 490,7 toneladas de CO<sub>2</sub>.

k) Análise do resultado das emissões no setor SP-09 GR.

Figura 8.34 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-09 GR.

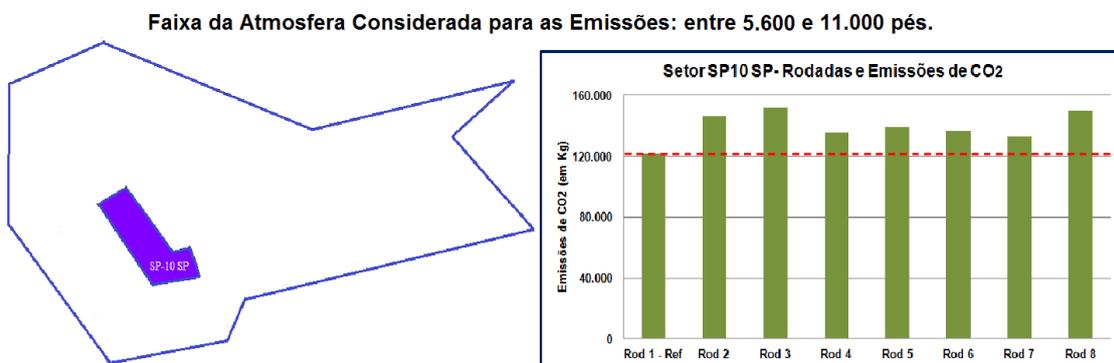


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.34 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-09 GR, entre 5.400 e 11.000 pés de altitude. Nela, observa-se que esse setor é o segundo maior em emissões estimadas, sendo que a rodada 1 de referência apresenta emissão pouco superior a 350 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento das emissões, sendo que a variação está entre 6,6% e 16,9%. A rodada 8 é exceção, pois apresenta uma diminuição de 0,6%. A rodada 6 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo um valor pouco superior a 409,1 toneladas de CO<sub>2</sub>.

l) Análise do resultado das emissões no setor SP-10 SP.

Figura 8.35 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-10 SP.

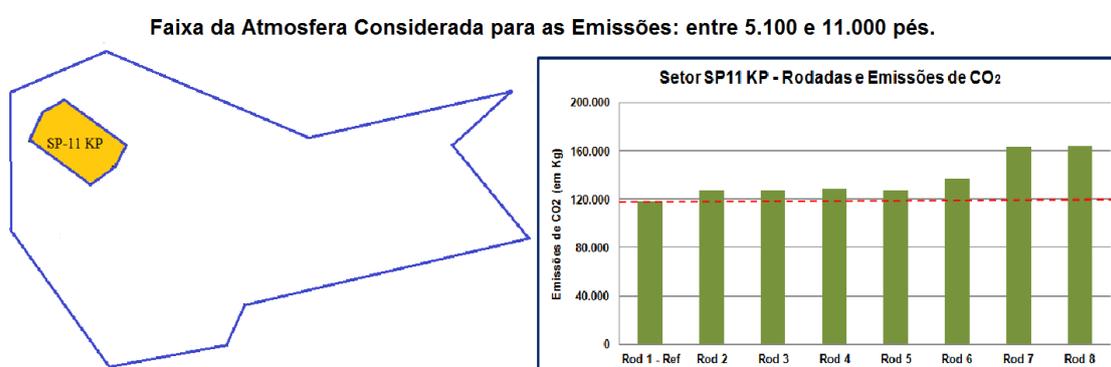


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.35 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-10 SP, entre 5.600 e 11.000 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão pouco acima de 121,4 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento nas emissões, sendo que a variação está entre 9,6% e 25%. A rodada 3 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo um valor pouco acima de 151,9 toneladas de CO<sub>2</sub>.

m) Análise do resultado das emissões no setor SP-11 KP.

Figura 8.36 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-11 KP.

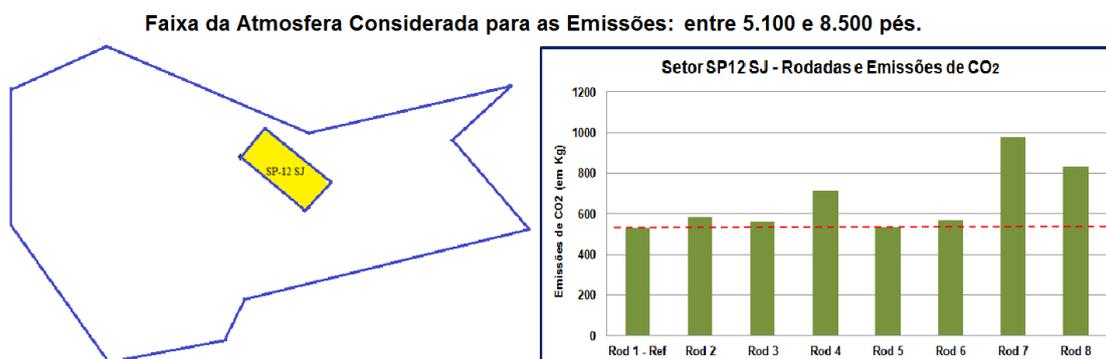


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.36 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-11 KP, entre 5.100 e 11.000 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão pouco acima de 118 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que aqui, também, elas apresentam aumento nas emissões, sendo que a variação está entre 7,8% e 39,2%. A rodada 8 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo um valor pouco acima 164,3 toneladas de CO<sub>2</sub>.

n) Análise do resultado das emissões no setor SP-12 SJ.

Figura 8.37 – Variação da quantidade de emissão no setor SP-12 SJ.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.37 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-12 SJ, entre 5.100 e 8.500 pés de altitude. Nesse caso, observa-se que os valores de emissão são muito baixos quando comparados aos demais setores, superando um pouco mais 1,3 tonelada de CO<sub>2</sub>, nas rodadas 7 e 8, que são as maiores emissões desse setor.

A Tabela 8.8 apresenta a variação na quantidade estimada de emissões de CO<sub>2</sub> por rodada, em relação à rodada 1 de referência, na TMA-SP. As variações positivas estão destacadas por meio de células na coloração que tende ao vermelho. As variações negativas aparecem em destaque com células que tendem ao azul. Nela, é possível identificar que há a predominância de aumento na estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> na TMA-SP. Além disso, observa-se que existem setores onde a quantidade estimada de emissões de CO<sub>2</sub> aumenta significativamente em detrimento da variação negativa do número de aeronaves em setores adjacentes, e vice-versa.

Tabela 8.8 – Variação na quantidade estimada de emissões de CO<sub>2</sub>, por rodada, na TMA-SP.

|         | SP01   | SP01-ALTO | SP02   | SP03  | SP04   | SP05  | SP06  | SP07   | SP07-BAIXO | SP08  | SP09-GR | SP10-SP | SP11-KP | SP12-SJ |
|---------|--------|-----------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Rod 2-1 | 51,7%  | 48,5%     | -11,5% | 14,8% | 17,9%  | 12,4% | 40,6% | -11,3% | -3,6%      | 1,1%  | 13,1%   | 20,6%   | 8,3%    | 25,2%   |
| Rod 3-1 | 38,9%  | 50,5%     | -9,0%  | 17,9% | 27,6%  | 11,0% | 55,3% | -6,8%  | -4,2%      | 2,6%  | 14,6%   | 25,0%   | 7,9%    | 4,1%    |
| Rod 4-1 | 47,6%  | 59,5%     | -15,5% | 21,9% | 101,7% | 10,0% | 13,2% | 5,5%   | 9,0%       | 5,0%  | 6,6%    | 11,5%   | 8,8%    | 4,1%    |
| Rod 5-1 | 0,8%   | 42,9%     | -11,7% | 25,4% | 56,2%  | 21,2% | 12,8% | 4,4%   | 14,2%      | 3,7%  | 13,3%   | 14,7%   | 7,8%    | 4,1%    |
| Rod 6-1 | -24,1% | 31,3%     | -9,3%  | 19,6% | 57,9%  | 11,3% | 26,4% | 0,5%   | 6,9%       | 7,9%  | 16,9%   | 12,5%   | 15,5%   | 4,1%    |
| Rod 7-1 | -15,5% | 15,8%     | 1,8%   | 20,7% | 44,6%  | 19,2% | 16,6% | 0,5%   | 28,2%      | 24,6% | 8,0%    | 9,6%    | 38,5%   | 90,9%   |
| Rod 8-1 | -15,9% | 54,6%     | 16,1%  | 36,0% | 41,4%  | -9,7% | -3,8% | -6,4%  | 29,8%      | 13,5% | -0,6%   | 23,8%   | 39,2%   | 74,4%   |

Fonte: Produção do autor.

Considere a Tabela 8.9, que apresenta a variação no número de aeronaves por setor, por rodada, na TMA-SP. Nela, é possível identificar a mesma dinâmica na variação da quantidade de emissões, onde determinados setores apresentam variação positiva concomitantemente à variação negativa de setores adjacentes, e vice-versa. Percebe-se essa situação de modo mais evidente nas rodadas 5 e 8, principalmente nesta última. Isso está de acordo com o posicionamento de sistemas meteorológicos com condições meteorológicas adversas, exigindo desvios dentro dos setores e regulação no gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo por parte do simulador.

Tabela 8.9 – Variação no número de aeronaves por setor, por rodada, na TMA-SP (em %).

|         | SP01   | SP01-ALTO | SP02    | SP03   | SP04   | SP05    | SP06    | SP07    | SP07-BAIXO | SP08   | SP09-GR | SP10-SP | SP11-KP | SP12-SJ |
|---------|--------|-----------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Rod 2-1 | 33,64% | -2,83%    | -4,45%  | -1,32% | -1,06% | 6,85%   | -3,41%  | -9,55%  | -3,19%     | 6,53%  | -1,22%  | -5,65%  | 3,65%   | -16,67% |
| Rod 3-1 | 32,26% | -1,03%    | -5,15%  | 1,85%  | -7,04% | 6,85%   | -1,28%  | -4,11%  | -5,32%     | 3,88%  | -0,12%  | -1,51%  | 2,36%   | -33,33% |
| Rod 4-1 | 10,60% | -0,77%    | -0,47%  | -5,54% | 5,28%  | 1,71%   | -0,14%  | -0,13%  | -0,35%     | 3,27%  | 1,22%   | 0,38%   | 2,36%   | -16,67% |
| Rod 5-1 | 27,19% | -7,97%    | -19,44% | -5,54% | 10,92% | 8,90%   | -5,69%  | -10,48% | -7,45%     | 29,18% | -1,22%  | -22,22% | 1,50%   | -33,33% |
| Rod 6-1 | 28,11% | -0,77%    | -5,85%  | -5,28% | -2,11% | 2,40%   | -0,43%  | 0,27%   | 1,77%      | 2,86%  | -0,37%  | -0,94%  | 3,43%   | -33,33% |
| Rod 7-1 | 6,45%  | -0,51%    | 0,94%   | 0,00%  | 11,27% | 0,34%   | 1,99%   | 0,66%   | -0,35%     | -1,43% | 0,49%   | -0,94%  | -0,21%  | 50,00%  |
| Rod 8-1 | -2,30% | -2,31%    | 29,27%  | 39,31% | 33,80% | -16,78% | -12,80% | 9,15%   | 20,57%     | 3,67%  | 0,12%   | 16,20%  | -0,64%  | 66,67%  |

As cores apresentadas na Tabela 8.9 destacam que as maiores variações positivas tendem ao vermelho; as maiores variações negativas tendem ao azul; e as pequenas variações tendem ao branco.

Fonte: Produção do autor.

Para compreender se há relação entre o número de aeronaves e a quantidade de emissões em cada setor, faz-se necessário analisar dois pontos importantes: a relação entre a variação do número de voos no setor e a variação da quantidade estimada de emissões; e os movimentos das aeronaves em voo durante as ações de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo, decorrentes da presença de condições meteorológicas adversas ao voo dentro e/ou fora da área de estudo, ou mesmo em função dos desvios realizados em rota dentro dos setores estudados. As quantidades de aeronaves por setor e por rodada podem ser observadas na Tabela 8.7. Os detalhes dos movimentos das aeronaves são observados nos históricos dos voos produzidos como relatórios pelo TAAM, levando em conta os dados das condições meteorológicas descritos no Capítulo 7.

O primeiro ponto pode ser obtido relacionando-se as informações contidas na Tabela 8.8 à Tabela 8.9. Ao se fazer isso, percebe-se que a estimativa de aumento ou diminuição das emissões não possui relação direta com o aumento

ou diminuição do número de voos dentro dos setores. O coeficiente de correlação de Pearson entre a quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> e o número de aeronaves em cada setor sustenta essa afirmação e pode ser visto na Tabela 8.10.

Tabela 8.10 – Coeficiente de correlação de Pearson para a TMA-SP.

|    | SP01  | SP01-ALTO | SP02  | SP03  | SP04  | SP05  | SP06  | SP07  | SP07-BAIXO | SP08   | SP09-GR | SP10-SP | SP11-KP | SP12-SJ |
|----|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| r= | 0,423 | -0,325    | 0,842 | 0,568 | 0,183 | 0,827 | 0,342 | 0,027 | 0,604      | -0,310 | -0,479  | 0,173   | -0,546  | 0,909   |

Correlação entre quantidade de emissões estimadas nos setores da TMA-SP e a quantidade de aeronaves no setor, por rodada.

Fonte: Produção do autor.

Em função desse fato, foi necessário analisar os históricos de voos gerados pelo TAAM, para cada rodada. Ao se fazer isso, identificou-se que existe:

- a) aumento da estimativa de emissões em função do aumento do número de voos no setor. Essa condição era esperada. Exemplos mais evidentes dessas situações podem ser observados no setor SP-01, nas rodadas 2, 3, 4 e 5; e nos setores SP-02, SP-03 e SP-04, na rodada 8;
- b) diminuição da estimativa de emissões em função da diminuição do número de aeronaves no setor. Essa condição também era esperada. Exemplos desses casos podem ser observados no setor SP-02, nas rodadas 2, 3, 4, 5 e 6; e no setor SP-07 Baixo, nas rodadas 2 e 3, dentre outras;
- c) aumento da estimativa de emissões com a diminuição do número de aeronaves no setor. Aqui se verifica que essa condição ocorre em consequência do aumento do tempo de voo de algumas aeronaves ao realizarem desvios por mau tempo e/ou esperas em voo dentro do setor. Exemplos desses casos podem ser melhor observados no setor SP-01, nas rodadas 6 e 7; no SP-10 SP, nas rodadas 2, 3 e 5; e no setor SP-11 KP, nas rodadas 7 e 8; e
- d) diminuição da estimativa de emissões mesmo com o aumento do número de aeronaves no setor. Aqui se verifica que essa condição ocorre em consequência de duas situações principais: a maior parte dos voos observados realiza pequenas trajetórias dentro no setor, em decorrência de desvios realizados em setores adjacentes; e/ou mudança no perfil de voo das aeronaves de voo ascendente, realizado

com maior consumo, para voo descendente, de menor consumo. Exemplos dessa situação podem ser melhor observados no setor SP-01, nas rodadas 6 e 7; e no SP-11 KP, nas rodadas 7 e 8.

Houve casos descritos nas letras “a” e “c” onde o aumento de emissões ocorreu mesmo em presença de bom tempo na região de estudo. São exemplos dessa situação: setores SP-02 e SP-04, na rodada 7; SP-01 Alto, na rodada 3; e SP-10 SP, na rodada 3. Ao se buscar o motivo de tal fato, identificou-se que o aumento da estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> ocorreu em função da realização de esperas de aeronaves em voo nos setores impactados. Essa espera foi derivada das regras existentes no próprio TAAM, em decorrência da solução de conflitos gerados pelo mau tempo fora dos setores analisados. Observou-se que as esperas foram empregadas para permitir o sequenciamento adequado de pousos e decolagens nos aeroportos, considerando-se as limitações de disponibilidade de pátio e/ou capacidade do espaço aéreo na região de estudo.

### **8.2.2 TMA-RJ**

A Tabela 8.11 apresenta as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> realizadas pelas aeronaves nos setores da TMA-RJ, por rodada. Os valores apresentados estão destacados em cores, seguindo os mesmos critérios já comentados para a Tabela 8.6, do Item 8.2.1. Observa-se que os três setores com maiores quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas são os setores RJ-02, RJ-06 e RJ-04, em ordem decrescente. O setor RJ-02 é o maior da TMA-RJ e faz fronteira com o setor SP-08, de onde entram e saem os voos para a TMA-SP. O setor RJ-06 é aquele onde se localiza o aeroporto internacional do Rio de Janeiro, o Galeão. O setor RJ-06 é por onde os voos chegam e saem da FIR-BR, em direção às Regiões Norte e Nordeste.

Tabela 8.11 – Estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> em cada setor da TMA-RJ, por rodada.

|             | Emissões por Setor, por Rodada. |         |         |         |         |         |         |
|-------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | RJ01                            | RJ02    | RJ03    | RJ04    | RJ05    | RJ06-GL | RJ07-RJ |
| Rod 1 – Ref | 34.383                          | 344.729 | 147.251 | 168.201 | 143.958 | 285.225 | 109.059 |
| Rod 2       | 40.308                          | 359.530 | 195.136 | 208.423 | 141.955 | 288.405 | 129.055 |
| Rod 3       | 39.371                          | 360.408 | 192.916 | 201.598 | 139.483 | 285.944 | 131.639 |
| Rod 4       | 40.021                          | 371.240 | 186.700 | 195.669 | 140.027 | 289.314 | 131.522 |
| Rod 5       | 47.082                          | 351.136 | 188.305 | 200.377 | 144.155 | 293.560 | 126.345 |
| Rod 6       | 37.847                          | 362.236 | 198.276 | 203.330 | 144.254 | 289.894 | 132.195 |
| Rod 7       | 37.879                          | 386.963 | 160.784 | 186.408 | 153.583 | 304.640 | 122.632 |
| Rod 8       | 42.141                          | 381.886 | 156.640 | 184.577 | 152.649 | 304.574 | 121.950 |

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 8.12 apresenta o número de aeronaves que trafegaram nos setores da TMA-RJ por dia, em cada rodada de simulação. Os valores menores são observados com destaques que tendem para a cor azul das células. Os valores maiores estão destacados por meio das células que tendem ao vermelho. Observa-se que os três setores com maior quantidade de tráfego diário de aeronaves são o RJ-02, RJ-06 GL, e RJ-05, em ordem decrescente.

Tabela 8.12 – Número de aeronaves estimadas por setor, por rodada, por dia.

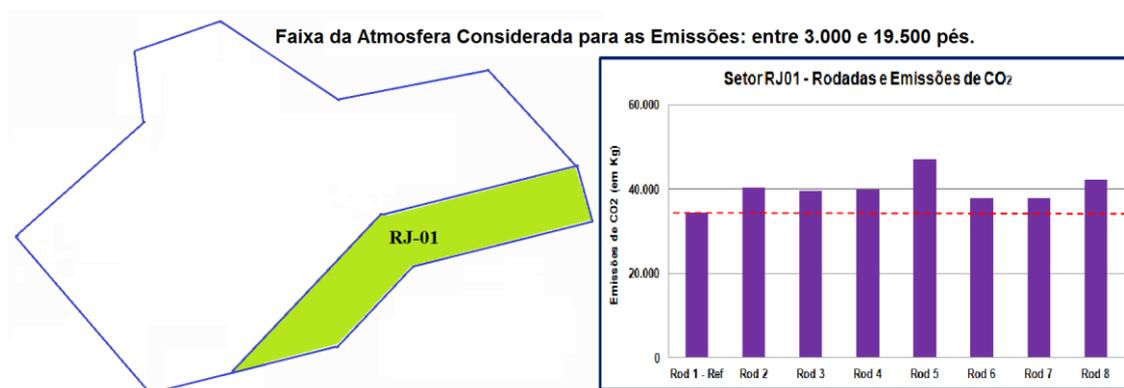
|             | Número de Aeronaves por Setor por dia. |      |      |      |      |         |         |
|-------------|--|------|------|------|------|---------|---------|
|             | RJ01                                   | RJ02 | RJ03 | RJ04 | RJ05 | RJ06 GL | RJ07 RJ |
| Rod 1 - Ref | 81                                     | 705  | 257  | 236  | 408  | 410     | 360     |
| Rod 2       | 80                                     | 648  | 273  | 250  | 393  | 515     | 460     |
| Rod 3       | 79                                     | 628  | 269  | 243  | 394  | 411     | 367     |
| Rod 4       | 81                                     | 688  | 269  | 233  | 410  | 409     | 360     |
| Rod 5       | 79                                     | 591  | 216  | 235  | 381  | 420     | 327     |
| Rod 6       | 77                                     | 626  | 271  | 247  | 399  | 419     | 366     |
| Rod 7       | 84                                     | 687  | 261  | 235  | 410  | 408     | 361     |
| Rod 8       | 93                                     | 676  | 247  | 233  | 412  | 413     | 360     |

Fonte: Produção do autor.

A seguir, é feita a identificação da estimativa de emissões individuais desses setores, levando em conta os diversos cenários descritos no Item 7.1.5.

- a) Análise do resultado das emissões no setor RJ-01.

Figura 8.38 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-01.

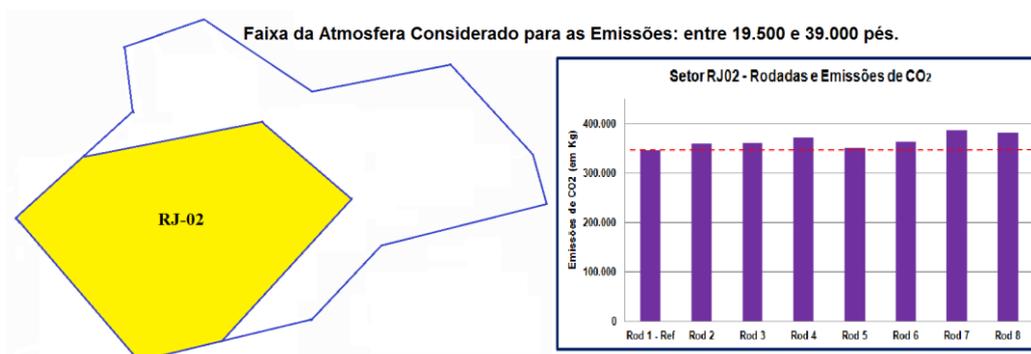


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.38 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-01, entre 3.000 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão estimada de pouco mais de 34,3 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento nas emissões, sendo que a variação entre elas é de 10,1% a 36,9%. A rodada 5 apresenta o maior acréscimo de emissão, atingindo um valor pouco acima de 47 toneladas de CO<sub>2</sub>.

b) Análise do resultado das emissões no setor RJ-02.

Figura 8.39 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-02.



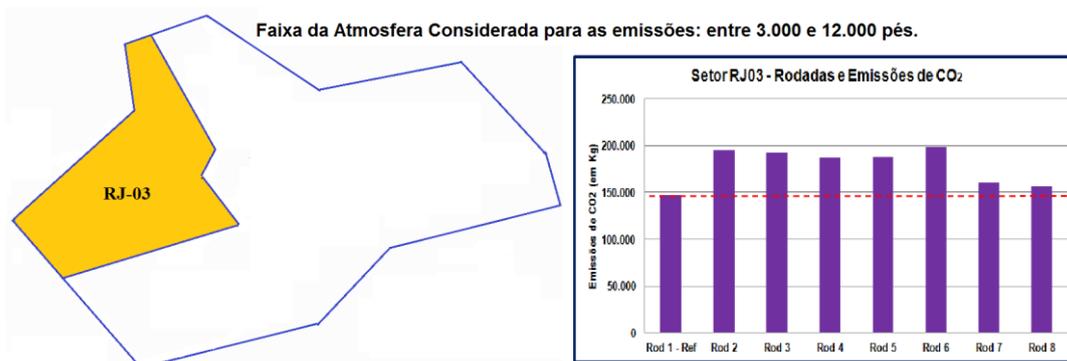
Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.39 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-02, entre 19.500 e 39.000 pés de altitude. Nela, observa-se que esse setor é o de maior estimativa de emissões, sendo que a rodada 1 de referência apresenta uma quantidade pouco superior a 344,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas

apresentam aumento nas quantidades de emissões, sendo que a variação entre elas é de 1,9% a 12,3%. A rodada 7 é a que apresenta o maior aumento, de 12,3%, atingindo um valor muito próximo a 387 toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> estimadas.

c) Análise do resultado das emissões no setor RJ-03.

Figura 8.40 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-03.

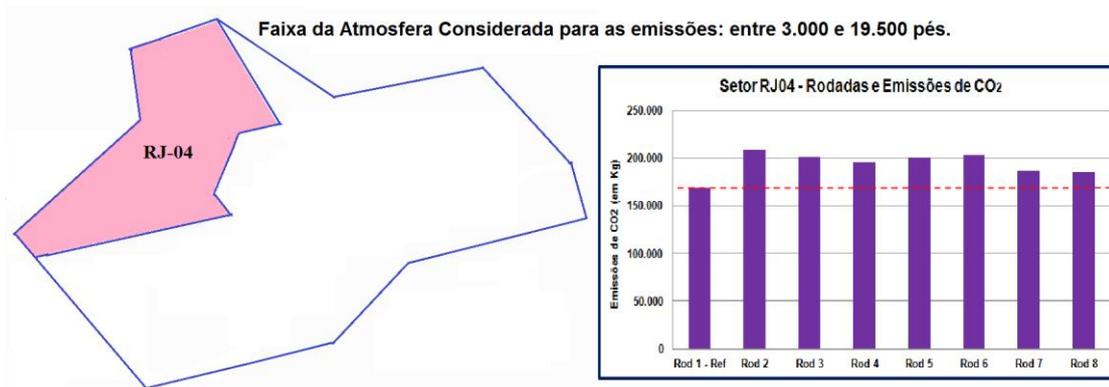


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.40 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-03, entre 3.000 e 12.000 pés de altitude. Nela, observa-se que esse setor possui as maiores variações positivas de emissões da TMA-RJ. Elas estão entre 26,8% e 34,7%, nas rodadas 2 e 6, respectivamente. A rodada 1 de referência apresenta emissão de pouco mais de 147,2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento das emissões, sendo a variação entre elas de 6,4% a 34,7%. A rodada 6 apresenta o maior acréscimo de emissões, atingindo um valor de pouco mais de 198,2 toneladas de CO<sub>2</sub>.

d) Análise do resultado das emissões no setor RJ-04.

Figura 8.41 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-04.

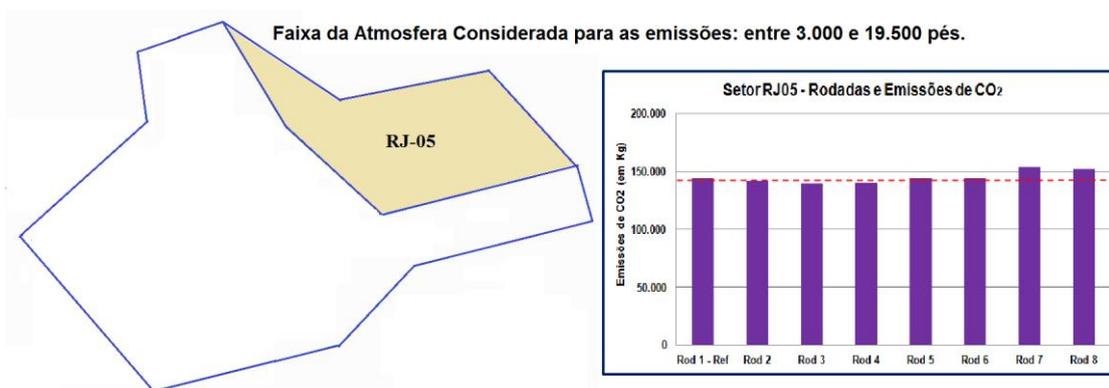


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.41 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-04, entre 3.000 e 19.500 pés de altitude. Aqui também se observa que as maiores variações positivas estão entre as rodadas 2 e 6, tomando como base a rodada 1 de referência, que apresenta uma emissão de pouco mais de 168,2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Todas as rodadas apresentam um aumento nas emissões, sendo a variação entre elas de 9,7% a 23,9%. A rodada 2 é a que apresenta o maior acréscimo de emissões, atingindo um valor pouco superior a 208,4 toneladas de CO<sub>2</sub>.

e) Análise do resultado das emissões no setor RJ-05.

Figura 8.42 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-05.



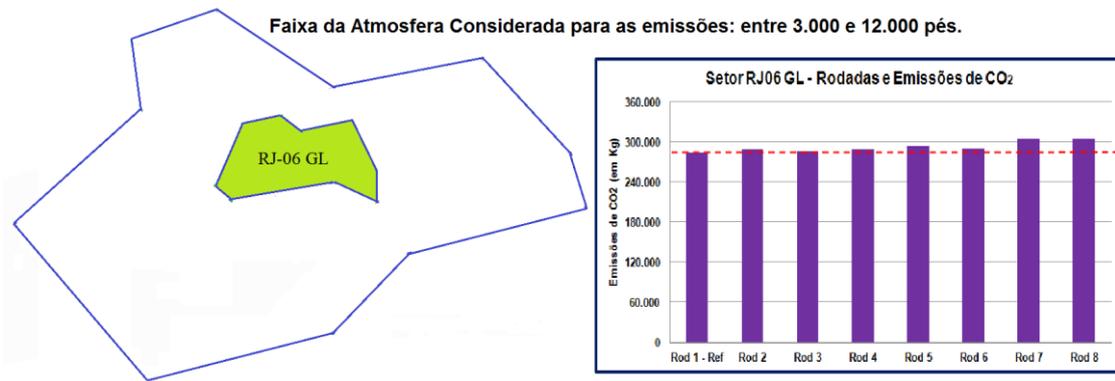
Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.42 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-05, entre 3.000 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão de pouco mais de 143,9 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que as variações nas quantidades de emissões são as menores. Elas variam de -3,1% a 6,7%. As rodadas de 5 a 8 apresentam aumento de 0,1% a 6,7%.

As rodadas 2, 3 e 4 apresentam diminuição das emissões, entre 1,4% e 3,1%. A rodada 7 apresenta o maior aumento, atingindo um valor pouco superior a 153,5 toneladas de CO<sub>2</sub>.

f) Análise do resultado das emissões no setor RJ-06 GL.

Figura 8.43 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-06 GL.

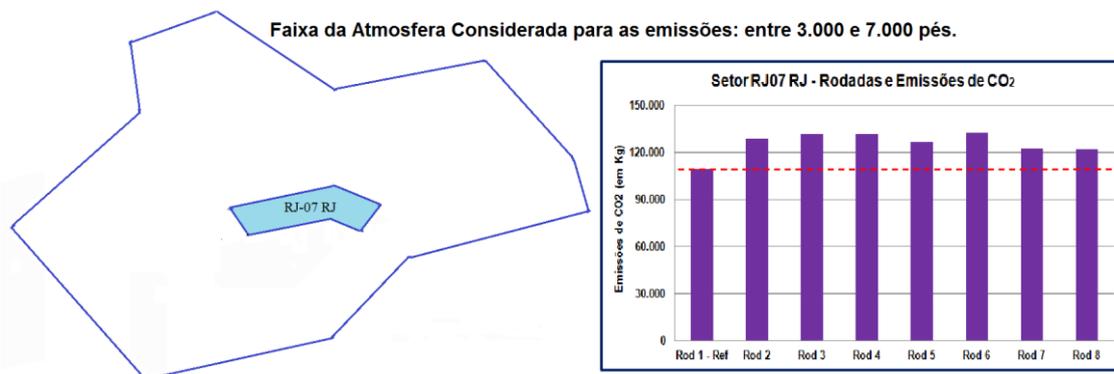


Fonte: Produção do autor.

A Figura 8.43 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-06 GL, entre 3.000 e 12.000 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão de pouco mais de 285,2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas apresentam aumento nas emissões, sendo que a variação entre elas também é relativamente pequena, entre 0,3% e 6,8%. A rodada 7 apresenta o maior decréscimo de emissões, chegando ao valor de aproximadamente 304,6 toneladas de CO<sub>2</sub>.

g) Análise do resultado das emissões no setor RJ-07 RJ.

Figura 8.44 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-07 RJ.



A Figura 8.44 descreve a variação da quantidade de emissões no setor RJ-07 RJ, entre 3.000 e 7.000 pés de altitude. Nesse caso, observa-se que a rodada 1 de referência apresenta emissão de aproximadamente 80,5 toneladas de CO<sub>2</sub>. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas também apresentam aumento nas emissões, sendo que a variação entre elas é de 11,8% a 21,2%. Aqui também é possível perceber que as maiores variações ocorrem entre as rodadas 2 e 6. A rodada 6 apresenta o maior acréscimo de emissões, atingindo o valor de aproximadamente 132,2 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Tabela 8.13 – Variação no número de aeronaves por setor da TMA-RJ, por rodada (em %).

|               | RJ01  | RJ02   | RJ03   | RJ04  | RJ05  | RJ06-GL | RJ07-RJ |
|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|
| Rod 2 - Rod 1 | -1,2% | -8,1%  | 6,2%   | 5,9%  | -3,7% | 25,6%   | 27,8%   |
| Rod 3 - Rod 1 | -2,5% | -10,9% | 4,7%   | 3,0%  | -3,4% | 0,2%    | 1,9%    |
| Rod 4 - Rod 1 | 0,0%  | -2,4%  | 4,7%   | -1,3% | 0,5%  | -0,2%   | 0,0%    |
| Rod 5 - Rod 1 | -2,5% | -16,2% | -16,0% | -0,4% | -6,6% | 2,4%    | -9,2%   |
| Rod 6 - Rod 1 | -4,9% | -11,2% | 5,4%   | 4,7%  | -2,2% | 2,2%    | 1,7%    |
| Rod 7 - Rod 1 | 3,7%  | -2,6%  | 1,6%   | -0,4% | 0,5%  | -0,5%   | 0,3%    |
| Rod 8 - Rod 1 | 14,8% | -4,1%  | -3,9%  | -1,3% | 1,0%  | 0,7%    | 0,0%    |

As cores apresentadas na Tabela 8.13 destacam que as maiores variações positivas tendem ao vermelho; as maiores variações negativas tendem ao azul; e as pequenas variações tendem ao branco.

Fonte: Produção do autor.

Levando-se em conta os resultados apresentados na Tabela 8.13, é possível identificar que, na TMA-RJ, há uma ligeira predominância da diminuição na estimativa de emissões de CO<sub>2</sub>. Os setores mais impactados com a diminuição são o RJ-02, RJ-05 e RJ-01, em ordem decrescente. Os setores que tiveram

aumento na estimativa de emissões foram os setores RJ-03 e RJ-04. A rodada que proporcionou o maior impacto de aumento de emissões foi a rodada 2. A rodada que proporcionou a maior diminuição de emissões foi a rodada 5.

Para compreender esse fato, faz-se necessário realizar uma análise semelhante à que foi feita nas emissões realizadas na TMA-SP, considerando o número de aeronaves nos setores e suas respectivas trajetórias. Aqui também se analisaram os movimentos das aeronaves nos históricos dos voos produzidos pelo TAAM e os dados das condições meteorológicas descritos no Capítulo 7.

Inicialmente, é possível observar na Tabela 8.13 a variação no número de aeronaves por setor, por rodada, na TMA-RJ. De modo muito semelhante ao que se identificou na TMA-SP, percebe-se que existem setores onde a variação do número de aeronaves aumenta significativamente em detrimento da variação negativa do número de aeronaves em setores adjacentes, e vice-versa. As situações mais claras dessa condição são observadas nas rodadas 2 e 6. Essa situação também ocorre em função de duas condições apresentadas nas simulações: presença de condição meteorológica no setor; e presença de ações de gerenciamento de tráfego aéreo, que ocorrem com a finalidade de regular e ordenar o sequenciamento de pousos e decolagens nos aeroportos existentes na TMA-RJ.

Do mesmo modo que a Tabela 8.8, a Tabela 8.14 apresenta a variação na quantidade estimada de emissões de CO<sub>2</sub> por rodada, em relação à rodada 1 de referência, mas na TMA-RJ. Nela, é possível identificar que a variação da quantidade de emissões só se apresenta com valor negativo no setor RJ-05. Isso acontece nas rodadas 2, 3 e 4. As demais apresentam variações positivas, com destaque para o setor RJ-03, que apresenta variações entre 25% e 34,7%. A maior variação positiva ocorre no setor RJ-01, na rodada 5, de 36,9%.

Tabela 8.14 – Variação na quantidade estimada de emissões de CO<sub>2</sub>, por rodada, na TMA-RJ.

|               | RJ01  | RJ02  | RJ03  | RJ04  | RJ05  | RJ06-GL | RJ07-RJ |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| Rod 2 - Rod 1 | 17,2% | 4,3%  | 32,5% | 23,9% | -1,4% | 1,1%    | 18,3%   |
| Rod 3 - Rod 1 | 14,5% | 4,5%  | 31,0% | 19,9% | -3,1% | 0,3%    | 20,7%   |
| Rod 4 - Rod 1 | 16,4% | 7,7%  | 26,8% | 16,3% | -2,7% | 1,4%    | 20,6%   |
| Rod 5 - Rod 1 | 36,9% | 1,9%  | 27,9% | 19,1% | 0,1%  | 2,9%    | 15,9%   |
| Rod 6 - Rod 1 | 10,1% | 5,1%  | 34,7% | 20,9% | 0,2%  | 1,6%    | 21,2%   |
| Rod 7 - Rod 1 | 10,2% | 12,3% | 9,2%  | 10,8% | 6,7%  | 6,8%    | 12,4%   |
| Rod 8 - Rod 1 | 22,6% | 10,8% | 6,4%  | 9,7%  | 6,0%  | 6,8%    | 11,8%   |

As cores apresentadas na Tabela 8.14, seguem o mesmo padrão comentado na Tabela 8.8.

Fonte: Produção do autor.

Na Tabela 8.14, também se percebe que a estimativa de aumento ou diminuição das emissões não possui necessariamente relação direta com o aumento ou diminuição do número de voos dentro dos setores ou devido à presença de mau tempo na TMA-RJ, apesar de apontar a uma ligeira tendência nesse sentido. O coeficiente de correlação de Pearson entre a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> e o número de aeronaves no setor, que sustenta essa afirmação, pode ser visto na Tabela 8.15.

Tabela 8.15 – Coeficiente de correlação de Pearson para a TMA-RJ.

|    | RJ01  | RJ02  | RJ03  | RJ04  | RJ05  | RJ06-GL | RJ07-RJ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| r= | 0,120 | 0,348 | 0,211 | 0,638 | 0,464 | -0,231  | 0,193   |

Correlação entre quantidade de emissões estimadas nos setores da TMA-RJ e a quantidade de aeronaves no setor, por rodada.

Fonte: Produção do autor.

Nesse contexto, da mesma maneira que foi feita para a TMA-SP, foi necessário analisar o histórico de voos gerado pelo TAAM, para cada rodada. Ao se fazer isso, identificaram-se os mesmos motivos já comentados anteriormente no estudo da TMA-SP, ou seja:

- a) aumento da estimativa de emissões em função do aumento do número de voos no setor, caso considerado previsível. Exemplos: setor RJ-03, nas rodadas 2, 3, 4 e 6; e setor RJ-01, na rodada 8, dentre outros;
- b) diminuição da estimativa de emissões em função da diminuição do número de aeronaves no setor, caso considerado previsível. Exemplos: setor RJ-05, nas rodadas 2 e 3;
- c) aumento da estimativa de emissões mesmo com a diminuição do número de aeronaves no setor. Essa é uma situação onde houve aumento do tempo de voo de algumas aeronaves devido a esperas em voo dentro do setor. Exemplo: setor RJ-03, rodada 5; e
- d) diminuição da estimativa de emissões mesmo com o aumento do número de aeronaves no setor. Essa é uma situação onde há mudança no perfil de voo das aeronaves de maior consumo para menor consumo em decorrência de ações definidas pelo TAAM. Um único

exemplo pode ser identificado na TMA-RJ: no setor RJ-05, na rodada 4.

Na TMA-RJ, também se observam aumentos de emissões mesmo em presença de bom tempo, identificando-se que o aumento da estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> foi derivado da realização de esperas de aeronaves em voo nos setores impactados. Como comentado anteriormente, as esperas observadas ocorreram em função das regras existentes no próprio TAAM, que promovem a solução de conflitos oriundos da dinâmica dos horários dos voos e/ou em decorrência dos desvios promovidos pelo mau tempo fora dos setores analisados. Essas ações do TAAM são empregadas para permitir o sequenciamento adequado de pousos e decolagens nos aeroportos, de acordo com suas limitações locais e horárias em relação ao número de posições disponível no pátio.

### **8.2.3 Discussão geral sobre as emissões de CO<sub>2</sub>**

Emissões aeronáuticas são um assunto amplamente abordado principalmente no contexto da Europa e dos Estados Unidos, tendo em vista que essas regiões possuem uma demanda acentuada de voos. O foco é quantificar os principais poluentes dispersos na atmosfera, identificar os processos que interferem e definem as mudanças nas concentrações dessas substâncias, além de estudar os impactos proporcionados por esses compostos à saúde e ao meio ambiente (ICAO, 2007).

Este trabalho busca atender aos dois primeiros quesitos, no ambiente nacional com grande número de voos, considerando como principal variável a condição atmosférica adversa para a aviação. A compreensão da interferência das condições meteorológicas sobre a quantidade de emissões, em uma determinada faixa específica da atmosfera e em uma região importante para o país, poderá ajudar no entendimento de comportamentos atmosféricos locais.

Nesse contexto, Lee et al. (2009) destacam o papel da variação da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera como um fator crucial no processo de alteração climática. A ICAO (2007) descreve a contribuição das emissões desse composto por parte da aviação, sendo que se destaca a altitude onde ela ocorre em maior quantidade, na faixa entre 8 e 13 km. Já em IPCC (2006),

é possível identificar que a quantidade das emissões também está relacionada à potência utilizada em cada fase do voo.

Considerando esses argumentos, este trabalho quantifica a emissão de gás carbônico na faixa da atmosfera compreendida entre aproximadamente 914 metros (3.000 pés) e aproximadamente 11,9 km (39.000 pés), em uma área predefinida em função de sua importância, ou seja, na TMA-SP e TMA-RJ. O cálculo aqui realizado está de acordo com a fase CCD do voo, descrita por Winther e Rypdal (2016) e ocorre levando em conta as características operacionais, vigentes em 2014 nos órgãos que prestam serviço de tráfego aéreo nessa área de estudo. A região é estabelecida e segue as principais orientações operacionais contidas em SRPV (2014a e 2014b). Dessa forma, é apresentada uma abordagem diferenciada do ambiente de dispersão de CO<sub>2</sub> nesta tese.

Foi realizado pelo TAAM o cálculo do consumo de combustível gasto na fase CCD dos voos, inerente à subida após 3.000 pés, mais o voo em rota e mais a descida até 3.000 pés. A configuração utilizada nesse simulador foi a padrão, tendo em vista a complexidade e o número de variáveis possíveis de se utilizar.

Sabe-se ainda que a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido depende de alguns aspectos importantes, tais como: a configuração horizontal e vertical do setor da atmosfera considerada; o tipo e o número de aeronaves e seu tempo de permanência nessa região; e a potência empregada para o voo nessa área. Tendo em vista que as aeronaves entram, voam e saem dos setores em altitudes que variam de acordo com suas respectivas performances, para o cálculo das emissões utilizados neste trabalho foram definidos limites verticais diferentes do que o SRPV (2014a, e 2014b) estabelece. A configuração empregada no TAAM segue essa condição e está descrita na Tabela 7.9. Os resultados levam em conta a altitude de 3.000 pés acima do solo, sendo que a faixa da atmosfera considerada está expressa na Tabela 7.10 e na parte superior de cada uma das figuras de 8.24 a 8.37.

Em Rocha (2012a), é possível identificar as incertezas presentes na quantificação das emissões, decorrentes de fatores como não terem sido consideradas quaisquer interferências das condições de vento sobre os voos ou sobre os desempenhos das aeronaves, que são consideradas

equipamentos novos, de acordo com o modo-padrão do simulador TAAM, Versão 3.0, *release* 12, 2015.

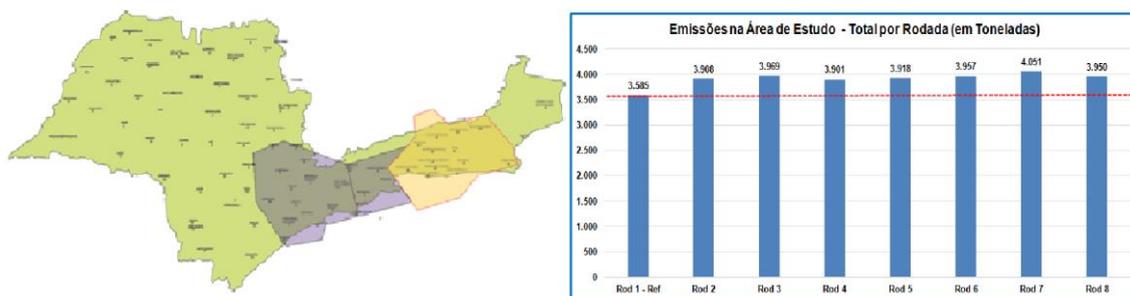
Tomando como base esse contexto, este trabalho segue o estabelecido pelo *Tier* 3b, definido por Winther e Rypdal (2016), e leva em conta as características do TAAM para a realização das simulações de tráfego aéreo. Assim, é possível afirmar que os resultados do cálculo do consumo de combustível pelas aeronaves e da respectiva quantificação de CO<sub>2</sub> são de alta precisão.

De acordo com o que está apresentado nos itens anteriores e nos resultados descritos no Item 8.2, foram feitas as quantificações totais que abrangem toda a área de estudo, somente a TMA-SP, e somente a TMA-RJ. As Figuras 8.45, 8.46 e 8.47 são representativas das emissões e possibilitam a discussão sobre os resultados.

#### a) Emissão Total na Área de Estudo

A Figura 8.45 apresenta o resultado do somatório das emissões de CO<sub>2</sub> em toda a área de estudo, levando em conta os setores existentes nos corredores de tráfego aéreo nessa região. Observa-se que a presença de condições adversas de tempo aumenta as emissões em todas as rodadas realizadas, em valores que variam de aproximadamente 9% a aproximadamente 13% acima do que foi emitido na rodada 1 de referência.

Figura 8.45 – Total de emissões de CO<sub>2</sub> na área de estudo.



Fonte: Produção do autor.

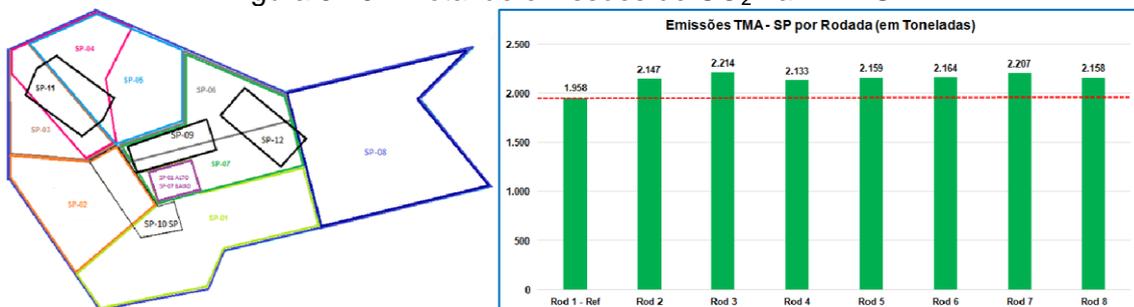
As duas maiores variações ocorrem nas rodadas 3 e 7. Ao se buscar o motivo de tal situação, percebe-se que as condições meteorológicas reinantes na região de estudo eram muito boas nessas duas rodadas de simulação. Na rodada 3, verifica-se que o impacto no movimento de tráfego aéreo foi decorrente principalmente da presença de uma frente fria na Região Sul do

país e de condições convectivas nos aeroportos da Região Centro-oeste. Esse fato provocou atrasos nos voos que chegavam e saíam dos aeroportos dessas regiões, o que promoveu ações de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo na região estudada. Além disso, a região de estudo, especificamente os setores SP-01, SP-07, SP-08 e SP-12 SJ, esteve com a presença de formações convectivas entre 19:00 UTC e 22:00 UTC. Nessa região, foram realizados os desvios necessários para se contornar as formações meteorológicas existentes. Os setores SP-03, SP-04, SP-09 GR e SP-10 SP também sofreram impactos com a presença de mau tempo. Tudo isso pode ser observado na Tabela 7.3. Para a rodada 7, é possível identificar que o principal motivo para a promoção no impacto sobre o fluxo de tráfego aéreo foi o fechamento do Aeroporto de Brasília (SBBR) entre 08:00 UTC e 11:00 UTC. Nesse caso, também foi necessária a adoção de várias medidas de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo em busca do ajuste das demandas de chegada e saída de voos nesse período, bem como para reorganizar o tráfego aéreo que sairia desse aeroporto para outras regiões do país.

#### b) Emissão Total na TMA-SP

A Figura 8.46 apresenta o resultado do somatório das emissões de CO<sub>2</sub> levando em conta somente os setores existentes na TMA-SP. Observa-se que a presença de condições adversas de tempo também aumenta as emissões em todas as rodadas realizadas. Aqui, os valores variam de aproximadamente 8% a aproximadamente 15% acima do que foi emitido na rodada 1 de referência.

Figura 8.46 – Total de emissões de CO<sub>2</sub> na TMA-SP.



Fonte: Produção do autor.

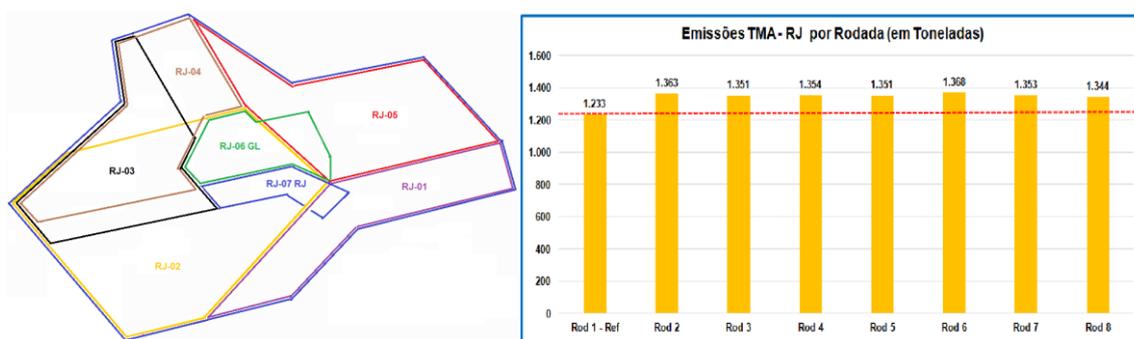
Observa-se que o perfil de emissões é praticamente igual àquele apresentado para as emissões totais na região de estudo. Percebe-se ainda que as rodadas

3 e 7 são as que apresentam as maiores emissões. Os motivos observados são os mesmos descritos anteriormente.

### c) Emissão Total na TMA-RJ

A Figura 8.47 destaca o resultado do somatório das emissões de CO<sub>2</sub> levando em conta somente os setores existentes na TMA-RJ. Observa-se que, também nessa região, a presença de condições adversas de tempo aumenta as emissões em todas as rodadas realizadas. Nesse caso, os valores registrados apresentam variação entre aproximadamente 9% e aproximadamente 11% acima do que foi emitido na rodada 1 de referência.

Figura 8.47 – Total de emissões de CO<sub>2</sub> na TMA-RJ.



Fonte: Produção do autor.

Nesse caso, a variação da quantidade de emissões entre as rodadas é menor e distinta dos dois casos citados anteriormente. Ao se buscar o motivo de tal condição, percebe-se que, na TMA-RJ, houve predominância de bom tempo em praticamente todos os setores, rodadas e horários, quando se considera a presença de nebulosidade convectiva. Esse fato pode ser confirmado ao se observar as Tabelas de 7.2 a 7.7. A exceção está nos setores e horários da rodada 8, descritos na Tabela 7.8. Assim, observa-se o menor valor da quantidade de emissões na TMA-RJ justamente nas rodadas onde o mau tempo foi variável de trabalho.

As maiores variações na quantidade de emissões estão nas rodadas 2 e 6. O fato em comum entre elas é que não há registro de condições meteorológicas na TMA-RJ que possam ter interferido no movimento de tráfego aéreo nessa região. No RDSO relativo à rodada 6, observa-se a existência de restrição de visibilidade e teto nos aeroportos SBRJ e SBGL, entre 07:00 UTC e 17:59 UTC e entre 06:00 UTC e 17:59 UTC, respectivamente. Porém, essa condição não

gerou quaisquer impactos operacionais descritos. Assim, é possível inferir que a elevação na quantidade estimada de emissões é decorrente de condições meteorológicas adversas fora da área considerada. Esse fato promoveu ações de gerenciamento de fluxo que impactaram o movimento aéreo das aeronaves dentro da TMA-RJ.

### **8.3 Discussão sobre os Dados, Simulação e Procedimentos**

A confiabilidade dos resultados obtidos por simulações está diretamente relacionada à base de dados e ao modo como essas modelagens são realizadas.

Nesse contexto, este trabalho buscou os dados sobre o movimento de tráfego aéreo em duas fontes nacionais de referência: a ANAC e o CGNA. Essa condição promove representatividade aos resultados. No entanto, cabe ressaltar que as oito simulações foram realizadas tomando como base o movimento médio da semana, que é representado pela terça-feira. Além disso, não foram considerados os voos relativos à aviação geral e militar. Dessa forma, os resultados apresentados nos itens 8.1 e 8.2 estão subestimados em relação à realidade diária.

Em se tratando da execução das simulações, considerou-se o descrito por Nagaota (2006) sobre a complexidade do sistema ATM, além do destaque dado pela IATA (2016), que enfatiza a importância da melhoria do gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo com o objetivo de reduzir o consumo de combustível e, conseqüentemente, a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>. Essas duas condições sugerem o emprego do TAAM para determinar movimentos aéreos precisos. Foi considerada uma única variável: as condições adversas de tempo.

Dentro do conceito de Ashford et al. (2011) e da ICAO (2007) sobre os componentes que envolvem um aeroporto e sobre as fases do voo, respectivamente, este trabalho produziu resultados específicos para um espaço aéreo (*airside/rote*) predefinido. Ele engloba as áreas terminais de São Paulo e do Rio de Janeiro, a partir de 3.000 pés acima do solo até 39.000 pés, dependendo do setor avaliado. Cada um dos setores existentes nessa região foi definido em uma faixa atmosférica específica, de acordo com a

complexidade do movimento de aeronaves no espaço aéreo e das condições operacionais dos APPs responsáveis pelo serviço de tráfego aéreo prestado (SRPV, 2014a; 2014b).

O processo de simulação do movimento das aeronaves em voo levou em conta as regras estabelecidas pelo DECEA (2014a; 2014b; 2014c) e pelo SRPV (2014a; 2014b), além das técnicas e avaliações descritas pelo EUROCONTROL (2000; 2003a; 2003b; 2016). Os procedimentos utilizados para os desvios de mau tempo encontrado em rota consideraram, em parte, pontos importantes nos achados de Rhoda et al. (2000; 2002). Tendo em vista que essas condições são consolidadas pelo DECEA e pelo EUROCONTROL, é possível inferir que elas contribuem para a elevada confiabilidade dos resultados.

A escolha e utilização do TAAM como ferramenta de trabalho considerou as vantagens e desvantagens descritas por Ashford et al. (2011). Seu uso está justificado e validado por diversos trabalhos descritos nos itens 5.2.5 e 5.3. O TAAM é considerado o estado da arte no contexto da modelagem de tráfego aéreo, tendo em vista suas funcionalidades, estrutura e componentes disponíveis para simulações (EUROCONTROL, 2016; ASHFORD et al., 2011; JEPPESEN, 2015; 2008; BOESEL, 2005).

#### **8.4 Particularidades do Trabalho**

São elas:

- a) As rodadas de simulação realizadas não levaram em conta a presença do vento para a definição da operacionalidade das cabeceiras das pistas em uso, nem nos diversos níveis da atmosfera;
- b) Em função da complexidade do trabalho e da disponibilidade de meios, cada rodada de simulação foi realizada apenas uma vez, não sendo possível realizar estudos estatísticos relacionados às médias e desvios padrões dos resultados;
- c) As rodadas de simulação levaram em conta a configuração-padrão do TAAM. Essa escolha foi feita em função da grande variabilidade de opção disponível no simulador e da complexidade do trabalho. Assim, teve-se apenas a condições de tempo como variável do trabalho;

- d) Os resultados obtidos consideram os desempenhos das aeronaves como equipamentos novos, conforme configuração do TAAM;
- e) As simulações no TAAM consideram o ambiente de trabalho do controlador como de média/baixa automatização, sendo que, no cálculo da carga de trabalho, suas tarefas físicas assumem papel mais importante que as tarefas cognitivas (TABARUELA et al., 2012);
- f) Em relação ao emprego de procedimentos de desvios das regiões convectivas do espaço aéreo analisado, as regras utilizadas tomaram como base os trabalhos de Rhoda et al. (2002) e Rhoda et al. (2000). O comportamento do piloto diante de formações convectivas considerou que 100% dos voos realizam desvios ao voar em rota para refletividade com intensidade maior que 41 dB. Essa condição foi adotada tendo em vista que, durante essa fase do voo, os pilotos não estão sobrecarregados de tarefas na cabine e existe maior flexibilidade no espaço aéreo, tanto lateralmente em relação às formações quanto na vertical. Ainda nesse caso, existe mais tempo para que os pilotos realizem a avaliação da intensidade das formações convectivas (RHODA et al. 2002). Para voos dentro das TMAs, considerou-se que todas as aeronaves realizaram penetração na região convectiva ao voar abaixo do FL 100 (aprox. 3.000 metros). Esse caso levou em contas as características dos voos realizados na fase de aproximação para pouso, onde a carga de trabalho na cabine dos pilotos é muito alta, as rotas de voo durante esse procedimento são bastante restritivas, e o radar de bordo está sujeito a apresentar *clutter* de solo, superestimando a visualização da intensidade de refletividade da precipitação (RHODA et al., 2000). Além disso, os pilotos que voam nas TMAs já se encontram em níveis de voo relativamente baixos e, nesses casos, eles têm dificuldade em realizar avaliações mais detalhadas das intensidades dos ecos observados em seus radares de bordo (RHODA et al. 2002). Aqui também se considerou que os desvios ocorreram em função de valores homogêneos de refletividade na vertical, maiores ou iguais a 41 dBz até o topo da camada;
- g) O movimento de tráfego aéreo utilizado na simulação considerou somente os voos regulares de empresas nacionais e internacionais que

voaram, em 2014, em uma data específica escolhida durante o início desta tese. O total de voos considerados foi 2.192;

- h) NOTAMs e inoperâncias em auxílios à navegação, bem como quaisquer outras condições restritivas às operações aéreas, também não foram consideradas nas simulações; e
- i) O movimento do tráfego aéreo utilizado nas rodadas de simulação considerou um dia específico da semana, ou seja, uma terça-feira. Entretanto, os cenários utilizados nas simulações acontecem em dias diferentes da semana, sendo que o número de voos varia diariamente de acordo com o que pode ser observado nos HOTRANS do ano de 2014. A decisão de se adotar essa abordagem no trabalho foi tomada, principalmente, em função da necessidade de os resultados encontrados poderem ser melhor comparados entre si, considerando-se apenas uma variável: as condições de tempo adversas. Além disso, existe grande complexidade em se realizar as simulações quando se leva em conta todos os aspectos peculiares de cada dia.

## 9 CONCLUSÕES

Alguns aspectos importantes desta pesquisa merecem destaque:

- a) Ela se baseou no princípio da interferência das condições meteorológicas sobre a capacidade do espaço aéreo, fato que pode promover diversos tipos de ações de gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo, sendo elas capazes de potencializar atrasos nos voos e modificar a carga de trabalho e o consumo de combustível, este sendo traduzido na forma de emissões atmosféricas;
- b) Considerando a complexidade do trabalho, bem como a diversidade de condições meteorológicas (em intensidade, espaço e tempo) capazes de interferir na operacionalidade do transporte aéreo, não foram abordados aspectos estatísticos dos impactos provocados pelas condições meteorológicas sobre a carga de trabalho dos controladores e emissões de CO<sub>2</sub>;
- c) A escolha dos dias representativos dos cenários utilizados nas simulações foi deliberada em sete, tomando em conta como fator único os dias identificados como os de maiores atrasos nos RDSOs de 2014; e
- d) Para efeito da confiabilidade dos resultados e mitigação das incertezas, a pesquisa preocupou-se com a representatividade e validade dos dados utilizados, buscando-os em instituições com elevado nível de credibilidade e analisando-os com cuidado para garantir a integridade da amostra usada. Além disso, empregou o modelador TAAM, um software validado e amplamente utilizado por organizações nacionais e internacionais em simulações de tráfego aéreo. Adiciona-se a esses dois quesitos o emprego do *Tier 3* como técnica mais precisa para o cálculo das emissões e a utilização da sistemática de simulação descrita por Boesel et al., (2001), sugerida para o TAAM.

Com base nesses pontos, são obtidas as seguintes conclusões:

a) Quanto às condições meteorológicas adversas

Dos sete dias de 2014 selecionados em função dos maiores atrasos no tráfego aéreo nacional, quatro possuíam sistemas sinóticos que atuavam dentro da área de interesse do estudo. Três deles sofriam atuação de massas de ar frio (inverno) ou quente (verão), produzindo efeitos adversos ao voo, tais como restrições de teto e visibilidade pela manhã e convecções intensas à tarde, respectivamente.

Observa-se ainda que, desses sete cenários de mau tempo selecionados, cinco ocorreram em meses de verão, o que está de acordo com o que dizem Robinson et al. (2004, citado por DELAURA et al., 2008), em relação às atividades convectivas que atuam como principal condição meteorológica que afeta o tráfego aéreo. Para os outros dois dias, um ocorreu em um mês de outono e o outro, em um mês de inverno.

Assim, percebe-se que a presença de condições adversas de tempo, dentro e/ou fora da área de estudo, promoveram uma mudança significativa no gerenciamento de fluxo das aeronaves em voo. Chamam a atenção os impactos observados principalmente nas rodadas 5 e 8.

É importante destacar a diferença marcante entre as características de tempo apresentadas na TMA-SP e na TMA-RJ. Na TMA-SP, os sistemas meteorológicos considerados nas simulações apresentaram-se mais intensos e melhor definidos quando comparados ao que se observou na TMA-RJ. Isso provoca resultados ligeiramente distintos quanto à carga de trabalho dos controladores nas duas áreas terminais.

b) Quanto à carga de trabalho dos controladores

Quando se considera um dia completo de 1.440 minutos de operação e tomando como base a definição de sobrecarga de trabalho dos ATCOs estabelecida conceitualmente pela metodologia CAPAN e por esta tese, identifica-se que as condições meteorológicas estudadas não promovem condições críticas de operação em qualquer dos setores da TMA-SP e da TMA-RJ. Ou seja, considerando todos os setores avaliados, em nenhum caso a

carga de trabalho dos controladores atingiu o valor de 1.008 minutos diários, correspondente a 70% da carga laboral diária, em consequência da presença de mau tempo dentro e/ou fora da região de estudo.

Contudo, ao se analisar os perfis horários de cada setor, e levando-se em conta a metodologia CAPAN, observa-se que a presença de mau tempo provoca a sobrecarga de trabalho não controlada nos setores SP-06, SP-08, SP-09 GR, e SP-10 SP em horários específicos, principalmente na rodada 5. Chama a atenção que a carga laboral nesses setores da TMA-SP já é observada como elevada na rodada 1 de referência.

Para a TMA-RJ, o impacto observado se apresenta de modo distinto. Percebe-se que o mau tempo, principalmente fora da TMA-SP, gera um ligeiro predomínio de diminuição na carga laboral, sendo o setor RJ-02 o que apresenta as melhores variações. O cenário de mau tempo presente na rodada 2 foi o que apresentou o maior impacto nos resultados na TMA-RJ.

Também vale enfatizar algumas rodadas e horários onde é possível perceber a diminuição da carga de trabalho dos ATCOs na TMA-SP. Ou seja: no setor SP-02, entre 11:00 UTC e 17:00 UTC, na rodada 5; no setor SP-05, entre 15:00 UTC e 19:00 UTC na rodada 8; no setor SP-06, entre 13:00 UTC e 15:00 UTC na rodada 5, e entre 15:00 UTC e 19:00 UTC na rodada 8; e no setor SP-10 SP, entre 13:00 UTC e 15:00 UTC na rodada 5. Nesse contexto, observa-se uma tendência de deslocamento da demanda de tráfego aéreo do horário da manhã, com maior presença de teto baixo e restrição de visibilidade, para a tarde, onde essas condições de tempo eram menos impactantes. Também é possível verificar o deslocamento de parte do tráfego aéreo de um setor para outro em função do mau tempo.

Em rodadas e setores com sobrecarga de trabalho não controlada, mas sem condições adversas de tempo, identifica-se que a demanda de aeronaves ocorreu em horários específicos em decorrência da dinâmica empregada pelo simulador. Essa demanda produziu esperas devido ao emprego de regras existentes no TAAM. Elas solucionaram conflitos dentro dos setores gerados pelo mau tempo existente, principalmente fora das áreas analisadas. O objetivo foi adequar a demanda advinda de outras regiões do país e permitir o sequenciamento adequado de pousos e decolagens nos aeroportos,

considerando-se as limitações de disponibilidade de pátio e/ou capacidade do espaço aéreo na região de estudo. Isso é considerado parâmetro básico e indispensável para a manutenção da segurança nas operações aéreas.

Nesses casos, quando a condição de mau tempo esteve localizada fora da região estudada, ela impactou aeroportos importantes. Isso gerou uma demanda reprimida de voos que sofreram ações de gerenciamento de fluxo ao se aproximar e ao adentrar a TMA-SP, principalmente no período da tarde, quando em presença de nebulosidades convectivas. O melhor exemplo dessa situação pode ser observado nos resultados relativos à rodada 3, com sua respectiva condição de tempo. Nesse sentido, caberá a realização de mais estudos para obter mais e melhores informações sobre como o mau tempo, que ocorre fora da região de estudo, interfere na carga laboral dos setores dentro dessa região.

Como conclusão sobre o impacto que as condições de tempo adversas promovem sobre a carga de trabalho dos controladores nas áreas terminais de São Paulo e Rio de Janeiro, é possível concordar parcialmente com a hipótese de trabalho desta tese. Afinal, foi encontrado aumento da carga laboral na TMA-SP, porém há ligeira diminuição da carga laboral na TMA-RJ.

Assim, os resultados obtidos sobre o impacto das condições meteorológicas de mau tempo sobre a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo abrem a possibilidade de se iniciar estudos que proponham ações táticas operacionais no CGNA, bem como estabelecer novas linhas de pesquisas acadêmicas que relacionem condições meteorológicas às atividades de gerenciamento de tráfego aéreo. Isso contribuirá para novas propostas de planejamento da segurança e eficiência operacional, no contexto do transporte aéreo nacional.

#### c) Quanto às emissões de CO<sub>2</sub>

Durante a análise dos resultados, percebe-se que a presença de condições meteorológicas adversas ao voo, apresentadas no Capítulo 7, dentro e fora da região do escopo desta tese, aumenta a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> na TMA-SP e na TMA-RJ em todos os sete casos estudados. É importante

destacar que isso ocorre quando considerado um dia que é representativo da média do movimento de tráfego aéreo da semana, ou seja, uma terça-feira.

O aumento encontrado varia entre 9% e 13%, 8% e 15%, e 9% e 11%, quando se considera a TMA-SP e a TMA-RJ juntas, somente a TMA-SP, e somente a TMA-RJ, respectivamente. Em termos quantitativos, isso representa valores estimados que variam de mais de 3.900 toneladas a mais de 4.000 toneladas diárias de CO<sub>2</sub> na área total de estudo.

Quando se analisam os resultados obtidos nos setores das TMAs, também se verifica o aumento das emissões na maioria deles, independentemente da rodada considerada (ver Tabelas 8.8 e 8.13). Isso ocorre devido principalmente à maior permanência dos voos dentro dos setores, realizando esperas que são provocadas por ações de gerenciamento de fluxo e por desvios devido à presença de formações convectivas. Outra condição que elevou o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> é a alteração no número de voos com perfil de menor gasto de combustível para o de maior gasto. Esse caso está relacionado aos tipos de aeronaves que adentram, voam e saem dos setores, durante procedimentos de subida e/ou rota e/ou descida e/ou a adoção de medidas pelo simulador nesse sentido.

Individualmente, os três setores com as maiores emissões na TMA-SP, em ordem decrescente, são: o setor SP-08, por ser o maior deles; o setor SP-09 GR, devido ao número de voos realizados que chegam e saem do Aeroporto de Guarulhos (SBGR); e o setor SP-02, em função de suas condições operacionais, sendo que a maioria dos voos que transitam por ele está em procedimento de subida em direção à Região de Informação de Voo de Curitiba (*Flight Information Region - FIR-CW*).

Na TMA-RJ, os dois setores que se destacam com a maior quantidade de emissões, em ordem decrescente, são: o setor RJ-02, por ser o maior deles; e o setor RJ-06 GL, devido ao número de voos realizados que chegam e saem do Aeroporto do Galeão (SBGL).

Em se tratando dos efeitos das condições meteorológicas adversas, é possível afirmar que elas contribuem significativamente para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> quando os fenômenos meteorológicos ocorrem fora da TMA-SP e

TMA-RJ. Essa característica parece estar diretamente vinculada às ações de gerenciamento do tráfego aéreo realizadas com a finalidade de ordenar os voos que advêm de outras regiões em direção aos maiores e mais movimentados aeroportos do país (ANAC, 2014). Quando se analisa o impacto do mau tempo sobre os setores, individualmente, em ambas as TMAs, percebe-se o deslocamento dos voos de um setor para outro em decorrência da presença de condições convectivas, por meio de desvios. Isso ocorre inclusive para setores que não estão no escopo deste trabalho, fato que contribui para determinadas situações de diminuição da estimativa de emissões em setores considerados nesta tese.

Dessa forma, é possível afirmar que o mau tempo impacta com o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> nas duas áreas de controle terminal analisadas neste trabalho, fato que concorda com a hipótese de trabalho utilizada.

É importante dizer, ainda, que todos os resultados obtidos neste estudo consideram apenas o movimento de tráfego aéreo civil regular. Isso sugere que eles poderão ser significativamente majorados quando da realização de simulações que considerem também os demais tipos de aviação (voos não regulares e aviação militar).

Dessa forma, entende-se que os resultados obtidos nesta tese poderão contribuir sobremaneira para a melhoria das decisões operacionais que favorecem a fluidez, economia e segurança do transporte aéreo, fato almejado pela ICAO e pelo DECEA. Além disso, eles auxiliarão na melhoria da precisão do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa e apresentam mais informações de relevância para o desenvolvimento de outros estudos sobre forçante radiativa e mudanças climáticas locais.

## 10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, faz-se necessário propor novos trabalhos com o objetivo de complementar e ampliar conhecimentos sobre a carga de trabalho de controladores e emissões por aeronaves, levando-se em conta diversos fatores que contribuem para suas respectivas variações.

Propõem-se, dessa forma, trabalhos com as seguintes orientações:

- (1) Desenvolver estudo do impacto da presença de condições meteorológicas adversas que considere todos os voos da aviação geral, helicópteros e aviação militar, visando complementar o estudo ora produzido;
- (2) Pesquisar impactos na carga de trabalho e nas emissões quando da ocorrência de mudança de cabeceiras de pistas decorrentes de alterações nas condições de tempo e/ou vento nos aeroportos definidos neste estudo;
- (3) Com base em condições adversas de tempo estatisticamente mais frequentes, pesquisar soluções apropriadas para minimizar os impactos sobre a carga de trabalho dos controladores e/ou emissões nas regiões entre São Paulo e Rio de Janeiro, utilizando-se do TAAM;
- (4) Desenvolver trabalho sobre o impacto das emissões de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, e NO<sub>x</sub> sobre a forçante radiativa no trecho compreendido entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro;
- (5) Estudar o impacto proporcionado sobre as emissões quando se considera o efeito do vento, na rota entre o Rio de Janeiro e São Paulo;
- (6) Desenvolver pesquisa sobre como as condições meteorológicas adversas que ocorrem fora de uma determinada área de estudo impactam a carga de trabalho e as emissões de CO<sub>2</sub> na área de estudo;
- (7) Pesquisar sobre o comportamento dos pilotos que voam no espaço aéreo brasileiro quando em presença de nuvens Cb em rota e nas fases de decolagem e pouso;
- (8) Desenvolver pesquisa para a inclusão do cálculo de consumo de combustível por aeronave, durante todas as fases de voo, no Sistema

Avançado de Gerenciamento de Informações de Tráfego Aéreo e Relatórios de Interesse Operacional (SAGITÁRIO), presentes nos CINDACTAs;

- (9) Estudar os impactos ambientais proporcionados por modificações em procedimentos de voos em rotas e/ou de pousos e decolagens nos aeroportos de Guarulhos, Congonhas, Galeão, Santos Dumont, Brasília e Confins, considerando aspectos de segurança e fluidez do tráfego aéreo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Anuário do transporte aéreo 2014**. Brasília, ANAC: 2014a. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-do-anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

\_\_\_\_\_. **Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil 2014**. Brasília: ANAC, 2014b. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/publicacoes/inventario\\_nacional\\_de\\_emissoes\\_atmosfericas\\_da\\_aviacao\\_civil.pdf](http://www.anac.gov.br/publicacoes/inventario_nacional_de_emissoes_atmosfericas_da_aviacao_civil.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2016.

ARAUJO, G. S. M. Modelagem e mensuração do nível de emissões por etapa de voo. **Sitraer** 7, p. 551-563, 2008. Disponível em: <<http://www.tgl.ufrj.br/viisitraer/pdf/502.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

ASHFORD, N. J. et al. **Airport engineering**: planning, design and development of 21st century airports. 4th Edition. Hoboken: Wiley, 2011. p. 768. ISBN-10: 470398558. ISBN-13: 978-0470398555.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) e BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). **Guia metodológico para a realização de inventários em emissões de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro, RJ: 2013. 30p. Disponível em: <<http://abnt.org.br/ghg/images/downloads/guametodologicopublicacao.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

BAIK, H. **Development of optimization and simulation models for the analysis of airfield operations**. 2000. 273 p. Dissertation (Doctor of Philosophy in Civil Engineering). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2000. Disponível em: <<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-06302000-00270039/unrestricted/all.PDF>>. Acesso em 03 jul 2017.

BARNHART, C et al. Demand and capacity management in air transportation. Research Paper. **EURO J Transp Logist**, v. 1, p. 135–155, 2012. Doi 10.1007/s13676-012-0006-9.

BAUM, D. M.; MÜLLER, C. Análise da relação de carga de trabalho do APP-SP com a complexidade da TMA-SP, através de ferramenta computacional. **Sitraer** 7, p. 469-481, 2008.

BETIOLO, C. R et al. Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO<sub>2</sub>. In: SITRAER 8., RIDITA 2., São Paulo, 2009. **Anais...** São José dos Campos: ITA, 2009. Disponível em: <[http://www.dcabr.org.br/download/publicacoes-tecnicas/Iniciativas\\_da\\_Aviacao\\_para\\_Reducacao\\_das\\_Emissoes\\_de\\_CO2.pdf](http://www.dcabr.org.br/download/publicacoes-tecnicas/Iniciativas_da_Aviacao_para_Reducacao_das_Emissoes_de_CO2.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2016.

BOESEL, J. et al. **TAAM best practices guidelines**. MITRE Technical Report. Center for Advanced Aviation System Development. McLean: MITRE, 2001. Disponível em: <[https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/gladstone\\_taam.pdf](https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/gladstone_taam.pdf)>. Acesso em: 20 dez.2001.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ensino da Aeronáutica. Portaria DECEA Nº 84/DGCEA, de 14 de junho de 2016. Aprova a edição da Instrução sobre a “Organização e a Operação das Estações Meteorológicas de Superfície” (ICA 105-15). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 109, 2016.

BRASSEUR, G. P. et al. Impact of aviation on climate FAAs Aviation climate change research initiative phase II. American Meteorological Society. **Journals Online**, Boston: AMS, 2016. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-13-00089.1>>. Acesso em 22 out. 2016.

BRITO, T. F. M.; SOUSA JUNIOR, W. C. Emissões atmosféricas do setor aeroespacial no Brasil. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 15., 2009, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: ITA, 2009. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xvencita/civil/07.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

BROOKER, P. Control workload airspace capacity and future systems. **Human Factors and Aerospace Safety**, v. 3, n. 1, p. 1-23. Sidney: UNSW, 2003. Disponível em: <<https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/2156/3/Controller%20Workload-2003.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

CASTRO, C. A.; SCOTT, B. N. **Simulation and modeling**: a comparative analysis of tailored arrival procedures. Daytona Beach: NEAR, 2012. Disponível em: <[http://www.near.aero/current/Docs/ISIATM\\_2012\\_Simulation\\_and\\_Model...nd\\_Modeling.pdf](http://www.near.aero/current/Docs/ISIATM_2012_Simulation_and_Model...nd_Modeling.pdf)>. Acesso em: 23 set.2015.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA (CGNA). **Portal operacional**. Plano de Voo Repetitivo. Rio de Janeiro: CGNA, 2016. Disponível em: <<http://portal.cgna.gov.br/#rpl-tpanel>>. Acesso em 03 jan. 2017.

\_\_\_\_\_. **Relatórios de situação diária**. Rio de Janeiro: CGNA, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (INPE/CPTEC). **Satélites**. Banco de dados de imagens. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. 2017. Website. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

CONSIGLIO, M. C. et al. Integration of weather avoidance and traffic separation. In: DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE (DASC), 30., 2011, Seattle. **Proceedings...** Reston: AIAA, 2011. DOI: 10.1109/DASC.2011.6096050.

DAGGETT, D. L. et al. **An evaluation of aircraft emissions inventory methodology by comparisons with reported airline data**. Greenbelt: NASA. Langley Research Center. 1999. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19990092373.pdf>>. Acesso em 22 out.2016.

DELAURA, R. et al. **Modeling convective weather avoidance in enroute airspace**. Lexington: MIT/ Lincoln Laboratory, 2008. Disponível em: <[https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/DeLaura\\_2008\\_ARAM\\_MS-28499\\_WW-14161.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/DeLaura_2008_ARAM_MS-28499_WW-14161.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2016.

DELAURA, R.; EVANS, J. **An exploratory study of modeling enroute pilot convective storm flight deviation behavior**. Lexington: MIT/ Lincoln Laboratory, 2006. Project Report NASA/A-6. Disponível em: <[https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/nasa-reports/DeLaura\\_2006\\_NASA-A6\\_WW-12670.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/nasa-reports/DeLaura_2006_NASA-A6_WW-12670.pdf)>. Acesso em 16 mar. 2016.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Gerenciamento de tráfego aéreo. **Website**. Rio de Janeiro: DECEA, 2016a. Disponível em: [http://www.decea.gov.br/?page\\_id=164](http://www.decea.gov.br/?page_id=164). Acesso em: 28 de janeiro de 2016.

\_\_\_\_\_. **Regras do ar**. ICA 100-12. Rio de Janeiro: DECEA, 2016b. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 160, de 26 de agosto de 2014. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4429>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. **Simulação ATM no âmbito do SISCEAB**. ICA 100-42. Rio de Janeiro: DECEA, 2016c. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 167, de 29 de setembro de 2014. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4429>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. **Capacidade do espaço aéreo**. ICA 100-17. Rio de Janeiro: DECEA, 2014a. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 160, de 16 de agosto de 2014. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4065>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Serviços de tráfego aéreo**. ICA 100-37. Rio de Janeiro: DECEA, 2014b. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 92, de 19 de maio de 2014.

\_\_\_\_\_. **Serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo**. ICA 100-22. Rio de Janeiro: DECEA, 2010. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 108, de 11 de junho de 2010. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=3476>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

ELIAS, D et al. **Can TAAM wear camouflage?** Preston Aviation Solutions Pty Ltd. Glen Iris Victoria: Boeing, 2005. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.117.7939>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Evaluation of air pollutant emissions from subsonic commercial jet aircraft**. Air and Radiation. EPA420-R-99-013. Final Report. Ann Arbor: EPA, 1999. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/otaq/regs/nonroad/aviation/r99013.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

ERZBERGER, H. **Transforming the NAS: the next generation air traffic control system**. Ames Research Center. Moffett Field: NASA, 2004. NASA/TP-2004-212828.

EUROCONTROL. Fast-time simulation tools. **EUROCONTROL Website**. Brussels: EUROCONTROL, 2016. Disponível em: <[http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard\\_page/WP\\_Fast\\_Time\\_Simulation\\_Tools.html](http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/WP_Fast_Time_Simulation_Tools.html)>. Acesso em 20 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Comparison of different workload and capacity measurement methods used in CEATS simulations:** comparison of SAAM 3; FTS 3, SSRTS3 and CEATS2007 UAC capacity. Research, Development and Simulation Centre. Budapest – Hungary. EUROCONTROL, 2003a.

\_\_\_\_\_. **Pessimistic sector capacity estimation.** EEC Note N° 21/03. Project COCA. Network Capacity and Demand Management – NCD. Centre de Bois des Bodes: EUROCONTROL, 2003b.

\_\_\_\_\_. **TAAM operational evaluation.** EEC Report N° 351. Project SIM-S-E8. Centre de Bois des Bodes: EUROCONTROL, 2000.

EVANS, J. E.; DUCOT, E. R. Corridor integrated weather system. **MIT Lincoln Laboratory Journal**, v. 16, n. 1, pp. 59–80, 2006.

EVANS, J. E. et. al, Quantifying Convective Delay Reduction Benefits for Weather/ATM Systems. **Air Traffic Control Quarterly**, v. 14, n. 1, pp. 69-93, 2006.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Aviation emissions, impacts & mitigation:** a primer. Washington: FAA/ Office of Environmental and Energy, 2015. Disponível em: <[http://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/Primer\\_Jan2015.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/Primer_Jan2015.pdf)>. Acesso em 20 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Report of the weather-ATM integration working group.** Research, Engineering and Development Advisory Committee. Washington: FAA, 2007. Disponível em: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa\\_host/RDM/media/pdf/Report-WeatherWorkingGroup.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa_host/RDM/media/pdf/Report-WeatherWorkingGroup.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.

FRANCISCO, W. C. **Região Sudeste.** Brasil Escola, 2017. Website. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-regiao-sudeste.htm>>. Acesso em 23 mar. 2017.

FRÖMMING, C. et al. Aviation-induced radiative forcing and surface temperature change in dependency of the emission altitude. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, 2012. doi:10.1029/2012JD018204, 2012. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/77973/1/jgrd18038.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

GAN, B. **Aviation the wings of (climate)-change.** London: Schrodgers, 2016. p. 14. Disponível em: <<http://www.schrodgers.com/en/SysGlobalAssets/email/international/2016/2016-08-aviation-the-wings-of-climate-change.pdf>>. Acesso em 22. out. 2016.

GRAVER, B.; FREY, H.C. Estimation of air carrier emissions at raleigh-durham international airport. In: ANNUAL CONFERENCE AND EXHIBITION, AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, 102., 2009, Detroit. **Proceedings...** Pittsburgh: AWMA, 2009. p. 16-19. Paper 2009-A-486-AWMA. Disponível em: [http://www4.ncsu.edu/~frey/conf\\_pr/2009-A-486-AWMA.pdf](http://www4.ncsu.edu/~frey/conf_pr/2009-A-486-AWMA.pdf). Acesso em 20 out. 2016.

HOFFMAN, J. H. **Effect of the New York/New Jersey/Philadelphia airspace redesign on aircraft fuel consumption**. Appendix R. Center for Advanced Aviation System Development. McLean: MITRE, 2007. Disponível em: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/nas/nynjphl\\_redesign/documentation/feis/media/Appendix\\_R\\_EffectoftheNewYorkNewJerseyPhiladelphiaAirspa~C57.pdf](https://www.faa.gov/air_traffic/nas/nynjphl_redesign/documentation/feis/media/Appendix_R_EffectoftheNewYorkNewJerseyPhiladelphiaAirspa~C57.pdf). Acesso em: 20 dez. 2016.

HOWITT O. J. A. et al. Carbon dioxide emissions from international air freight. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 39, p. 7036-7045, Dec 2011. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.09.051. Disponível em: <[http://www.physics.otago.ac.nz/space/howitt\\_et\\_al\\_in\\_2011\\_pers\\_rev\\_ver.pdf](http://www.physics.otago.ac.nz/space/howitt_et_al_in_2011_pers_rev_ver.pdf)>. Acesso em 22 out. 2016.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). Air traffic management. Environment. Montreal: IATA, 2016. Website. Disponível em: <<http://www.iata.org/Pages/air-traffic-management.aspx>>. Acesso em 16 dez. 2016.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Strategic objectives**. Uniting Aviation. A United Nations Specialized Agency. Montreal: ICAO, 2017. Website. Disponível em: <<http://www.icao.int/about-icao/Council/Pages/Strategic-Objectives.aspx>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

\_\_\_\_\_. Environment. Local air quality. **Website**. Montreal: ICAO, 2016. Disponível em: <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/local-air-quality.aspx>. Acesso em 21 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Airport air quality manual**. Doc nº 9889. First Edition. Montreal: ICAO, 2011. Disponível em: <<http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/FINAL.Doc%209889.1st%20Edition.alltext.en.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

\_\_\_\_\_. International Standards and Recommended Practices. **Environmental protection**. Aircraft Engine Emissions. Annex 16. Volume II. Third Edition. Montreal: ICAO, 2008. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/004/icao annex.16.v2.2008.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Science update**: effects of aircraft emissions on climate and local air quality. Montreal: ICAO, 2007. Information Paper. CAEP/7-IP/8. 2007.

IONEL, D et al. Measuring Air Pollutants in an International Romania Airport with Point and Open Path Instruments. **Romanian Journal of Physics**., v. 56, nº. 3–4, p. 507–519, 2009. Disponível em: <[http://www.nipne.ro/rjp/2011\\_56\\_3-4/0507\\_0519.pdf](http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_3-4/0507_0519.pdf)>. Acesso em 22 out. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Chapter 3. Uncertainties. Geneva: IPCC, 2006. Geneva: IPCC, 2006. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1\\_Volume1/V1\\_3\\_Ch3\\_Uncertainties.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf)>. Acesso em 22 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Chapter 6. Quantifying Uncertainties in Practice. Geneva: IPCC, 2001. Disponível em: <[http://old.grida.no//climate/ipcc\\_tar/wg1/pdf/tar-06.pdf](http://old.grida.no//climate/ipcc_tar/wg1/pdf/tar-06.pdf)>. Acesso em 22 out. 2016.

JARDINE, C. N. **Calculating the carbon dioxide emissions from flights**. Oxford: Environmental Change Institute, 2009. Disponível em: <<http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/jardine09-carboninflight.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

JEPPESEN. **Total Airspace and Airport Modeller (TAAM)**. Product Profile. A Boeing Company. Austrália: JEPESSEN, 2015. Disponível em: <http://ww1.jepesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **TAAM repórter user manual**, A Boeing Company, v. 4.1. Austrália: JEPESSEN, 2008.

KLEIN, A. et al. Weather forecast accuracy: study of impact on airport capacity and estimation of avoidable costs. In: USA/EUROPE AIR TRAFFIC MANAGEMENT RESEARCH AND DEVELOPMENT SEMINAR (ATM2009), 8., 2009. Napa. **Proceedings...** Brussels: EUROCONTROL, 2009. p. 10.

KLIMENKO, V.; KROZEL, J. Clear-air turbulence impact modeling based on flight route analysis. In: AIAA GUIDANCE, NAVIGATION, AND CONTROL CONFERENCE, GUIDANCE, NAVIGATION, AND CONTROL, 2011, Portland, **Proceedings...** Reston: AIAA, 2011. p. 13. Disponível em: <<http://enu.kz/repository/2011/AIAA-2011-6513.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2015.

KNORR, D.; WALTER, L. Trajectory uncertainty and the impact on sector complexity and workload. In: SESAR INNOVATION DAYS, 1., 2011, Toulouse, **Proceedings...** Brussels: EUROCONTROL, 2011. p. 8. Disponível em: <<http://sesarinnovationdays.eu/files/SIDs/SID%202011-04.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

KROZEL, J. Summary of weather-ATM integration technology. In: AVIATION, RANGE AND AEROSPACE METEOROLOGY SPECIAL SYMPOSIUM ON WEATHER-AIR TRAFFIC MANAGEMENT INTEGRATION, 2., 2011, Seattle. **Proceedings...** Boston: AMS, 2011.

\_\_\_\_\_. Maximum Flow Rates for Capacity Estimation in Level Flight with Convective Weather Constraints. **Air Traffic Control Quarterly**, v. 15, n. 3, p. 108-119, 2007. Disponível em: <[http://webstaff.itn.liu.se/~valpo40/pages/ATCQ\\_Capacity\\_Estimation.pdf](http://webstaff.itn.liu.se/~valpo40/pages/ATCQ_Capacity_Estimation.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2015.

KULN, K. Analysis of thundrstorm effects on aggregated aircraft trajectories. **Journal of aerospace computing, information, and communication**, v. 5, n. 4, 2008. Aerospace Engineer, NASA Ames Research Center, Moffett, CA 94035. Doi: <http://dx.doi.org/10.2514/1.34830>. Disponível em: <<https://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/publications/modeling/AIAA-34830-352.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

LEE, D.S. et al. Aviation and global climate change in the 21st century. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 3520–3537, 2009. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.024. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/59761/1/lee.pdf>>. Acesso em 22 Out. 2016.

LEE, D.S. et al. The Role of Aviation Emissions in Climate Stabilization Scenarios. In: AVOIDING DANGEROUS CLIMATE CHANGE SYMPOSIUM, 2005, Exeter. **Proceedings...** London: Defra, 2005.

MAJUMDAR, A. e POLAK J. W. Estimating capacity of Europe's airspace using a simulation model of air traffic controller workload. Transportation Research Record. **Journal of the Transportation Research Board**, v. 1744, p. 36, 2001. Doi: 10.3141/1744-05.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). **FAA weather systems**. Lexington: MIT/ Lincoln Laboratory, 2016a. Website. Disponível em: <https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawxsystems/faawxsystems.html>. Acesso em 12 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Weather**: Air traffic management integration. Lexington: MIT/ Lincoln Laboratory, 2016b. Website. Disponível em: <http://www.ll.mit.edu/mission/aviation/wxatmintegration/wxatminteg.html>. Acesso em 12 dez.2016.

MECKIFF, C. et al. The tactical load smoother for multi-sector planning. In: FAA/EUROCONTROL ATM R&D SEMINAR, 2., 1998, Orlando. **Proceedings...** Bretigny-sur-Orge: EUROCONTROL,1998. Disponível em: [http://icrat.org/seminarContent/seminar2/papers/p\\_040\\_FOC.pdf](http://icrat.org/seminarContent/seminar2/papers/p_040_FOC.pdf). Acesso em 12 dez.2016.

MICHALEK, D.; BALAKRISHNAN, H. Dynamic reconfiguration of terminal airspace during convective weather. In: IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL (CDC), 49., 2010, Atlanta. **Proceedings...** Nova Iorque: IEEE, 2010. p. 4875-4881. Doi: 10.1109/CDC.2010.5718007.

\_\_\_\_\_. Identification of robust routes using convective weather forecasts. **Transportation Science**, v. 46, n. 1, p. 56-73, 2009a. Disponível em: <<http://www.mit.edu/~hamsa/pubs/MichalekBalakrishnanATM09.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Building a stochastic terminal airspace capacity forecast from convective weather forecasts. In: AVIATION, RANGE AND AEROSPACE METEOROLOGY SPECIAL SYMPOSIUM ON WEATHER-AIR TRAFFIC MANAGEMENT INTEGRATION, 2009, Phoenix. **Proceedings...** Reston: AvMet, 2009b. Disponível em:< <http://www.mit.edu/~hamsa/pubs/MichalekBalakrishnanAMS09.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2015.

MOGFORT, R. H. et al. **The complexity construct in air traffic control: a review and synthesis of the literature.** Washington: U.S. Department of Transportation, 1995. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Disponível em: <<http://www.tc.faa.gov/acb300/techreports/tn9522.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2015.

NAGAOKA, S. Future developments in ATM – Japan. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES, 25., 2006, Hamburg. **Proceedings...** Bonn: ICAS, 2006. Disponível em: [http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2006/PAPERS/740.PDF](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2006/PAPERS/740.PDF). Acesso em 16 dez. 2016.

NETO, J. L. S. Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n. 1, 2005. São Paulo. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25232/16936>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

OLIVEIRA, J. L. F; AIRES, M. A influência do aeroporto Antônio Carlos Jobim na qualidade do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Engevista**, v. 16, n. 1, 2014. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/597/257>>. Acesso em 22 out. 2016.

OLIVIER, J. G. J. **Inventory of aircraft emissions: a review of recent literature.** London: RIVM, 1991. Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). RIVM Repository. Disponível em: <<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/736301008.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

OPEN GARDENS. **Volcanic ash is injurious to a plane's health: Let us not blame the scientists.** London: FUTURETEXT, 2010. Disponível em [http://www.opengardensblog.futuretext.com/archives/2010/04/volcanic\\_ash\\_is.html](http://www.opengardensblog.futuretext.com/archives/2010/04/volcanic_ash_is.html). Acesso em 12 dez. 2016.

PALLOTTA, M.; NAKAZATO, R. Y. Caracterização de episódios de zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) e zona de convergência de umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2010, Belém. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2010. Disponível em: <[http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca-0523/2014\\_1oS\\_SIN2/pallotta\\_nakazato.pdf](http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca-0523/2014_1oS_SIN2/pallotta_nakazato.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2015.

PAMPLONA, A. D. et al. **Estudo e previsão da emissão de poluentes no aeroporto de Salvador.** In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 24., 2015, Ouro Preto. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2015. Disponível em: <<http://anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC725.pdf>>. Acesso em: 21 out 2016.

PENNER, J. E. et al. **Aviation and the global atmosphere.** Geneva, IPCC, 1999. Website. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/>>. Acesso em 22 Out. 2016.

PHAM, V. V. et al. Aviation emission inventory development and analysis. **Environmental modelling & software**, v. 25, n. 12, p. 1738-1753, 2010. Disponível em: <<http://www.mendeley.com/research/aviation-emission-inventory-development-analysis/>>. Acesso em 23 jun. 2015. ISSN: 1364-8152. DOI:10.1016/j.envsoft.2010.04.004.

PLANO DE VOO NET (2016). Carta ENRC low. **Website**. Disponível em: <<http://www.planodevoo.net/index3.html>>. Acesso em 11 de fev. 2016.

QUAN, C. **Integrated modeling of air traffic, aviation weather, and communication systems**. 2007. 300 p. Dissertation (Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2007. Disponível em: < <https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-05102007-112104/unrestricted/Dissertation.pdf>>. Acesso em 03 jul 2017.

RATLIFF, G et al. **Aircraft impacts on local and regional air quality in the United States**. Cambridge: MIT, 2009. Partnership for Air Transportation Noise and Emissions Reduction Project 15 Final Report. PARTNER-COE-2009-002. Disponível em: <<http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj15/proj15finalreport.pdf>>. Acesso em: 22 out 2016.

REDE DE METEOROLOGIA DA AERONÁUTICA (REDEMET). **Radares meteorológicos**. Rio de Janeiro: DECEA, 2017. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/?i=produtos&p=radares-meteorologicos>. Acesso em: 04 jan. 2017.

RHODA, D. A. et al. Aircraft encounters with thunderstorms in enroute vs terminal airspace above Memphis, Tennessee. In: CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, AND AEROSPACE METEOROLOGY, 10., 2002, Portland. **Proceedings...** Boston: AMS, 2002. Paper 5.13. Disponível em:<[https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Rhoda\\_2002\\_ARAM\\_MS-15308\\_WW-16138.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Rhoda_2002_ARAM_MS-15308_WW-16138.pdf)>. Acesso em 05 out. 2015.

RHODA, D. e PAWLAK, M. L. The thunderstorm penetration / deviation decision in the terminal area. In: Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 8., 1999, Dallas. **Proceedings...** Boston: AMS, 1999a. pp. 308-312. Disponível em:< [https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Rhoda\\_1999\\_ARAM\\_MS-13284\\_WW-18698.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Rhoda_1999_ARAM_MS-13284_WW-18698.pdf)>. Acesso em 09 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **An assessment of thunderstorm penetrations and deviations by commercial aircraft in the terminal area**. Lexington: MIT/ Lincoln Laboratory, 1999b. Project Report NASA – A/2. Disponível em: <[https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/nasa-reports/Rhoda\\_1999\\_NASA-A2\\_WW-10087.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/nasa-reports/Rhoda_1999_NASA-A2_WW-10087.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2015.

ROCHA, A. C. **Estimativa simulada das emissões atmosféricas diárias da aviação civil regular no Brasil em um dia específico**. 2012a. 370 p. IBI: <8JMKD3MGP8W/3BM73ME>. (sid.inpe.br/mtc-m18/2012/04.09.17.35-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3BM73ME>>.

ROCHA, A. C. Estimativa das emissões de dióxido de carbono provenientes da aviação civil regular em um dia específico. In: WORKSHOP DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTRADO DE PERNAMBUCO, 4., 2012, Recife. **Anais...** Recife: UFPe, 2012b. Disponível em: <[http://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/IV\\_Workshop\\_de\\_Mudan%C3%A7a\\_Clim%C3%A1ticas\\_2\\_redemet.pdf](http://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/IV_Workshop_de_Mudan%C3%A7a_Clim%C3%A1ticas_2_redemet.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2016.

SERVIÇO REGIONAL DE PROTEÇÃO AO VOO DE SÃO PAULO (SRPV-SP). **Modelo operacional do controle da aproximação de São Paulo (APP-SP)**. São Paulo: SRPV-SP, 2014a. Portaria SRPV nº 102/OTNO, de 24 de abril de 2014.

\_\_\_\_\_. **Modelo operacional do controle da aproximação do Rio de Janeiro (APP-RJ)**. São Paulo: SRPV-SP, 2014b.

SILVA DIAS, M. A. F. Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a Região Sul do Brasil. **Climanálise Especial**, v. 1, p. 173-179, 1996.

SIMÕES, A. F.; SCHAEFFER, R.. Emissões de CO<sub>2</sub> devido ao transporte aéreo no Brasil. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético. **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://new.sbpe.org.br/artigo/emissoes-de-co2-devido-ao-transporte-aereo-no-brasil/>>. Acesso em 22 out. 2016.

SHEIN, W. **Updated essentials about thunderstorms that every pilot flying IFR needs to know**. WX BRIEF. 2016. Professional Pilot. Website. Disponível em: <[http://www.propilotmag.com/archives/2012/September%2012/A4\\_thunderstorms\\_p1.html](http://www.propilotmag.com/archives/2012/September%2012/A4_thunderstorms_p1.html)>. Acesso em: 20 nov. 2016.

SONG, L. et al. **The Impact of severe weather on sector capacity**. In: USA/Europe AIR TRAFFIC MANAGEMENT RESEARCH AND DEVELOPMENT SEMINAR (ATM2009), 8., 2009, Napa. **Proceedings...** Brussels: EUROCONTROL, 2009. Paper 75. Disponível em:<[http://www.atmseminarus.org/seminarContent/seminar8/papers/p\\_075\\_W.pdf](http://www.atmseminarus.org/seminarContent/seminar8/papers/p_075_W.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2015.

STERN, A. C. et al. **Fundamentals of air pollution**. 2. ed. Orlando: Academic Press Inc. 1984. 530 p. DOI: 10.1002/qj.49711146830.

SUTKUS, D. J. et al. **Scheduled civil aircraft emission inventories for 1999: database development and analysis**. Greenbelt: NASA, 2001. National Aeronautics and Space Administration. Langley Research Center. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20020012699.pdf>. Acesso em 22 out.2016.

SWERIDUK, G.D. et al. Models for aircraft surface operations environmental analysis. In: AIAA AVIATION TECHNOLOGY, INTEGRATION, AND OPERATIONS (ATIO) CONFERENCE, 11., 2011, Virginia Beach. **Proceedings...** Reston: AIAA, 2011. Disponível em: <<https://human-factors.arc.nasa.gov/publications/ATIO-2011-OSI.pdf>>. Acesso em 22 out. 2016.

TEIXEIRA, R. J. G. **Análise do impacto do uso da re-setorização dinâmica na carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo por meio de simulações computacionais**. 2007. f. 158. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação e Sistemas Digitais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2007. Doi: 10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162108

TOBARUELA, G et al. Identifying airspace capacity factors in the air traffic management system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATION AND THEORY OF AUTOMATION IN COMMAND AND CONTROL SYSTEMS (ATACCS), 2., 2012, London. **Proceedings...** London: Imperial College, 2012. Disponível em:< <http://www.hala-sesar.net/sites/default/files/documents/p219-tobaruela.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2016.

TSILINGIRIDIS, G. Aircraft air pollutant emissions in Greek airports. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 4, p. 528-534, 2009. Disponível em: <<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=13405>>. Acesso em: 08 fev. 2016.

UNITED STATES AIR FORCE (USAF). **Weather for aircrews**. Secretary of the Air Force, 2012, v. 1, 234p. Flying Operations. Air Force Handbook 11.203. Disponível em: [http://kirtlandflightcenter.org/wp-content/uploads/Weather\\_For\\_Aircrews.pdf](http://kirtlandflightcenter.org/wp-content/uploads/Weather_For_Aircrews.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.

UNITED STATES NAVY (USN). **JPATS aviation weather booklet**. Ohio: USN, 2008. v. 3.2/Dec 08, 182p. Joint Primary Aircraft Training System. Disponível em: [http://www.netc.navy.mil/nascweb/api/student\\_guides/JPATS\\_Aviation\\_Weather\\_Booklet\\_32.pdf](http://www.netc.navy.mil/nascweb/api/student_guides/JPATS_Aviation_Weather_Booklet_32.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.

WEBER, M. E. et al.. Improving air traffic management during thunderstorms. In: AIAA/IEEE DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE (DASC), 24., 2005, Washington. **Proceedings...** Reston: AIAA, 2005. Disponível em: [https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Weber\\_2005\\_DASC\\_MS-21324\\_WW-12668.pdf](https://www.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Weber_2005_DASC_MS-21324_WW-12668.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.

WINTHER, M.; RYPDAL, K. **EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2016**. Part B: sectoral guidance chapters. European Union: EEA, 2016. Aviation. Energy. Combustion. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. Acesso em 20 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013**. Part B: sectoral guidance chapters. European Union: EEA, 2013. Energy. Combustion. Aviation. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>. Acesso em 20 out. 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva: WMO, 2014. WMO-Nº 8. Switzerland. ISBN 978-92-63-10008-5. Disponível em: [http://library.wmo.int/opac/docnum.php?explnum\\_id=3121](http://library.wmo.int/opac/docnum.php?explnum_id=3121). Acesso em: 15 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Aviation hazards**. Education and training programme. Geneva: WMO, 2007. ETR-20. WMO/TD-No. 1390. Switzerland. Disponível em: [http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo-td\\_1390\\_en.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1390_en.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.

## APÊNDICE A – Imagens de Radar de São Roque

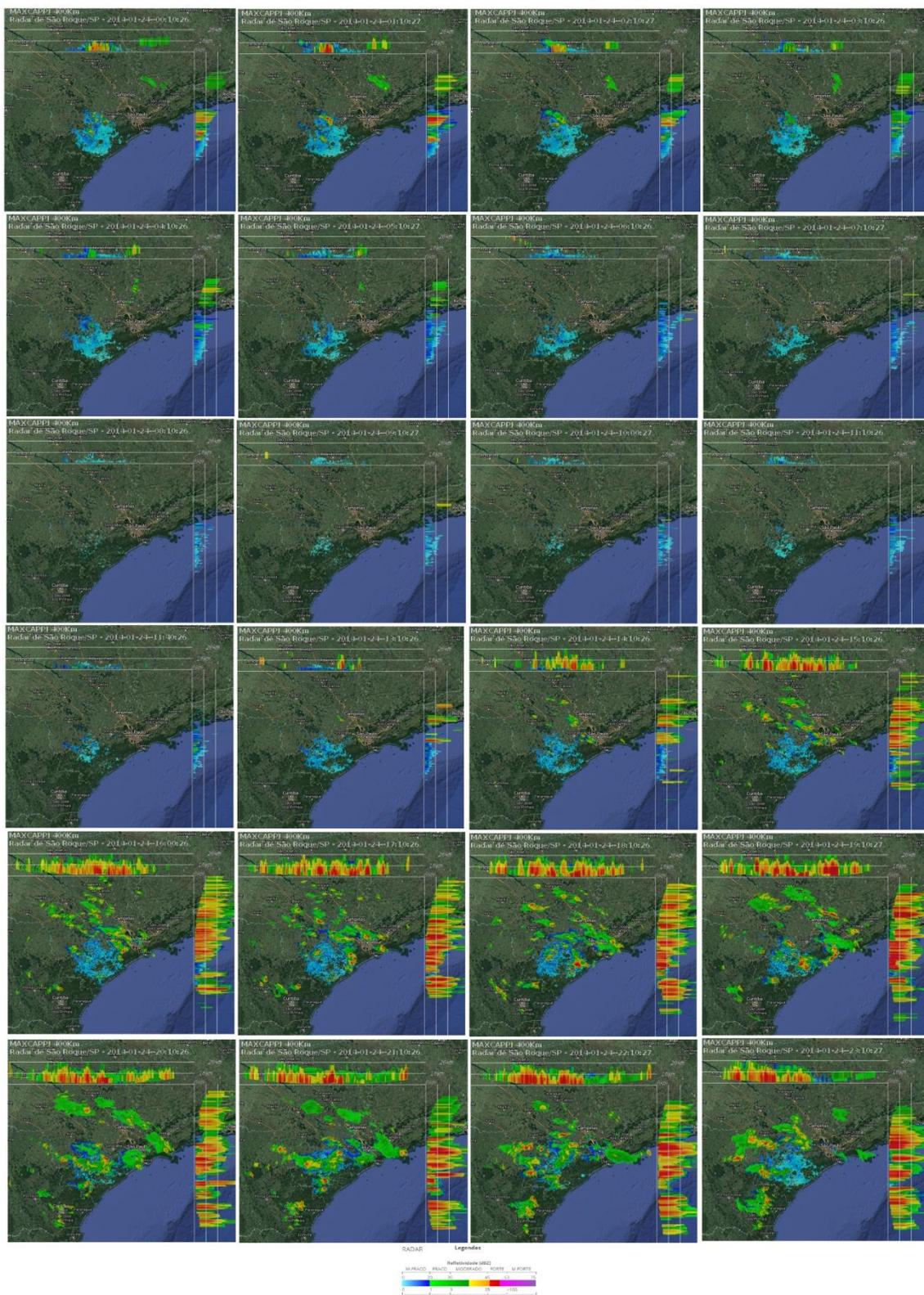
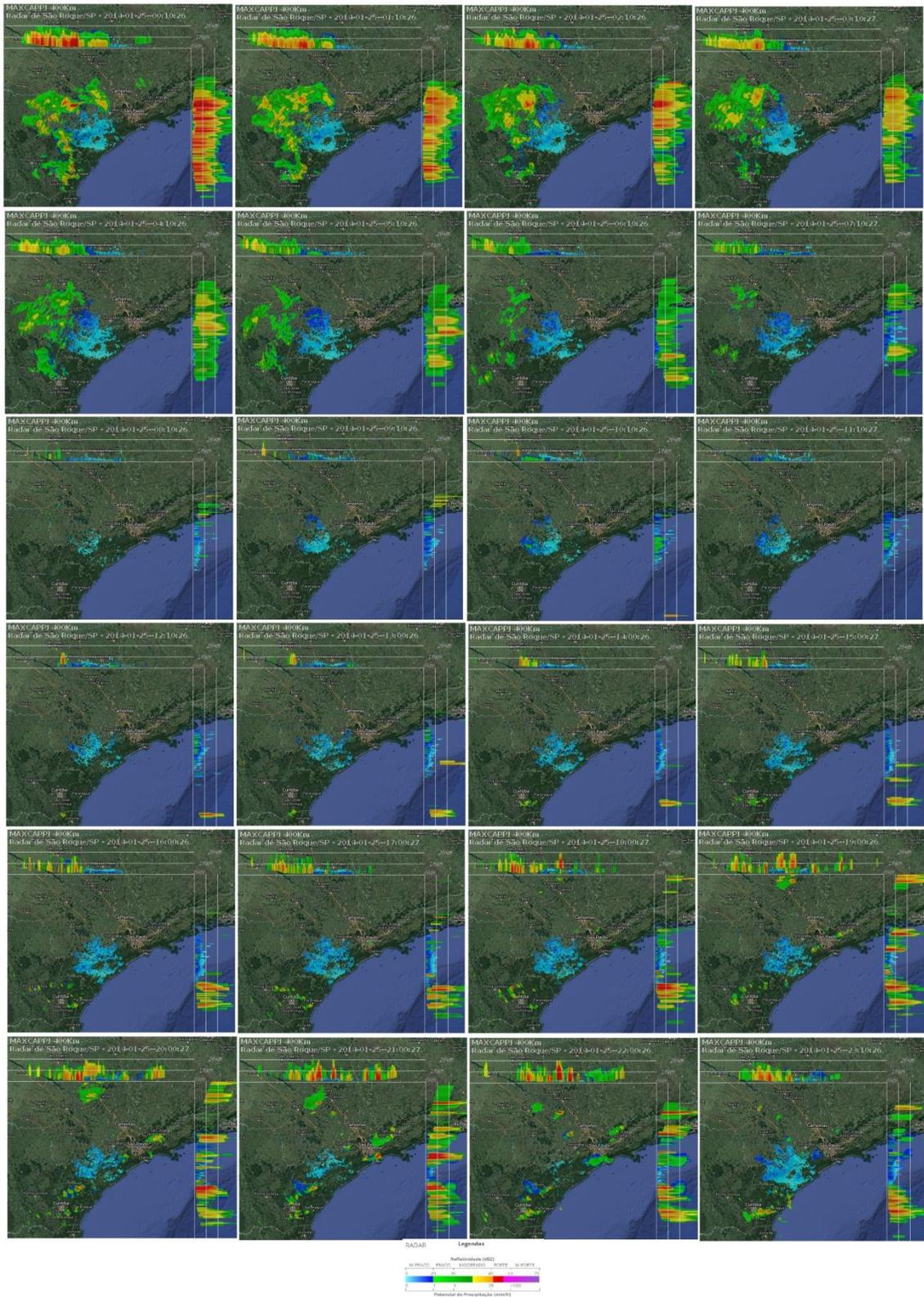
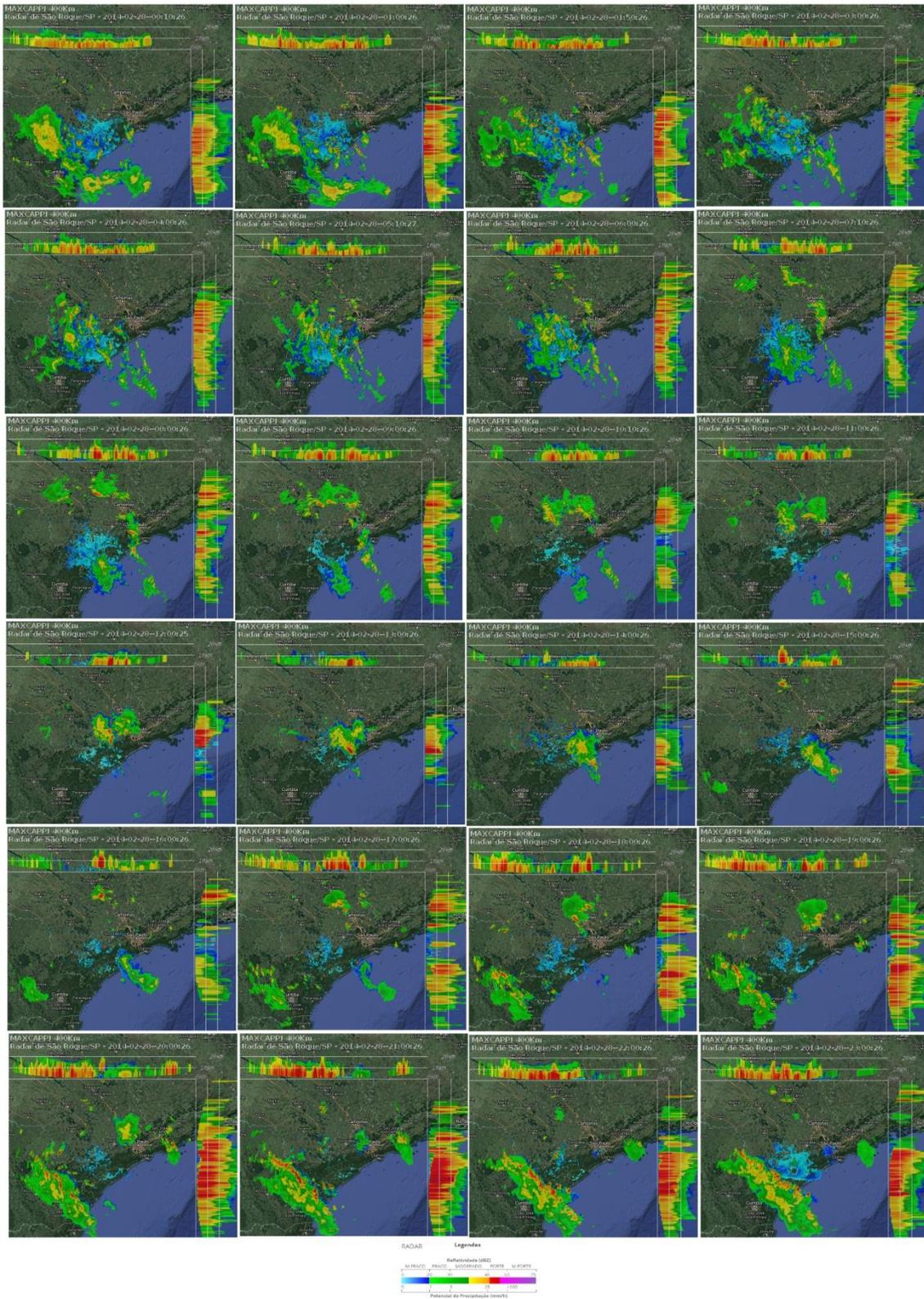


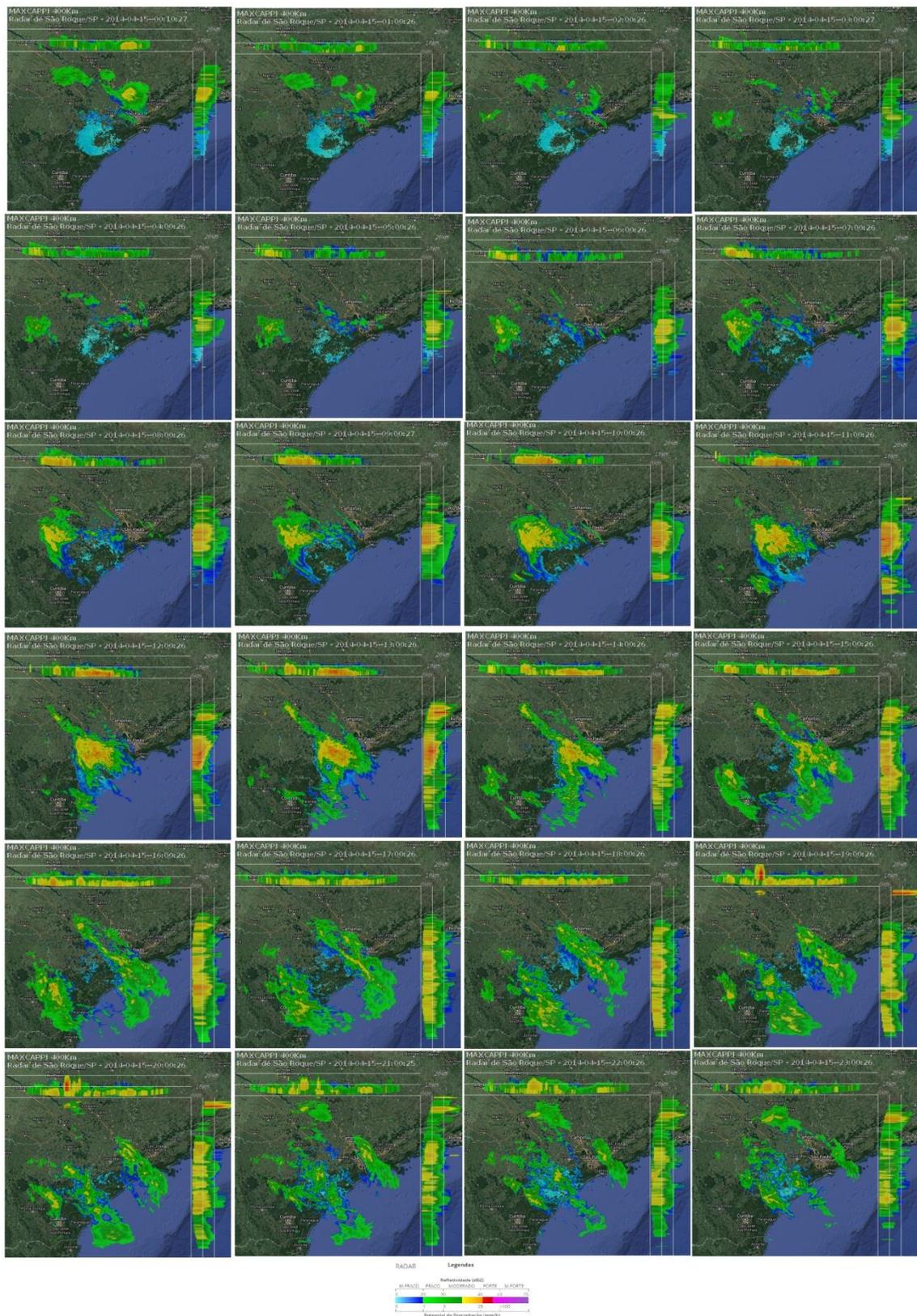
Figura A.1 – Evolução das condições de tempo do dia 24 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
Fonte: REDEMET (2017).



**Figura A.2** – Evolução das condições de tempo do dia 25 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



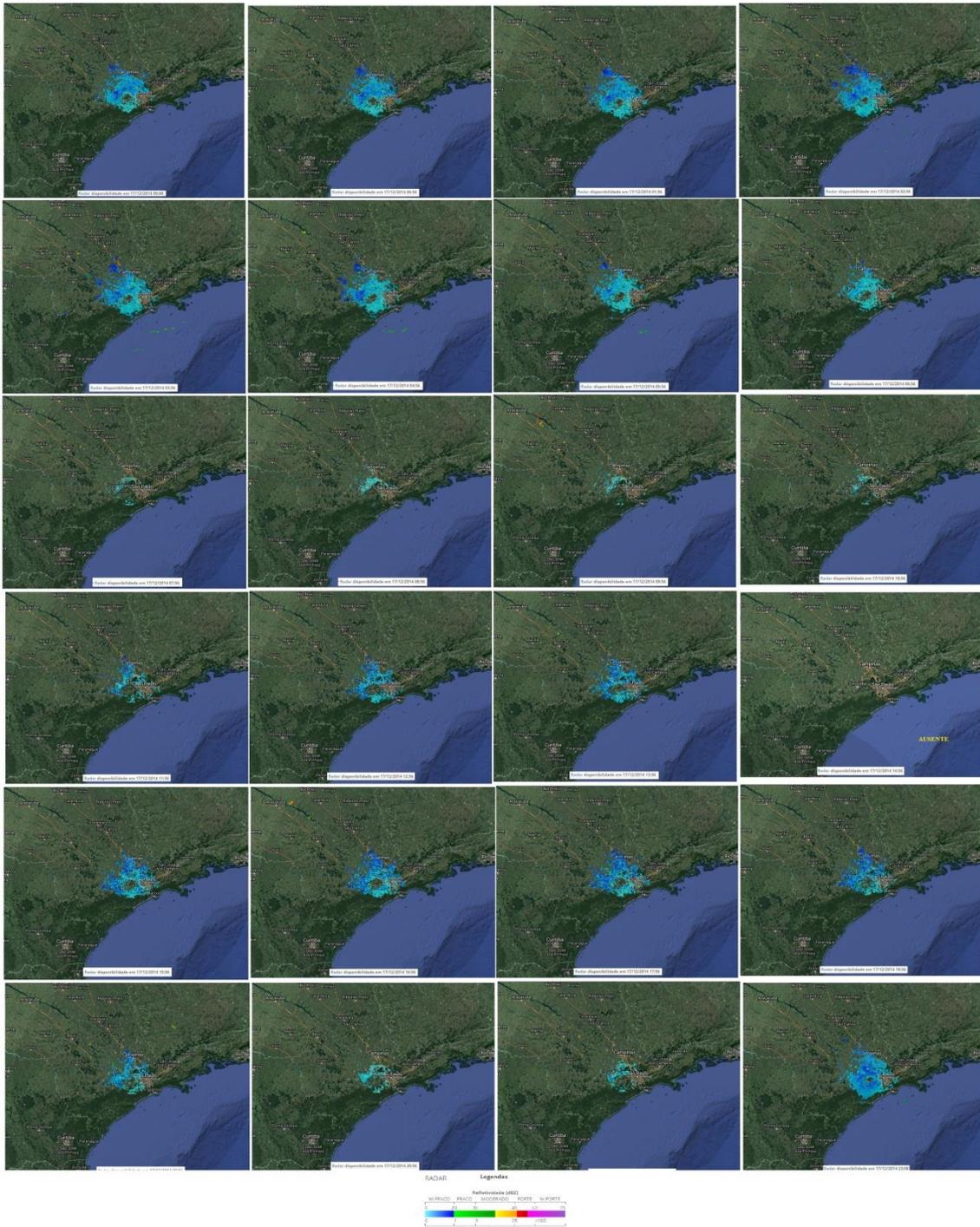
**Figura A.3** – Evolução das condições de tempo do dia 28 de fevereiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



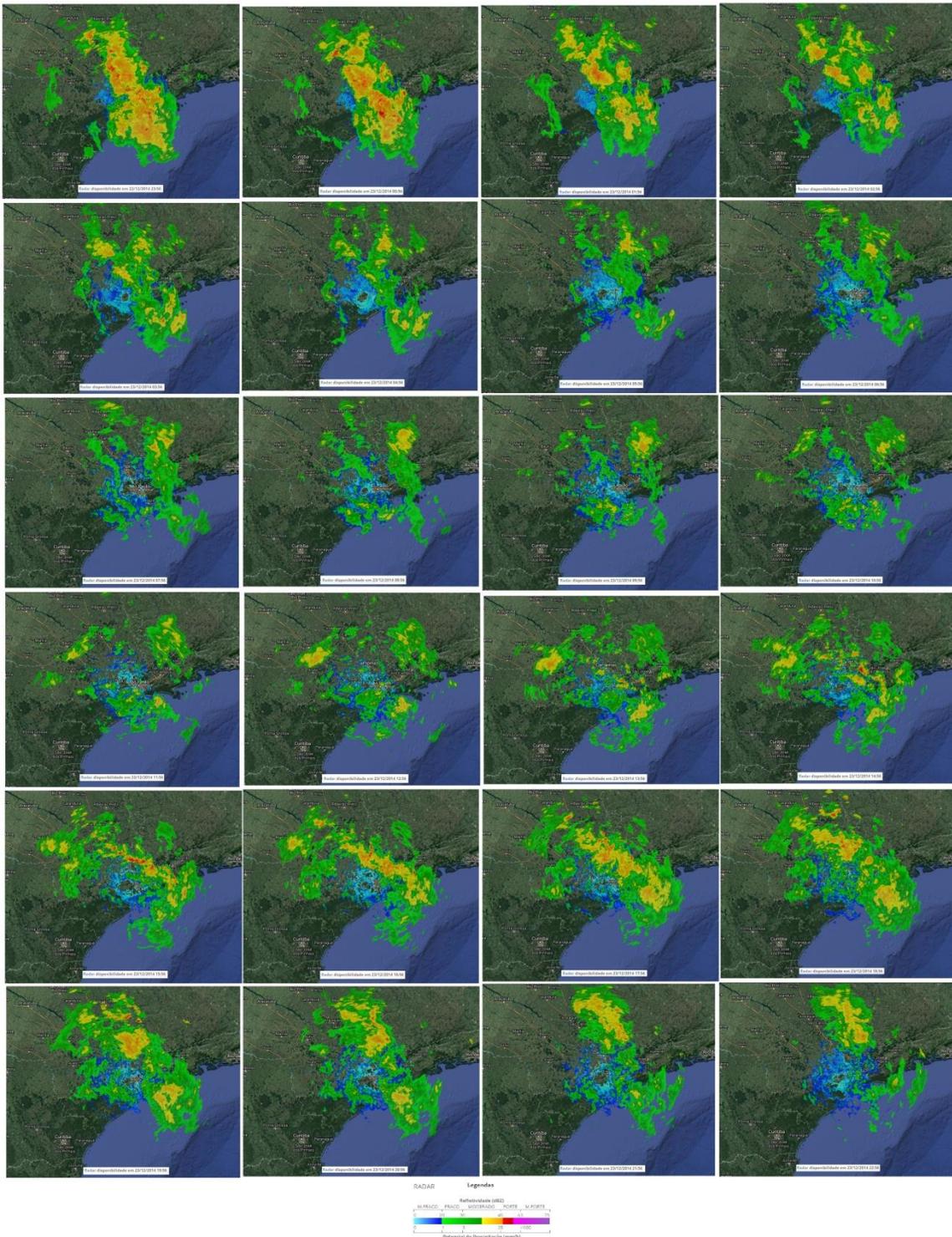
**Figura A.4** – Evolução das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura A.5** – Evolução das condições de tempo do dia 28 de junho de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura A.6** – Evolução das condições de tempo do dia 17 de dezembro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z. **Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura A.7** – Evolução das condições de tempo do dia 23 de dezembro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



## APÊNDICE B – Imagens de Radar do Pico do Couto



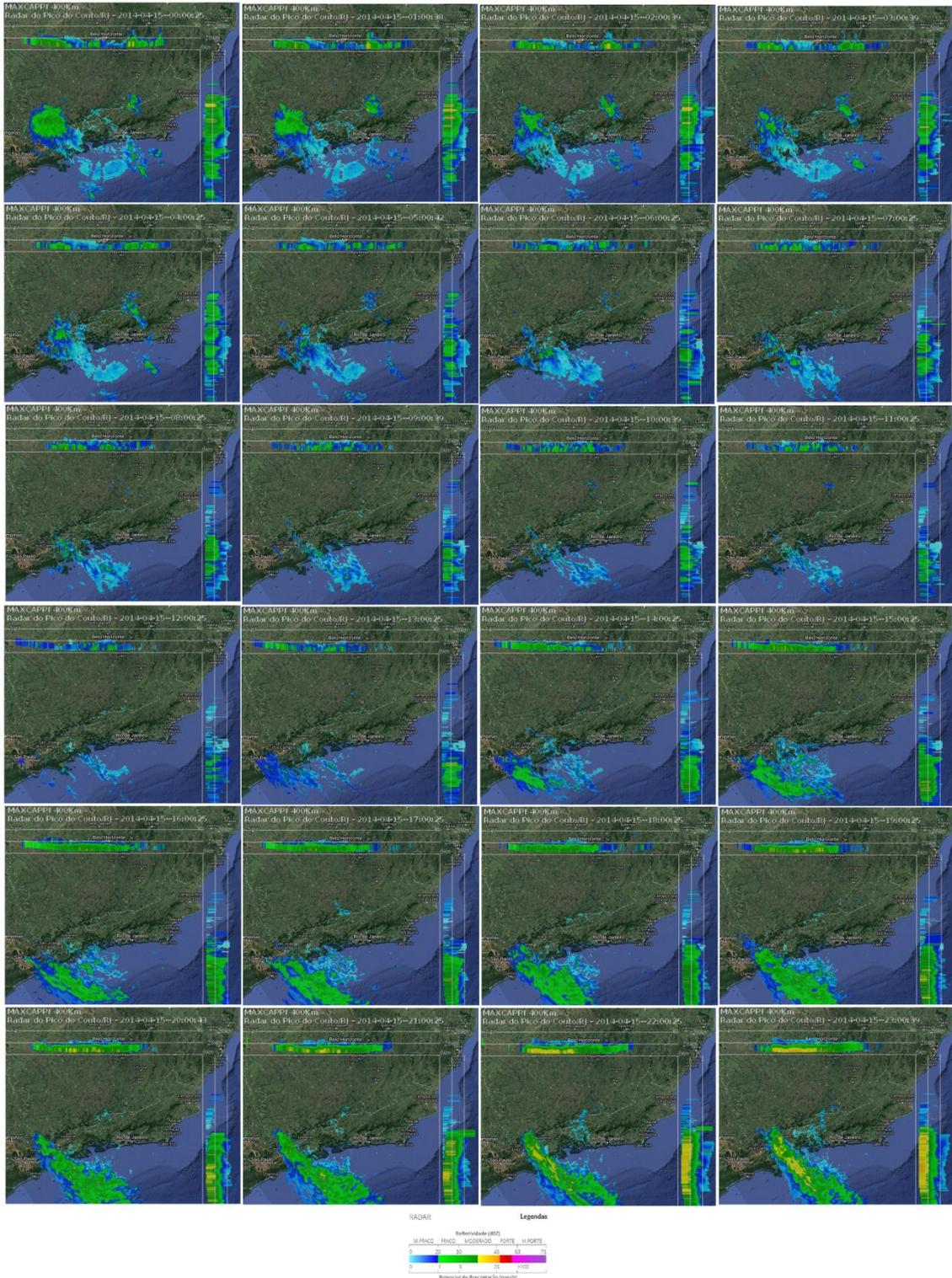
**Figura B.1** – Evolução das condições de tempo do dia 24 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura B.2** – Evolução das condições de tempo do dia 25 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura B.3** – Evolução das condições de tempo do dia 28 de fevereiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura B.4** – Evolução das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).



**Figura B.5** – Evolução das condições de tempo do dia 28 de junho de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** REDEMET (2017).

**Observação:** A evolução das condições de tempo dos dias 17 e 23 de dezembro de 2014, através das imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto, não estão disponíveis.



## APÊNDICE C – Imagens de Satélite da Região Sudeste

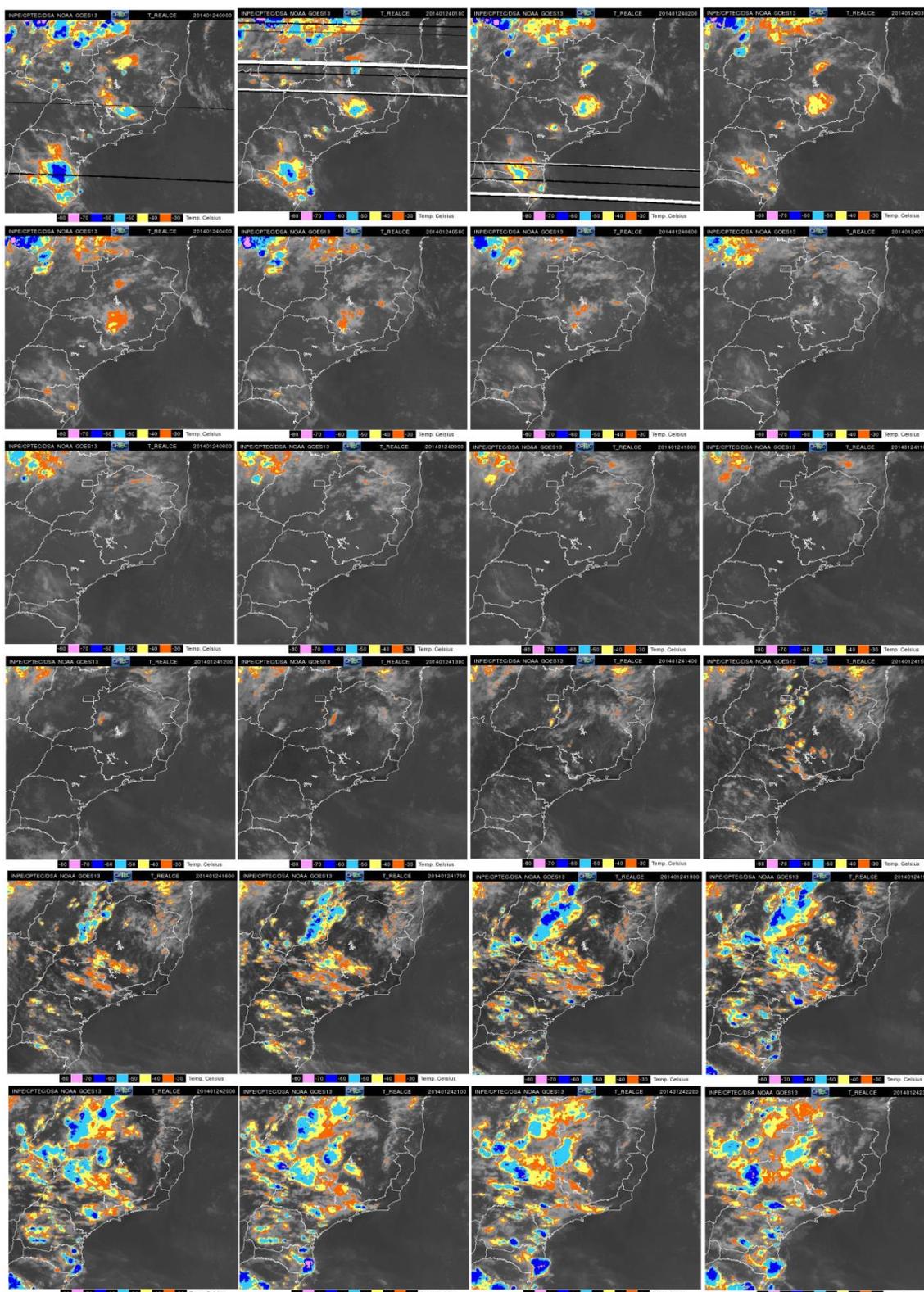
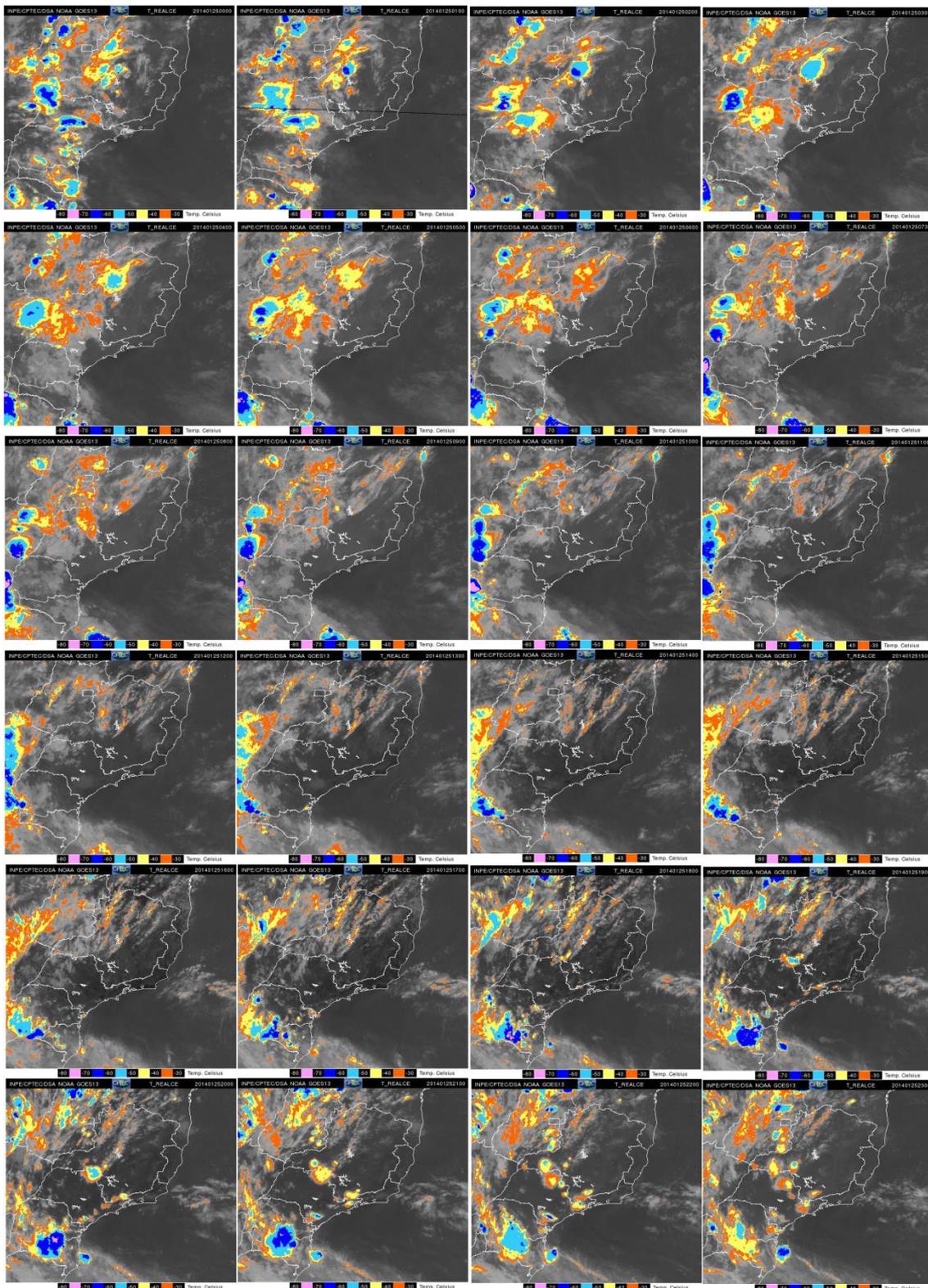
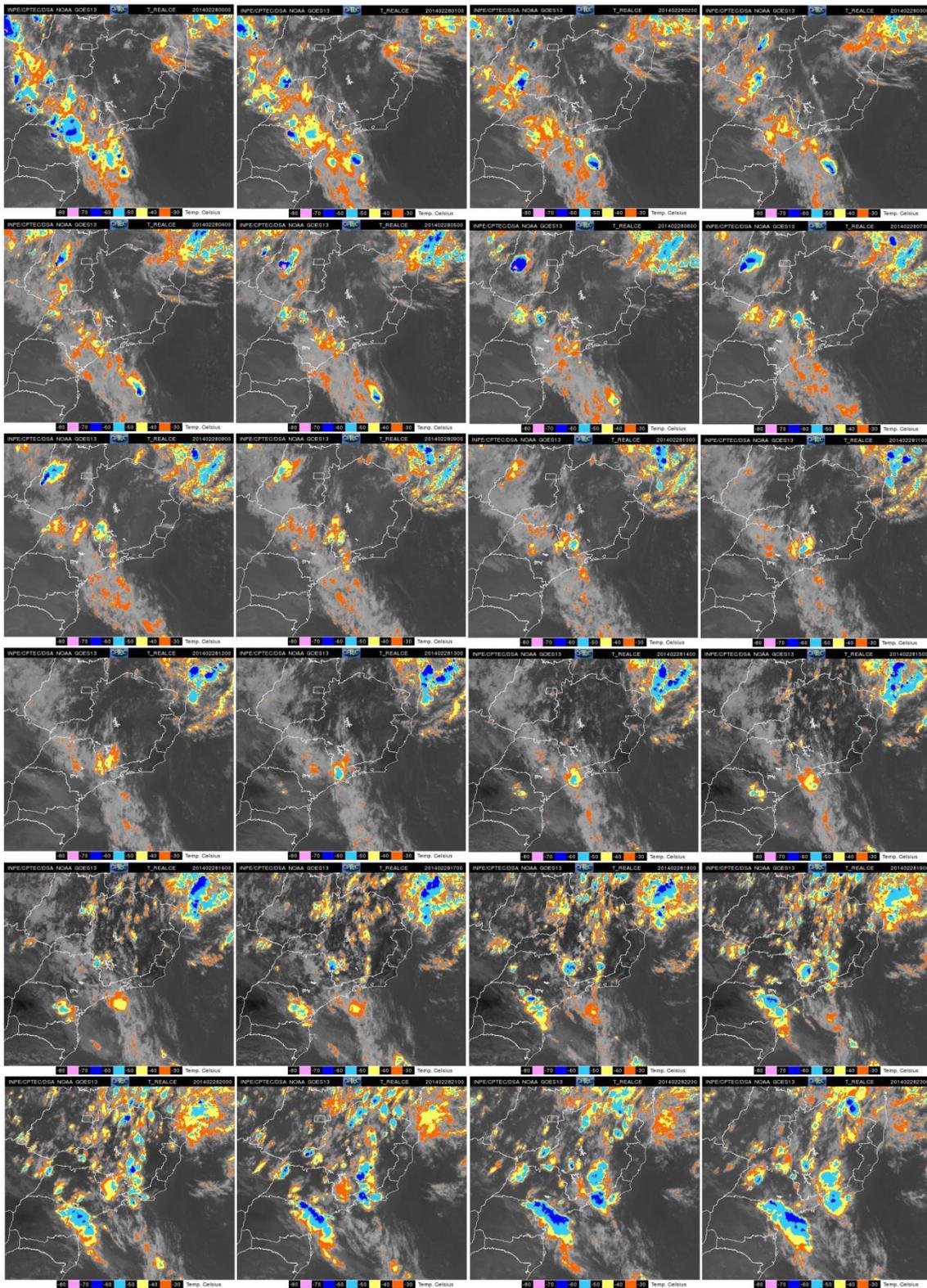


Figura C.1 – Evolução horária das condições de tempo do dia 24 de janeiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.

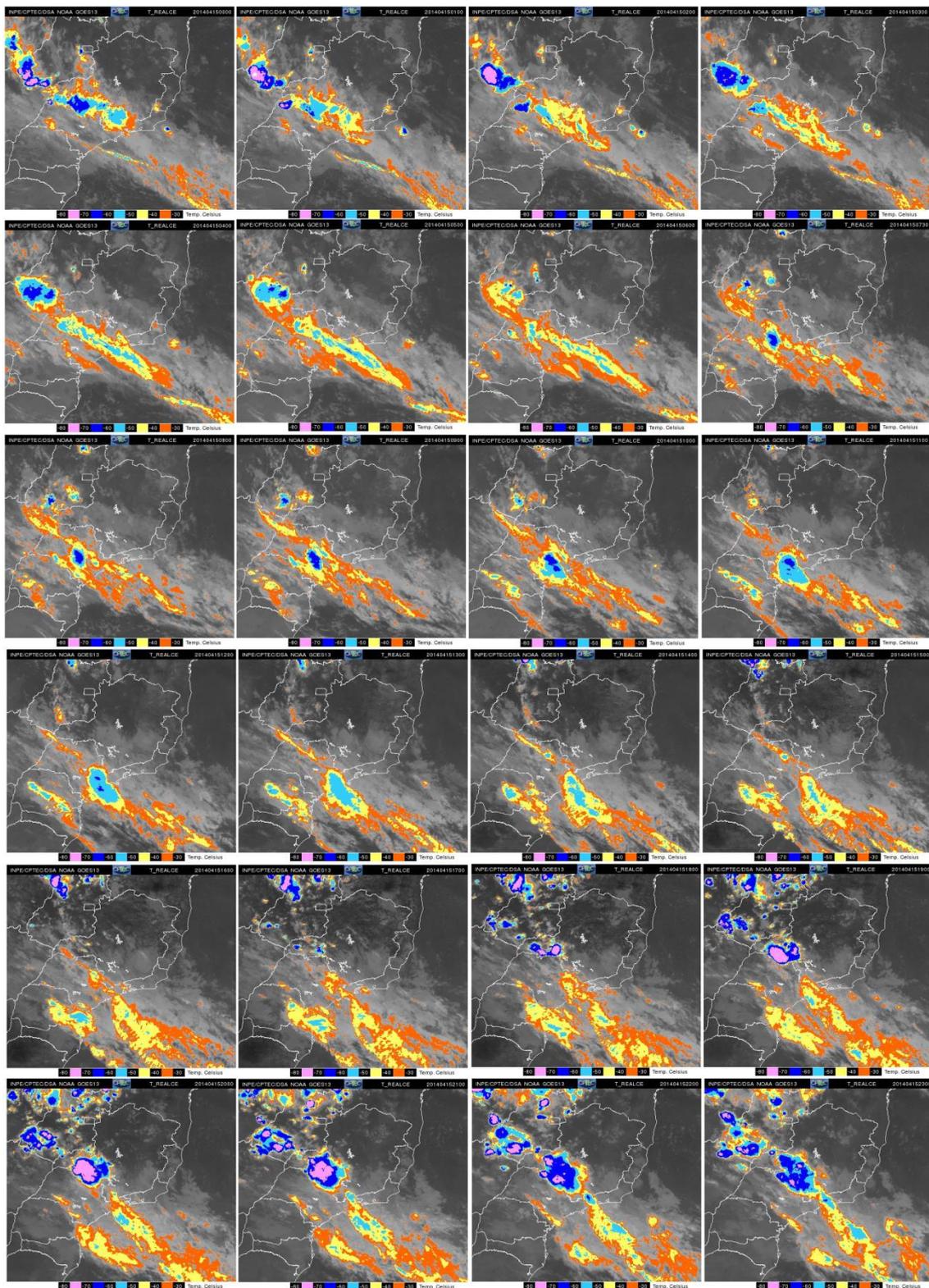
Fonte: INPE/CPTEC (2017).



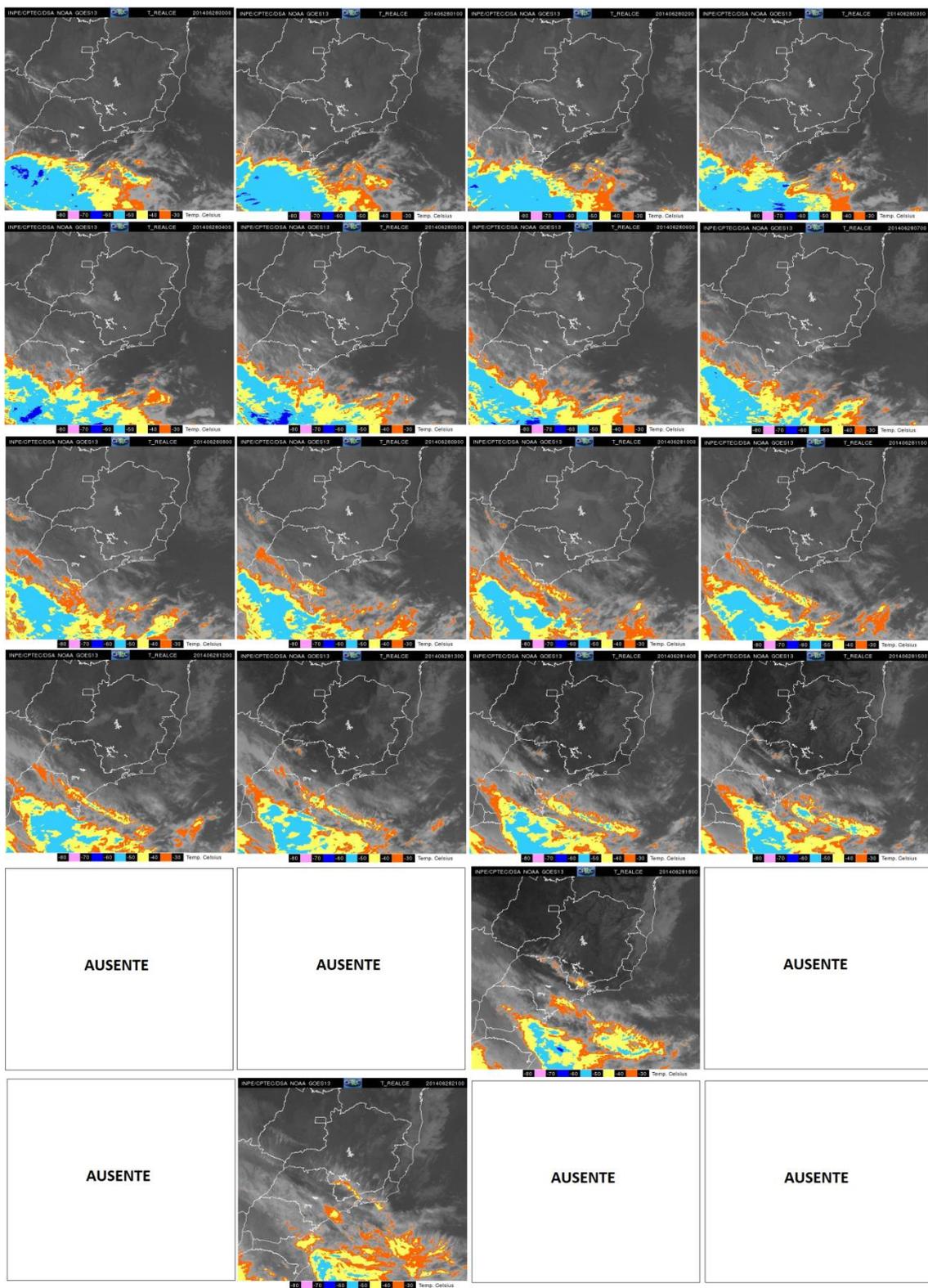
**Figura C.2** – Evolução horária das condições de tempo do dia 25 de janeiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



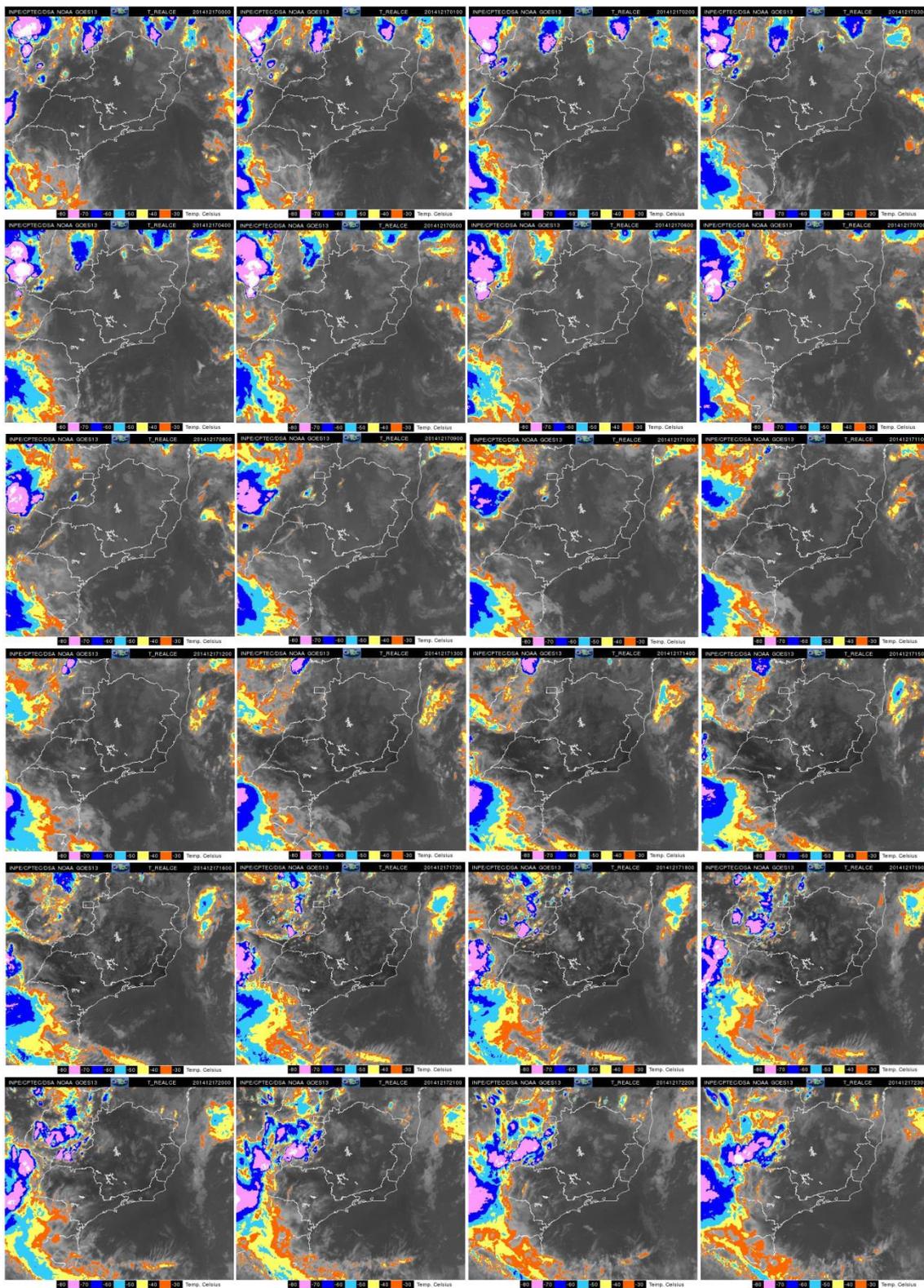
**Figura C.3** – Evolução horária das condições de tempo do dia 28 de fevereiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



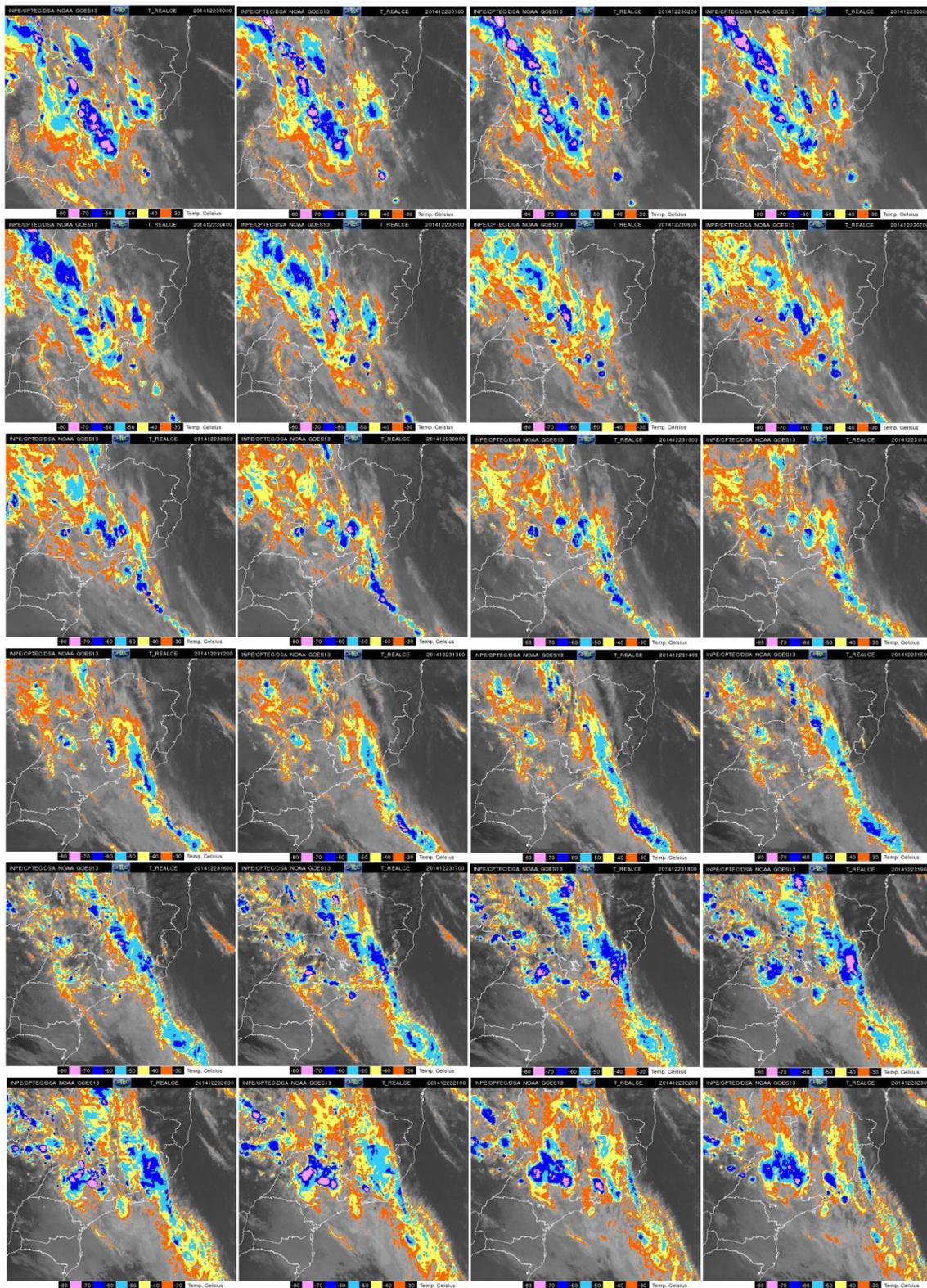
**Figura C.4** – Evolução horária das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



**Figura C.5** – Evolução horária das condições de tempo do dia 28 de junho de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



**Figura C.6** – Evolução horária das condições de tempo do dia 17 de dezembro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



**Figura C.7** – Evolução das condições de tempo do dia 23 de dezembro de 2014. Imagens de satélite, a cada 3 horas, do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.  
**Fonte:** INPE/CPTEC (2017).



## APÊNDICE D – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos

**Tabela D.1 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos, entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 24/01/2014 – Rodada 2.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 2: 24/01/2015 |         |         |          |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|-------------------------------|-------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| Local                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10<br>Km | Nevoeiro<br>Vis < 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBPA                                 | 14:00   | 16:59   |          |                               |                         |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 22:28   | 23:29   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 23:30   | 23:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBPF                                 | 23:00   | 23:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBJV                                 | 19:00   | 19:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBFL                                 | 21:25   | 22:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBCT                                 | 20:30   | 21:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 22:44   | 23:19   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 18:07   | 18:15   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBSP                                 | 18:16   | 19:59   |          |                               |                         |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 18:22   | 19:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 7:00    | 07:34   |          |                               | X                       |       |          |           |                     | X              | X                   |
| SBGR                                 | 17:35   | 18:59   | X        |                               |                         |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 19:00   | 19:59   | X        |                               |                         | X     |          |           | X                   | X              |                     |
| SBKP                                 | 19:00   | 21:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBGL                                 | 22:00   | 23:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
| SBCG                                 | 17:24   | 17:59   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 18:00   | 18:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBGO                                 | 18:16   | 18:40   | X        |                               |                         |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 18:41   | 18:59   | X        |                               |                         | X     |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 19:00   | 19:59   | X        |                               |                         | X     |          |           | X                   | X              |                     |
|                                      | 20:00   | 20:30   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 20:31   | 21:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBBR                                 | 17:00   | 19:59   | X        |                               |                         | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBSV                                 | 12:42   | 13:22   |          |                               |                         | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBBE                                 | 18:10   | 19:59   |          |                               |                         | X     |          |           |                     | X              | X                   |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 24 e 25 de Jan 2014.

**Tabela D.2 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 25/01/2014 – Rodada 3.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 3: 25/01/2015 |         |         |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |  |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------------------------|------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|--|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10 Km | Nevoeiro<br>Vis< 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |  |
|                                      | Início  | Término |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |  |
| SBPA                                 | 00:00   | 0:45    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 00:46   | 1:59    | X        | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 2:00    | 2:59    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 3:00    | 8:59    |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 9:00    | 9:59    |          | X                          |                        |       |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 16:49   | 18:59   |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 19:00   | 19:59   |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 20:00   | 20:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
|                                      | 21:00   | 22:59   |          |                            |                        | X     |          |           |                     |                | X                   |  |
| 23:00                                | 23:59   |         |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBPF                                 | 8:00    | 15:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
|                                      | 13:00   | 15:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |  |
| SBNF                                 | 18:00   | 21:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |  |
| SBJV                                 | 20:00   | 20:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |  |
| SBFL                                 | 10:00   | 21:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |  |
|                                      | 20:00   | 22:09   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
|                                      | 22:10   | 0:59    |          |                            |                        | X     |          |           | X                   |                |                     |  |
| SBFI                                 | 8:00    | 10:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
|                                      | 11:35   | 11:59   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 13:45   | 13:59   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |  |
|                                      | 14:00   | 14:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |  |
|                                      | 17:07   | 20:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBCT                                 | 23:00   | 23:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBGR                                 | 00:00   | 01:59   | X        | X                          |                        | X     | X        |           |                     | X              | X                   |  |
| SBSP                                 | 00:00   | 01:59   |          | X                          |                        | X     | X        |           |                     | X              | X                   |  |
| SBCG                                 | 10:10   | 11:59   | X        |                            |                        | X     | X        |           |                     |                | X                   |  |
|                                      | 11:10   | 13:49   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 15:31   | 15:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBGO                                 | 10:25   | 10:59   |          | X                          |                        |       |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 21:25   | 22:59   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |  |
| SBCY                                 | 10:00   | 14:34   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBVT                                 | 22:35   | 22:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     | X              |                     |  |
| SBIL                                 | 11:49   | 12:19   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |  |
| SBRE                                 | 13:15   | 13:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 13:25   | 13:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |  |
| SBBE                                 | 6:20    | 7:59    |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 8:00    | 8:59    |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |  |
|                                      | 9:00    | 10:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |  |
| SBEG                                 | 19:35   | 19:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |  |
|                                      | 22:00   | 23:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |  |

Fonte: Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 25 e 26 de Jan 2014.

**Tabela D.3 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 28/02/2014 – Rodada 4.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 4: 28/02/2015 |         |         |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------------------------|------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10 Km | Nevoeiro<br>Vis< 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBPA                                 | 00:40   | 02:59   |          | X                          |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 3:00    | 13:40   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBPF                                 | 11:00   | 12:00   |          | X                          |                        |       |          |           |                     | X              | X                   |
| SBNF                                 | 11:00   | 16:00   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 18:35   | 19:40   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBJV                                 | 1:43    | 2:59    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 4:00    | 5:00    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 17:00   | 2:00    | X        | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBFI                                 | 9:20    | 12:00   |          | X                          | X                      |       |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 3:00    | 14:00   |          | X                          |                        |       |          |           |                     | X              | X                   |
| SBCT                                 | 17:30   | 18:10   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 1:20    | 2:25    |          | X                          |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBSP                                 | 6:20    | 7:00    |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBGR                                 | 1:40    | 2:00    | X        | X                          |                        |       |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 2:25    | 2:59    |          | X                          |                        |       |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 6:00    | 7:00    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 13:28   | 15:00   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBKP                                 | 15:00   | 15:45   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 03:00   | 7:00    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 4:30    | 5:35    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 11:20   | 12:00   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBGL                                 | 12:00   | 13:00   |          |                            |                        |       |          | X         |                     |                |                     |
|                                      | 20:13   | 20:59   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBRJ                                 | 21:00   | 23:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 21:33   | 22:00   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBCF                                 | 18:00   | 21:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 22:00   | 23:00   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 23:00   | 0:00    |          |                            |                        |       |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 23:00   | 0:59    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBBH                                 | 1:00    | 2:00    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 20:00   | 21:00   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBVT                                 | 22:45   | 2:00    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 19:00   | 23:00   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |
| SBPS                                 | 21:30   | 23:00   |          |                            |                        | X     |          |           |                     |                | X                   |
| SBIL                                 | 13:00   | 13:28   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 23:00   | 23:28   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBEG                                 | 20:05   | 20:20   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dia 28 de Fev e 01 de Mar 2014.

**Tabela D.4 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 15/04/2014 – Rodada 5.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 5: 15/04/2015 |         |         |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------------------------|------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10 Km | Nevoeiro<br>Vis< 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBNF                                 | 0:00    | 0:29    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBJV                                 | 11:00   | 12:59   |          |                            |                        |       | X        |           |                     |                | X                   |
|                                      | 19:00   | 2:59    |          | X                          |                        |       | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBCT                                 | 00:00   | 23:59   |          | X                          |                        |       | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBSP                                 | 00:00   | 23:59   | X        | X                          |                        |       | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBGR                                 | 3:00    | 12:59   | X        | X                          |                        | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 16:00   | 2:59    |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBKP                                 | 10:45   | 13:59   |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBGL                                 | 02:00   | 02:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 3:00    | 4:59    |          |                            |                        | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 7:00    | 9:59    |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 12:00   | 14:59   |          | X                          |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 19:00   | 21:59   |          | X                          |                        |       | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBRJ                                 | 00:00   | 01:59   |          | X                          |                        |       | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 8:15    | 21:59   |          | X                          |                        | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBCG                                 | 10:00   | 15:49   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 23:13   | 2:59    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBGO                                 | 9:30    | 9:59    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBCY                                 | 3:00    | 6:59    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 9:40    | 10:59   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBVT                                 | 4:40    | 8:59    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBFZ                                 | 7:10    | 7:59    |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBBE                                 | 17:25   | 17:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 17:25   | 18:49   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 20:18   | 20:59   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBEG                                 | 6:00    | 7:04    |          | X                          | X                      |       |          |           |                     | X              | X                   |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 15 e 16 de Abr 2014.

**Tabela D.5 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 28/06/2014 – Rodada 6.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 6: 28/06/2015 |         |         |          |                          |                       |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|--------------------------|-----------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis<10 Km | Nevoeiro<br>Vis<1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                          |                       |       |          |           |                     |                |                     |
| SBPA                                 | 00:00   | 8:59    |          | X                        |                       | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 9:00    | 10:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 11:00   | 12:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 13:00   | 14:24   |          | X                        |                       | X     | X        |           |                     |                | X                   |
|                                      | 14:25   | 23:59   |          | X                        |                       | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 15:00   | 22:59   |          |                          |                       |       |          | X         |                     |                |                     |
| SBPF                                 | 11:00   | 11:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 16:00   | 16:59   |          | X                        |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 17:00   | 17:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 18:00   | 18:59   |          | X                        |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
| SBNF                                 | 00:00   | 8:59    |          |                          |                       | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 10:10   | 10:49   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 10:50   | 11:09   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 11:10   | 11:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 13:00   | 15:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 16:00   | 19:59   |          | X                        |                       | X     | X        |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 20:00   | 20:59   | X        |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 21:30   | 21:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| 23:35                                | 23:59   |         |          |                          | X                     |       |          |           | X                   | X              |                     |
| SBJV                                 | 00:00   | 8:59    |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 9:00    | 13:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 18:00   | 18:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 19:00   | 20:59   |          | X                        |                       | X     | X        |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 21:00   | 21:59   | X        | X                        |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 22:00   | 23:59   |          | X                        |                       | X     | X        |           | X                   |                | X                   |
| SBFL                                 | 00:00   | 4:59    | X        |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 5:00    | 5:59    |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 6:00    | 6:59    | X        |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 7:00    | 8:59    |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 13:30   | 13:44   | X        |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 13:45   | 14:59   | X        |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 15:00   | 15:14   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 15:15   | 16:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 17:00   | 19:19   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 19:20   | 21:59   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 22:00   | 23:19   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 23:20   | 23:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | SBFI    | 00:00   | 01:44    |                          |                       |       | X        |           |                     | X              |                     |
| 4:00                                 |         | 04:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| 6:00                                 |         | 7:59    |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| 9:00                                 |         | 12:59   |          | X                        |                       | X     | X        |           |                     |                | X                   |
| 13:00                                |         | 13:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
| 14:00                                |         | 14:19   |          |                          |                       |       | X        |           | X                   |                | X                   |
| 18:35                                |         | 18:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| 19:18                                |         | 19:59   |          | X                        |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
| 20:00                                |         | 21:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
| 22:00                                |         | 22:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| 23:00                                |         | 23:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBCT                                 | 00:00   | 10:24   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 10:25   | 11:59   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 12:00   | 12:29   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 12:30   | 13:19   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 13:20   | 13:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 20:25   | 23:59   |          |                          |                       | X     |          |           |                     |                | X                   |
| SBGL                                 | 6:00    | 8:59    |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 9:00    | 9:59    |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 10:00   | 13:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 17:00   | 17:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
| SBRJ                                 | 7:00    | 12:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 13:00   | 13:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 14:00   | 17:59   |          | X                        |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
| SBCG                                 | 00:00   | 07:17   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 7:18    | 07:59   |          | X                        |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 8:00    | 10:13   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 10:14   | 10:49   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 10:50   | 11:26   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 12:20   | 23:59   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBCY                                 | 3:00    | 10:59   |          |                          |                       |       |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 11:00   | 12:19   |          |                          |                       | X     | X        |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 12:20   | 12:59   |          |                          |                       |       | X        |           |                     |                | X                   |
|                                      | 13:00   | 15:19   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBPS                                 | 6:00    | 10:39   |          |                          |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |
|                                      | 10:40   | 10:59   |          | X                        |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 11:00   | 13:09   |          |                          |                       |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 16:10   | 17:34   |          | X                        |                       | X     |          |           | X                   |                | X                   |

**Tabela D.5 – Conclusão**

| LOCAL | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10 Km | Nevoeiro<br>Vis< 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|-------|---------|---------|----------|----------------------------|------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
|       | Início  | Término |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBIL  | 21:00   | 21:59   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |
| SBSV  | 23:46   | 23:59   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBRE  | 21:30   | 21:59   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBSG  | 8:15    | 9:59    |          |                            |                        | X     |          |           |                     |                | X                   |
| SBBE  | 19:15   | 19:22   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|       | 19:23   | 19:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|       | 20:00   | 20:59   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 28 e 29 de Jun 2014.

**Tabela D.6 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 17/12/2014 – Rodada 7.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 7: 17/12/2015 |         |         |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------------------------|------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis < 10 Km | Nevoeiro<br>Vis< 1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
| SBPA                                 | 22:36   | 23:00   |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBFI                                 | 14:00   | 18:33   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBCG                                 | 00:11   | 4:00    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 6:00    | 7:59    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 8:00    | 9:59    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 10:00   | 10:50   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 14:47   | 15:00   |          |                            |                        |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 14:47   | 18:44   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 18:45   | 19:47   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 0:39    | 1:59    | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBGO                                 | 5:00    | 6:00    |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 10:43   | 13:00   |          |                            |                        |       |          |           |                     |                | X                   |
| SBBR                                 | 00:12   | 2:16    | X        |                            |                        | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 8:00    | 11:00   |          |                            | X                      |       |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 18:28   | 19:21   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBPS                                 | 2:00    | 3:00    |          |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 12:15   | 15:00   |          |                            | X                      | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 16:37   | 18:00   |          |                            | X                      | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 20:27   | 0:00    |          |                            | X                      | X     |          |           |                     |                | X                   |
| SBIL                                 | 7:00    | 8:14    |          |                            | X                      | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 23:00   | 23:30   |          |                            | X                      |       |          |           |                     | X              |                     |
| SBSV                                 | 3:29    | 10:00   | X        |                            |                        | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 22:00   | 23:00   |          |                            | X                      | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 23:34   | 0:00    |          |                            | X                      | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBBE                                 | 18:00   | 18:59   | X        |                            |                        |       |          |           |                     |                |                     |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 17 e 18 de Dez 2014.

**Tabela D.7 – Condições Meteorológicas Significativas nos Aeroportos entre 00:00 UTC e 23:59 UTC do dia 23/12/2014 – Rodada 8.**

| CONDIÇÕES MET – Rodada 8: 23/12/2015 |         |         |          |                          |                           |       |          |           |                     |                |                     |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|--------------------------|---------------------------|-------|----------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|
| LOCAL                                | Horário |         | Trovoada | Névoa<br>1000m≤Vis<10 Km | Nevoeiro<br>Vis<<br>1000m | Chuva | Chuvisco | Windshear | Rajadas<br>> 20 nós | VIS<br>< 5000m | Teto<br>< 1.500 pés |
|                                      | Início  | Término |          |                          |                           |       |          |           |                     |                |                     |
| SBNF                                 | 17:00   | 18:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
| SBJV                                 | 14:00   | 19:59   |          |                          |                           | X     |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 22:00   | 23:59   |          |                          | X                         | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBFL                                 | 10:00   | 13:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 14:00   | 15:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 17:50   | 18:59   |          |                          |                           | X     |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 18:00   | 19:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
| SBCT                                 | 00:00   | 23:59   |          | X                        |                           | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 00:00   | 23:59   | X        |                          |                           | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBSP                                 | 4:00    | 23:59   |          | X                        |                           | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 15:38   | 19:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
|                                      | 00:00   | 23:59   | X        | X                        |                           | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBKP                                 | 7:00    | 8:59    |          |                          |                           |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 12:35   | 12:59   |          | X                        |                           |       |          |           |                     | X              |                     |
|                                      | 17:00   | 17:59   |          | X                        |                           | X     |          |           |                     | X              |                     |
| SBGL                                 | 0:00    | 23:59   | X        |                          |                           | X     |          |           |                     |                |                     |
|                                      | 16:00   | 17:59   |          |                          |                           | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBRJ                                 | 13:35   | 21:59   |          | X                        |                           | X     |          |           |                     | X              | X                   |
| SBCG                                 | 00:00   | 16:24   |          | X                        |                           | X     | X        |           |                     | X              | X                   |
| SBGO                                 | 7:17    | 12:59   |          |                          |                           | X     |          |           |                     |                | X                   |
| SBCY                                 | 13:00   | 16:27   |          |                          |                           |       | X        |           |                     |                | X                   |
| SBVT                                 | 16:00   | 17:00   |          |                          |                           |       |          |           | X                   |                |                     |
| SBBR                                 | 8:20    | 09:59   |          |                          |                           | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 11:40   | 11:59   |          |                          |                           |       |          |           |                     |                | X                   |
|                                      | 12:15   | 13:24   | X        |                          |                           | X     |          |           |                     | X              | X                   |
|                                      | 13:02   | 15:00   | X        |                          |                           | X     |          |           |                     |                |                     |
| SBEG                                 | 10:25   | 10:59   |          |                          |                           |       |          |           |                     |                | X                   |

**Fonte:** Adaptado dos Relatórios de Situação do CGNA dos dias 23 e 24 de Dez 2014.



**APÊNDICE E – Carga de trabalho e número de aeronaves por setor, por hora – TAAM. Cada 2.000 pontos corresponde a 1 min.**

| Setor SP-01 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|             | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 3                        | 4.250          | 3         | 4.510          | 3         | 4.510          | 4         | 5.430          | 3         | 4.510          | 3         | 4.510          | 3         | 4.250          | 3         | 3.950          |
| 01:00:00    | 4                        | 5.532          | 5         | 6.850          | 5         | 6.850          | 4         | 5.430          | 5         | 6.850          | 3         | 4.150          | 4         | 5.530          | 3         | 4.120          |
| 02:00:00    | 1                        | 1.378          | 1         | 1.380          | 1         | 1.380          | 1         | 1.380          | 1         | 1.380          | 0         | 0              | 1         | 1.380          | 0         | 0              |
| 03:00:00    | 5                        | 6.811          | 7         | 10.460         | 7         | 9.660          | 5         | 6.840          | 7         | 9.660          | 7         | 9.610          | 4         | 5.510          | 6         | 8.240          |
| 04:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 06:00:00    | 0                        | 0              | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 0         | 0              | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 07:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 08:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 09:00:00    | 7                        | 9.749          | 10        | 18.470         | 10        | 18.470         | 10        | 15.740         | 11        | 18.380         | 10        | 16.020         | 9         | 12.960         | 2         | 2.790          |
| 10:00:00    | 17                       | 29.789         | 19        | 35.820         | 19        | 36.700         | 19        | 30.060         | 21        | 36.220         | 22        | 35.410         | 19        | 31.260         | 10        | 15.100         |
| 11:00:00    | 13                       | 22.240         | 19        | 31.240         | 20        | 34.840         | 17        | 28.350         | 11        | 17.760         | 20        | 32.670         | 12        | 20.640         | 4         | 5.520          |
| 12:00:00    | 14                       | 25.027         | 20        | 32.130         | 17        | 27.620         | 15        | 26.440         | 13        | 24.750         | 20        | 32.350         | 12        | 23.830         | 16        | 26.130         |
| 13:00:00    | 13                       | 24.994         | 19        | 32.940         | 19        | 31.520         | 14        | 24.790         | 10        | 15.590         | 19        | 36.120         | 14        | 24.430         | 11        | 21.130         |
| 14:00:00    | 15                       | 28.474         | 16        | 36.560         | 16        | 32.690         | 13        | 23.600         | 7         | 11.650         | 16        | 28.490         | 16        | 28.010         | 18        | 37.120         |
| 15:00:00    | 17                       | 29.386         | 21        | 36.850         | 21        | 37.900         | 17        | 31.150         | 18        | 30.210         | 20        | 37.180         | 19        | 32.200         | 14        | 35.380         |
| 16:00:00    | 13                       | 22.719         | 17        | 30.650         | 15        | 27.700         | 14        | 23.280         | 20        | 38.090         | 15        | 24.510         | 14        | 24.030         | 12        | 28.300         |
| 17:00:00    | 14                       | 25.300         | 23        | 42.020         | 19        | 34.120         | 16        | 27.210         | 30        | 68.430         | 19        | 31.600         | 18        | 30.140         | 14        | 25.780         |
| 18:00:00    | 11                       | 21.280         | 13        | 26.370         | 13        | 24.910         | 12        | 21.810         | 23        | 40.180         | 13        | 23.410         | 11        | 20.980         | 21        | 33.170         |
| 19:00:00    | 15                       | 26.481         | 16        | 28.460         | 16        | 30.040         | 16        | 27.340         | 17        | 30.530         | 16        | 29.790         | 16        | 28.510         | 16        | 30.000         |
| 20:00:00    | 13                       | 24.122         | 17        | 35.620         | 17        | 33.550         | 15        | 26.380         | 17        | 29.330         | 17        | 29.830         | 13        | 24.830         | 15        | 27.630         |
| 21:00:00    | 12                       | 23.354         | 23        | 39.880         | 20        | 34.010         | 16        | 26.820         | 18        | 30.050         | 18        | 29.070         | 15        | 28.840         | 16        | 26.960         |
| 22:00:00    | 16                       | 30.800         | 20        | 37.580         | 22        | 43.180         | 16        | 30.670         | 21        | 37.140         | 20        | 37.480         | 16        | 28.910         | 17        | 28.540         |
| 23:00:00    | 14                       | 25.495         | 20        | 33.780         | 26        | 44.650         | 16        | 29.180         | 22        | 41.360         | 19        | 29.590         | 15        | 25.490         | 14        | 24.510         |
|             |                          | <b>387.181</b> |           | <b>522.940</b> |           | <b>515.670</b> |           | <b>411.900</b> |           | <b>493.440</b> |           | <b>473.160</b> |           | <b>401.730</b> |           | <b>384.370</b> |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor SP-01 Alto |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|------------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|                  | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time             | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00         | 13                       | 18.608         | 15        | 22.360         | 15        | 21.510         | 16        | 22.560         | 16        | 23.570         | 16        | 22.670         | 14        | 19.910         | 9         | 12.350         |
| 01:00:00         | 13                       | 19.473         | 12        | 18.180         | 12        | 18.190         | 11        | 16.760         | 12        | 18.180         | 9         | 12.510         | 13        | 19.440         | 11        | 16.150         |
| 02:00:00         | 7                        | 9.541          | 7         | 9.530          | 7         | 9.540          | 7         | 9.540          | 7         | 9.540          | 6         | 8.140          | 6         | 8.170          | 4         | 5.420          |
| 03:00:00         | 10                       | 14.925         | 9         | 12.820         | 9         | 12.820         | 9         | 12.860         | 9         | 12.820         | 9         | 12.820         | 11        | 17.220         | 11        | 15.810         |
| 04:00:00         | 2                        | 2.434          | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 1         | 1.370          | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00         | 3                        | 3.971          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          |
| 06:00:00         | 3                        | 4.111          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          | 3         | 4.110          |
| 07:00:00         | 2                        | 2.715          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          | 2         | 2.720          |
| 08:00:00         | 3                        | 4.071          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          | 3         | 4.070          |
| 09:00:00         | 14                       | 20.581         | 16        | 23.340         | 15        | 22.010         | 17        | 24.630         | 12        | 18.950         | 16        | 23.150         | 16        | 23.180         | 14        | 19.660         |
| 10:00:00         | 23                       | 33.911         | 21        | 32.050         | 22        | 34.370         | 21        | 30.370         | 18        | 30.830         | 23        | 35.830         | 22        | 32.510         | 23        | 32.110         |
| 11:00:00         | 29                       | 40.950         | 29        | 46.870         | 29        | 43.710         | 29        | 40.720         | 24        | 36.920         | 31        | 45.410         | 24        | 34.420         | 27        | 38.440         |
| 12:00:00         | 21                       | 30.649         | 24        | 39.070         | 22        | 36.690         | 21        | 30.180         | 16        | 23.900         | 18        | 26.630         | 25        | 35.710         | 21        | 30.110         |
| 13:00:00         | 22                       | 31.619         | 19        | 28.350         | 18        | 26.740         | 21        | 30.490         | 17        | 25.140         | 24        | 34.480         | 21        | 30.450         | 22        | 31.620         |
| 14:00:00         | 19                       | 28.371         | 20        | 31.400         | 20        | 31.780         | 20        | 28.740         | 21        | 34.700         | 21        | 33.580         | 20        | 28.880         | 25        | 35.110         |
| 15:00:00         | 25                       | 35.632         | 24        | 35.160         | 23        | 35.060         | 23        | 32.930         | 24        | 34.700         | 22        | 31.600         | 26        | 37.120         | 25        | 36.870         |
| 16:00:00         | 28                       | 39.652         | 31        | 48.350         | 31        | 48.530         | 32        | 44.620         | 34        | 50.440         | 32        | 47.210         | 28        | 39.340         | 18        | 25.750         |
| 17:00:00         | 25                       | 37.424         | 21        | 31.670         | 19        | 30.960         | 22        | 31.940         | 23        | 37.320         | 21        | 33.540         | 25        | 35.890         | 21        | 31.350         |
| 18:00:00         | 16                       | 23.260         | 15        | 22.790         | 15        | 27.010         | 15        | 22.330         | 16        | 25.500         | 15        | 22.450         | 16        | 23.590         | 19        | 28.950         |
| 19:00:00         | 23                       | 33.434         | 18        | 26.350         | 23        | 36.000         | 23        | 33.530         | 20        | 29.650         | 24        | 35.770         | 22        | 32.260         | 29        | 43.500         |
| 20:00:00         | 21                       | 31.691         | 19        | 29.710         | 19        | 28.810         | 21        | 30.260         | 17        | 25.540         | 21        | 32.900         | 20        | 28.890         | 22        | 31.980         |
| 21:00:00         | 22                       | 31.428         | 22        | 35.070         | 22        | 34.170         | 22        | 31.680         | 21        | 30.170         | 22        | 32.540         | 23        | 32.810         | 24        | 34.300         |
| 22:00:00         | 21                       | 30.236         | 19        | 29.070         | 21        | 33.760         | 20        | 28.520         | 17        | 26.860         | 20        | 32.430         | 20        | 29.090         | 22        | 31.830         |
| 23:00:00         | 24                       | 34.234         | 26        | 39.480         | 32        | 48.110         | 25        | 35.830         | 23        | 33.980         | 25        | 37.610         | 24        | 35.500         | 22        | 31.870         |
|                  |                          | <b>562.921</b> |           | <b>576.610</b> |           | <b>594.760</b> |           | <b>553.480</b> |           | <b>543.700</b> |           | <b>576.260</b> |           | <b>559.350</b> |           | <b>548.150</b> |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-02 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|             | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 16                       | 27.701         | 17        | 30.230         | 17        | 30.230         | 18        | 31.160         | 17        | 30.130         | 17        | 30.130         | 16        | 28.420         | 22        | 36.450         |
| 01:00:00    | 27                       | 45.299         | 24        | 43.970         | 24        | 42.690         | 25        | 44.270         | 24        | 42.690         | 24        | 43.000         | 26        | 42.850         | 26        | 43.120         |
| 02:00:00    | 10                       | 15.492         | 9         | 13.080         | 9         | 13.060         | 9         | 13.040         | 9         | 13.070         | 9         | 13.070         | 9         | 13.000         | 8         | 11.320         |
| 03:00:00    | 4                        | 5.984          | 3         | 4.640          | 3         | 4.640          | 3         | 4.820          | 3         | 4.640          | 3         | 4.640          | 4         | 6.080          | 12        | 22.340         |
| 04:00:00    | 0                        | 0              | 1         | 1.480          | 1         | 1.470          | 1         | 1.460          | 1         | 1.470          | 1         | 1.470          | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00    | 3                        | 4.215          | 2         | 2.830          | 2         | 2.830          | 2         | 2.850          | 2         | 2.830          | 2         | 2.830          | 3         | 4.220          | 3         | 4.220          |
| 06:00:00    | 2                        | 2.848          | 2         | 2.860          | 2         | 2.850          | 2         | 2.850          | 2         | 2.850          | 2         | 2.850          | 2         | 2.850          | 2         | 2.850          |
| 07:00:00    | 2                        | 2.865          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          | 2         | 2.870          |
| 08:00:00    | 3                        | 4.260          | 3         | 4.190          | 3         | 4.190          | 3         | 4.560          | 3         | 4.190          | 3         | 4.190          | 3         | 4.260          | 3         | 4.260          |
| 09:00:00    | 20                       | 35.128         | 24        | 42.220         | 22        | 38.800         | 23        | 39.880         | 24        | 44.330         | 23        | 43.400         | 18        | 33.600         | 25        | 46.700         |
| 10:00:00    | 20                       | 34.472         | 19        | 34.000         | 21        | 38.130         | 22        | 36.580         | 20        | 34.830         | 17        | 31.070         | 19        | 30.150         | 38        | 63.210         |
| 11:00:00    | 33                       | 52.913         | 34        | 56.570         | 34        | 56.320         | 41        | 65.180         | 34        | 56.050         | 34        | 57.590         | 30        | 48.180         | 49        | 82.840         |
| 12:00:00    | 29                       | 46.887         | 21        | 37.050         | 21        | 37.420         | 19        | 33.680         | 20        | 36.440         | 21        | 36.800         | 28        | 47.110         | 30        | 54.390         |
| 13:00:00    | 22                       | 36.202         | 21        | 39.070         | 22        | 41.020         | 24        | 40.220         | 5         | 7.470          | 22        | 40.540         | 23        | 39.080         | 20        | 34.670         |
| 14:00:00    | 25                       | 39.756         | 26        | 48.820         | 25        | 43.960         | 24        | 39.940         | 7         | 10.030         | 23        | 40.830         | 25        | 39.580         | 32        | 50.360         |
| 15:00:00    | 26                       | 45.418         | 25        | 50.540         | 25        | 50.290         | 26        | 45.950         | 16        | 25.980         | 25        | 47.520         | 31        | 51.960         | 39        | 68.090         |
| 16:00:00    | 32                       | 50.524         | 28        | 46.380         | 28        | 47.450         | 30        | 48.330         | 28        | 44.900         | 30        | 50.510         | 27        | 42.620         | 42        | 65.900         |
| 17:00:00    | 19                       | 31.949         | 18        | 34.800         | 16        | 31.300         | 18        | 29.980         | 23        | 38.780         | 15        | 29.860         | 20        | 33.730         | 32        | 50.730         |
| 18:00:00    | 18                       | 32.224         | 18        | 36.650         | 17        | 33.240         | 18        | 33.290         | 13        | 26.500         | 17        | 33.850         | 21        | 35.550         | 37        | 55.010         |
| 19:00:00    | 25                       | 41.198         | 24        | 41.820         | 24        | 42.670         | 28        | 45.450         | 14        | 24.950         | 25        | 43.710         | 26        | 41.270         | 29        | 46.440         |
| 20:00:00    | 21                       | 36.886         | 26        | 44.710         | 23        | 41.510         | 19        | 35.780         | 22        | 37.650         | 20        | 35.950         | 24        | 39.430         | 26        | 43.270         |
| 21:00:00    | 24                       | 38.795         | 22        | 36.500         | 24        | 42.260         | 24        | 40.640         | 17        | 30.540         | 24        | 43.670         | 27        | 41.850         | 27        | 42.500         |
| 22:00:00    | 22                       | 39.901         | 21        | 36.620         | 21        | 37.500         | 24        | 39.940         | 14        | 25.740         | 23        | 39.020         | 26        | 43.800         | 26        | 43.190         |
| 23:00:00    | 24                       | 39.275         | 18        | 34.970         | 19        | 35.310         | 20        | 35.150         | 24        | 39.460         | 20        | 36.310         | 21        | 34.760         | 22        | 36.320         |
|             |                          | <b>710.192</b> |           | <b>726.870</b> |           | <b>722.010</b> |           | <b>717.870</b> |           | <b>588.390</b> |           | <b>715.680</b> |           | <b>707.220</b> |           | <b>911.050</b> |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-03 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Time        | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
|             | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 8                        | 12.526         | 9         | 15.110         | 9         | 15.110         | 11        | 20.920         | 9         | 15.020         | 9         | 15.160         | 9         | 13.250         | 15        | 24.400         |
| 01:00:00    | 13                       | 26.727         | 15        | 32.960         | 15        | 32.950         | 18        | 35.590         | 14        | 31.370         | 15        | 34.150         | 14        | 28.240         | 28        | 45.500         |
| 02:00:00    | 9                        | 14.646         | 5         | 8.680          | 5         | 8.680          | 5         | 7.770          | 5         | 8.680          | 5         | 8.680          | 9         | 14.510         | 14        | 28.740         |
| 03:00:00    | 1                        | 1.462          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          | 2         | 2.730          |
| 04:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 06:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 07:00:00    | 2                        | 2.758          | 2         | 2.610          | 2         | 2.610          | 2         | 2.760          | 2         | 2.610          | 2         | 2.610          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          |
| 08:00:00    | 8                        | 12.707         | 10        | 15.620         | 10        | 18.320         | 9         | 15.310         | 9         | 13.190         | 9         | 13.180         | 8         | 12.720         | 9         | 14.220         |
| 09:00:00    | 27                       | 41.291         | 26        | 54.930         | 26        | 55.760         | 30        | 45.990         | 26        | 57.520         | 26        | 48.000         | 24        | 36.500         | 25        | 39.010         |
| 10:00:00    | 12                       | 20.186         | 10        | 18.240         | 9         | 14.210         | 11        | 18.360         | 11        | 15.900         | 10        | 17.120         | 11        | 18.600         | 15        | 24.830         |
| 11:00:00    | 23                       | 39.026         | 27        | 56.460         | 25        | 53.260         | 36        | 65.330         | 15        | 33.160         | 26        | 57.040         | 25        | 43.190         | 25        | 45.110         |
| 12:00:00    | 24                       | 41.038         | 22        | 45.230         | 23        | 45.540         | 16        | 28.200         | 18        | 34.630         | 21        | 44.880         | 22        | 38.750         | 21        | 38.540         |
| 13:00:00    | 19                       | 37.087         | 20        | 37.380         | 21        | 37.120         | 21        | 38.240         | 19        | 36.120         | 19        | 36.480         | 22        | 35.480         | 19        | 35.190         |
| 14:00:00    | 29                       | 45.122         | 27        | 49.920         | 26        | 48.890         | 25        | 39.340         | 20        | 44.400         | 26        | 45.520         | 26        | 41.830         | 18        | 31.800         |
| 15:00:00    | 21                       | 35.105         | 19        | 38.080         | 19        | 38.880         | 20        | 34.980         | 21        | 42.110         | 17        | 36.670         | 24        | 37.570         | 47        | 69.920         |
| 16:00:00    | 26                       | 41.647         | 21        | 39.390         | 24        | 42.700         | 23        | 37.650         | 24        | 45.390         | 23        | 42.560         | 22        | 38.770         | 45        | 77.020         |
| 17:00:00    | 26                       | 45.613         | 24        | 44.810         | 23        | 42.360         | 24        | 40.020         | 29        | 51.200         | 25        | 43.420         | 27        | 43.450         | 56        | 91.570         |
| 18:00:00    | 17                       | 29.234         | 14        | 29.330         | 14        | 32.970         | 16        | 28.460         | 20        | 38.390         | 15        | 31.280         | 19        | 31.800         | 39        | 64.230         |
| 19:00:00    | 24                       | 39.025         | 24        | 41.390         | 25        | 46.410         | 27        | 46.490         | 19        | 33.700         | 25        | 43.780         | 23        | 36.580         | 38        | 63.320         |
| 20:00:00    | 24                       | 42.672         | 26        | 47.930         | 25        | 48.410         | 22        | 42.020         | 28        | 48.740         | 23        | 45.480         | 27        | 46.870         | 29        | 49.830         |
| 21:00:00    | 16                       | 29.145         | 19        | 36.810         | 17        | 35.040         | 16        | 27.550         | 17        | 36.170         | 16        | 32.060         | 14        | 26.550         | 20        | 33.430         |
| 22:00:00    | 24                       | 39.057         | 30        | 58.950         | 24        | 49.720         | 29        | 48.140         | 24        | 50.840         | 24        | 51.630         | 29        | 45.300         | 32        | 53.140         |
| 23:00:00    | 26                       | 43.728         | 23        | 41.420         | 23        | 44.460         | 24        | 38.960         | 27        | 51.190         | 22        | 41.250         | 22        | 34.330         | 30        | 45.520         |
|             |                          | <b>639.802</b> |           | <b>716.710</b> |           | <b>714.860</b> |           | <b>663.540</b> |           | <b>691.790</b> |           | <b>692.410</b> |           | <b>627.210</b> |           | <b>879.510</b> |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor SP-04 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|             | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 5                        | 6.859          | 3         | 4.210          | 3         | 4.210          | 5         | 6.860          | 3         | 4.210          | 3         | 4.210          | 5         | 6.860          | 8         | 11.360         |
| 01:00:00    | 4                        | 5.517          | 4         | 5.370          | 3         | 4.180          | 4         | 5.520          | 4         | 5.370          | 3         | 4.180          | 4         | 5.520          | 19        | 32.010         |
| 02:00:00    | 5                        | 6.998          | 6         | 8.310          | 5         | 7.000          | 5         | 6.980          | 6         | 8.310          | 5         | 7.000          | 5         | 6.990          | 12        | 18.320         |
| 03:00:00    | 1                        | 1.462          | 0         | 0              | 1         | 1.480          | 1         | 1.460          | 0         | 0              | 1         | 1.480          | 1         | 1.460          | 1         | 1.460          |
| 04:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 06:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 07:00:00    | 5                        | 6.947          | 5         | 6.980          | 5         | 6.980          | 5         | 6.950          | 5         | 8.680          | 5         | 6.980          | 7         | 9.580          | 7         | 9.580          |
| 08:00:00    | 13                       | 28.565         | 14        | 27.640         | 14        | 27.650         | 14        | 29.440         | 13        | 26.990         | 14        | 28.130         | 15        | 30.610         | 15        | 30.610         |
| 09:00:00    | 20                       | 36.492         | 20        | 36.040         | 21        | 37.910         | 22        | 38.100         | 24        | 53.650         | 22        | 52.320         | 23        | 41.510         | 24        | 41.820         |
| 10:00:00    | 11                       | 19.764         | 9         | 14.520         | 9         | 14.120         | 12        | 20.770         | 17        | 33.530         | 9         | 14.900         | 13        | 23.200         | 13        | 23.290         |
| 11:00:00    | 17                       | 32.406         | 16        | 33.930         | 16        | 34.050         | 23        | 44.910         | 29        | 47.720         | 16        | 43.840         | 17        | 33.740         | 18        | 35.000         |
| 12:00:00    | 15                       | 28.664         | 14        | 31.660         | 14        | 32.110         | 14        | 26.420         | 14        | 27.410         | 13        | 40.150         | 17        | 30.170         | 17        | 31.710         |
| 13:00:00    | 15                       | 28.839         | 9         | 16.110         | 10        | 20.590         | 13        | 27.070         | 14        | 22.160         | 14        | 34.730         | 16        | 29.490         | 15        | 29.380         |
| 14:00:00    | 17                       | 30.974         | 18        | 33.540         | 18        | 33.360         | 20        | 33.920         | 16        | 25.320         | 19        | 43.620         | 22        | 37.030         | 20        | 32.410         |
| 15:00:00    | 18                       | 31.937         | 14        | 28.070         | 14        | 28.040         | 16        | 30.490         | 17        | 28.890         | 14        | 30.570         | 19        | 34.780         | 21        | 34.130         |
| 16:00:00    | 12                       | 25.435         | 9         | 15.240         | 11        | 23.980         | 15        | 28.520         | 15        | 51.780         | 13        | 39.240         | 13        | 25.590         | 26        | 44.190         |
| 17:00:00    | 17                       | 36.512         | 19        | 37.110         | 18        | 36.210         | 21        | 37.440         | 22        | 55.510         | 21        | 53.470         | 23        | 41.990         | 33        | 54.990         |
| 18:00:00    | 14                       | 29.160         | 14        | 30.480         | 13        | 29.710         | 13        | 27.810         | 20        | 65.850         | 14        | 33.450         | 15        | 30.160         | 23        | 39.130         |
| 19:00:00    | 20                       | 37.284         | 24        | 38.370         | 23        | 40.630         | 24        | 41.500         | 20        | 49.370         | 23        | 52.420         | 24        | 41.400         | 29        | 49.990         |
| 20:00:00    | 17                       | 29.273         | 19        | 32.320         | 14        | 25.810         | 15        | 26.320         | 14        | 30.920         | 14        | 27.660         | 17        | 29.130         | 16        | 28.270         |
| 21:00:00    | 16                       | 32.023         | 23        | 45.330         | 18        | 41.720         | 18        | 36.690         | 16        | 42.530         | 18        | 46.030         | 17        | 35.850         | 17        | 32.390         |
| 22:00:00    | 25                       | 41.614         | 24        | 42.140         | 19        | 36.670         | 22        | 41.410         | 25        | 48.940         | 20        | 45.000         | 23        | 39.540         | 27        | 46.280         |
| 23:00:00    | 17                       | 31.195         | 17        | 31.740         | 15        | 30.470         | 17        | 31.570         | 21        | 54.100         | 17        | 33.840         | 20        | 33.210         | 19        | 36.260         |
|             |                          | <b>527.920</b> |           | <b>519.110</b> |           | <b>516.880</b> |           | <b>550.150</b> |           | <b>691.240</b> |           | <b>643.220</b> |           | <b>567.810</b> |           | <b>662.580</b> |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-05 |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|             | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 11                       | 20.449      | 13        | 25.470      | 13        | 25.320      | 11        | 20.760      | 12        | 23.320      | 12        | 24.170      | 11        | 20.470      | 6         | 9.150       |
| 01:00:00    | 17                       | 33.560      | 17        | 34.130      | 17        | 31.660      | 17        | 33.320      | 17        | 32.390      | 17        | 33.300      | 17        | 32.650      | 8         | 11.800      |
| 02:00:00    | 19                       | 35.409      | 18        | 32.570      | 20        | 35.010      | 19        | 34.420      | 18        | 32.030      | 20        | 36.450      | 19        | 33.510      | 19        | 30.180      |
| 03:00:00    | 4                        | 5.659       | 2         | 2.780       | 2         | 2.780       | 2         | 2.900       | 2         | 2.780       | 2         | 2.780       | 4         | 6.110       | 3         | 4.180       |
| 04:00:00    | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 05:00:00    | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.550       |
| 06:00:00    | 2                        | 3.523       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       | 2         | 3.520       |
| 07:00:00    | 5                        | 7.017       | 5         | 6.960       | 5         | 6.960       | 5         | 7.020       | 5         | 8.990       | 5         | 6.960       | 5         | 7.020       | 5         | 7.020       |
| 08:00:00    | 7                        | 9.807       | 10        | 15.290      | 10        | 15.290      | 10        | 15.630      | 10        | 21.710      | 10        | 15.290      | 7         | 9.820       | 7         | 9.820       |
| 09:00:00    | 11                       | 21.763      | 13        | 25.610      | 14        | 27.350      | 11        | 22.130      | 13        | 24.780      | 12        | 25.410      | 9         | 13.350      | 10        | 16.690      |
| 10:00:00    | 14                       | 23.418      | 14        | 23.510      | 15        | 24.790      | 16        | 26.840      | 19        | 32.340      | 14        | 25.030      | 16        | 26.980      | 17        | 29.300      |
| 11:00:00    | 16                       | 33.724      | 17        | 36.770      | 17        | 38.710      | 17        | 32.230      | 32        | 58.110      | 16        | 38.870      | 16        | 33.730      | 14        | 29.210      |
| 12:00:00    | 13                       | 27.678      | 24        | 44.200      | 23        | 41.740      | 20        | 35.430      | 19        | 35.640      | 18        | 34.400      | 14        | 30.220      | 15        | 29.260      |
| 13:00:00    | 21                       | 40.961      | 14        | 25.890      | 17        | 30.660      | 14        | 25.250      | 14        | 22.170      | 18        | 33.260      | 18        | 33.750      | 17        | 31.210      |
| 14:00:00    | 12                       | 27.865      | 16        | 25.700      | 14        | 22.470      | 14        | 24.420      | 5         | 7.410       | 15        | 24.100      | 17        | 28.480      | 22        | 37.080      |
| 15:00:00    | 20                       | 35.644      | 17        | 41.920      | 17        | 38.630      | 17        | 32.830      | 19        | 33.750      | 18        | 40.560      | 13        | 25.760      | 1         | 1.750       |
| 16:00:00    | 8                        | 11.608      | 8         | 12.080      | 9         | 13.850      | 7         | 9.530       | 16        | 38.080      | 7         | 10.540      | 10        | 16.700      | 1         | 1.590       |
| 17:00:00    | 13                       | 25.916      | 17        | 29.240      | 17        | 28.460      | 17        | 30.420      | 13        | 25.330      | 17        | 28.460      | 12        | 22.380      | 2         | 2.920       |
| 18:00:00    | 13                       | 23.052      | 12        | 22.080      | 10        | 17.280      | 10        | 16.680      | 12        | 20.270      | 10        | 17.280      | 16        | 29.240      | 7         | 9.910       |
| 19:00:00    | 15                       | 26.114      | 23        | 39.800      | 23        | 40.430      | 21        | 37.010      | 16        | 35.050      | 22        | 37.970      | 19        | 32.860      | 13        | 25.250      |
| 20:00:00    | 18                       | 34.723      | 16        | 32.860      | 16        | 31.990      | 15        | 29.800      | 16        | 30.960      | 15        | 29.740      | 11        | 22.280      | 24        | 41.570      |
| 21:00:00    | 21                       | 37.047      | 26        | 45.610      | 22        | 39.270      | 23        | 43.750      | 20        | 37.840      | 22        | 38.780      | 23        | 40.600      | 28        | 50.220      |
| 22:00:00    | 17                       | 28.094      | 14        | 26.290      | 15        | 26.090      | 14        | 23.950      | 21        | 33.420      | 14        | 24.650      | 15        | 26.110      | 12        | 19.680      |
| 23:00:00    | 15                       | 32.519      | 14        | 31.820      | 14        | 30.500      | 15        | 30.460      | 17        | 33.120      | 13        | 30.560      | 19        | 35.360      | 9         | 13.130      |
|             |                          | 545.550     |           | 584.100     |           | 572.760     |           | 538.300     |           | 593.010     |           | 562.080     |           | 530.900     |           | 415.990     |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-06 |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Time        | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
|             | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 17                       | 29.464      | 18        | 33.560      | 18        | 31.970      | 17        | 27.740      | 18        | 33.160      | 18        | 31.970      | 17        | 30.400      | 14        | 26.550      |
| 01:00:00    | 34                       | 52.195      | 35        | 60.630      | 35        | 57.400      | 36        | 54.710      | 35        | 60.050      | 35        | 63.370      | 35        | 53.100      | 26        | 43.370      |
| 02:00:00    | 31                       | 54.886      | 29        | 47.960      | 30        | 52.500      | 30        | 48.480      | 28        | 46.460      | 30        | 52.430      | 31        | 48.570      | 26        | 39.610      |
| 03:00:00    | 23                       | 44.880      | 20        | 49.190      | 19        | 41.620      | 21        | 38.020      | 20        | 41.190      | 19        | 40.390      | 24        | 44.350      | 22        | 38.160      |
| 04:00:00    | 4                        | 5.530       | 3         | 5.610       | 3         | 5.610       | 4         | 5.540       | 3         | 5.610       | 3         | 5.610       | 4         | 5.440       | 3         | 4.240       |
| 05:00:00    | 5                        | 7.337       | 4         | 8.240       | 4         | 8.240       | 5         | 7.340       | 4         | 8.240       | 4         | 7.920       | 5         | 7.360       | 5         | 7.260       |
| 06:00:00    | 7                        | 9.946       | 7         | 10.930      | 7         | 10.930      | 7         | 9.980       | 7         | 10.930      | 7         | 10.930      | 7         | 9.960       | 7         | 9.960       |
| 07:00:00    | 13                       | 28.499      | 12        | 30.150      | 12        | 30.140      | 13        | 27.860      | 12        | 30.540      | 12        | 30.130      | 13        | 29.720      | 13        | 28.440      |
| 08:00:00    | 16                       | 34.092      | 17        | 38.740      | 17        | 40.860      | 16        | 32.430      | 16        | 38.710      | 17        | 39.450      | 15        | 31.620      | 15        | 31.620      |
| 09:00:00    | 38                       | 72.382      | 40        | 103.850     | 40        | 100.350     | 42        | 84.400      | 40        | 94.490      | 40        | 98.490      | 37        | 69.500      | 34        | 67.830      |
| 10:00:00    | 32                       | 55.945      | 31        | 62.120      | 29        | 60.020      | 31        | 55.320      | 29        | 60.200      | 31        | 61.710      | 32        | 61.120      | 29        | 57.430      |
| 11:00:00    | 35                       | 59.012      | 35        | 64.720      | 36        | 76.600      | 33        | 59.400      | 34        | 58.610      | 37        | 72.870      | 35        | 60.360      | 29        | 56.520      |
| 12:00:00    | 40                       | 71.662      | 47        | 104.880     | 45        | 94.950      | 41        | 68.100      | 31        | 51.610      | 41        | 87.190      | 41        | 68.690      | 39        | 67.570      |
| 13:00:00    | 44                       | 80.913      | 38        | 80.380      | 39        | 95.310      | 40        | 70.580      | 12        | 19.540      | 42        | 86.380      | 42        | 72.100      | 40        | 70.930      |
| 14:00:00    | 33                       | 56.457      | 35        | 78.300      | 36        | 80.970      | 34        | 61.540      | 8         | 13.380      | 31        | 67.220      | 36        | 66.560      | 28        | 64.500      |
| 15:00:00    | 36                       | 63.728      | 37        | 79.060      | 37        | 75.700      | 35        | 61.450      | 35        | 62.540      | 36        | 76.430      | 36        | 61.890      | 11        | 14.480      |
| 16:00:00    | 30                       | 56.051      | 27        | 53.870      | 27        | 52.770      | 26        | 44.780      | 42        | 77.920      | 27        | 54.590      | 30        | 51.240      | 8         | 10.890      |
| 17:00:00    | 34                       | 67.951      | 34        | 72.100      | 38        | 81.100      | 39        | 67.610      | 44        | 93.440      | 37        | 76.970      | 35        | 63.270      | 18        | 25.110      |
| 18:00:00    | 33                       | 61.360      | 30        | 64.230      | 32        | 71.910      | 30        | 53.210      | 40        | 83.310      | 32        | 73.050      | 34        | 53.860      | 17        | 24.600      |
| 19:00:00    | 36                       | 61.314      | 25        | 52.000      | 37        | 72.080      | 37        | 56.500      | 35        | 76.990      | 38        | 69.480      | 36        | 58.390      | 41        | 60.230      |
| 20:00:00    | 38                       | 65.678      | 37        | 69.670      | 39        | 75.940      | 39        | 66.990      | 40        | 78.340      | 40        | 75.110      | 36        | 66.950      | 52        | 74.720      |
| 21:00:00    | 44                       | 79.910      | 42        | 98.640      | 40        | 81.050      | 46        | 75.690      | 41        | 93.590      | 42        | 91.800      | 46        | 79.290      | 56        | 83.680      |
| 22:00:00    | 38                       | 62.732      | 38        | 77.620      | 36        | 64.800      | 40        | 70.150      | 41        | 81.990      | 41        | 85.860      | 43        | 76.880      | 42        | 72.570      |
| 23:00:00    | 42                       | 64.395      | 38        | 104.160     | 38        | 82.840      | 40        | 75.590      | 48        | 127.200     | 40        | 95.210      | 47        | 85.830      | 38        | 72.890      |
|             |                          | 1.246.319   |           | 1.450.610   |           | 1.445.660   |           | 1.223.410   |           | 1.348.040   |           | 1.454.560   |           | 1.256.450   |           | 1.053.160   |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor SP-07 |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|             | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 26                       | 39.211      | 28        | 41.700      | 28        | 41.970      | 29        | 41.380      | 29        | 43.580      | 29        | 43.320      | 26        | 37.930      | 15        | 21.940      |
| 01:00:00    | 23                       | 34.867      | 24        | 42.420      | 24        | 41.560      | 23        | 34.920      | 24        | 42.060      | 22        | 38.980      | 24        | 36.540      | 22        | 34.090      |
| 02:00:00    | 23                       | 37.420      | 21        | 37.070      | 21        | 38.040      | 20        | 33.830      | 21        | 39.640      | 20        | 40.530      | 19        | 31.200      | 22        | 34.730      |
| 03:00:00    | 17                       | 28.415      | 15        | 30.460      | 16        | 31.820      | 18        | 27.620      | 16        | 31.270      | 16        | 31.680      | 20        | 31.420      | 36        | 51.500      |
| 04:00:00    | 2                        | 2.879       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       | 3         | 4.090       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       | 1         | 1.620       | 2         | 3.070       |
| 05:00:00    | 4                        | 5.525       | 3         | 4.190       | 3         | 4.180       | 3         | 4.180       | 3         | 4.180       | 3         | 4.190       | 4         | 5.280       | 4         | 5.280       |
| 06:00:00    | 7                        | 10.009      | 7         | 10.080      | 7         | 10.080      | 7         | 10.000      | 7         | 10.940      | 7         | 10.090      | 8         | 11.460      | 8         | 11.460      |
| 07:00:00    | 4                        | 5.510       | 5         | 7.750       | 5         | 7.750       | 4         | 5.520       | 5         | 7.760       | 5         | 7.760       | 4         | 5.560       | 4         | 5.560       |
| 08:00:00    | 9                        | 14.634      | 11        | 22.430      | 11        | 24.640      | 11        | 17.900      | 9         | 15.590      | 11        | 24.820      | 9         | 12.840      | 9         | 12.840      |
| 09:00:00    | 32                       | 50.439      | 36        | 73.810      | 35        | 74.380      | 38        | 55.660      | 27        | 56.000      | 37        | 76.780      | 35        | 51.760      | 37        | 54.680      |
| 10:00:00    | 44                       | 64.011      | 39        | 66.990      | 40        | 64.420      | 39        | 60.310      | 27        | 41.730      | 42        | 68.870      | 45        | 66.380      | 51        | 74.590      |
| 11:00:00    | 51                       | 74.013      | 43        | 72.770      | 45        | 72.840      | 47        | 65.920      | 37        | 62.420      | 50        | 77.240      | 45        | 64.390      | 51        | 73.360      |
| 12:00:00    | 41                       | 64.082      | 43        | 76.480      | 42        | 74.340      | 45        | 66.310      | 27        | 41.170      | 30        | 56.110      | 48        | 70.940      | 45        | 65.660      |
| 13:00:00    | 43                       | 69.708      | 34        | 61.700      | 34        | 59.960      | 39        | 57.050      | 28        | 45.800      | 47        | 77.470      | 40        | 60.260      | 41        | 60.910      |
| 14:00:00    | 36                       | 53.706      | 35        | 63.240      | 38        | 63.710      | 39        | 57.720      | 44        | 70.980      | 44        | 80.110      | 36        | 54.040      | 57        | 87.210      |
| 15:00:00    | 42                       | 66.646      | 42        | 75.330      | 42        | 78.130      | 43        | 61.090      | 49        | 83.360      | 42        | 76.070      | 45        | 66.880      | 46        | 64.150      |
| 16:00:00    | 45                       | 62.798      | 41        | 61.650      | 43        | 66.650      | 46        | 64.140      | 50        | 76.770      | 47        | 73.240      | 44        | 62.440      | 44        | 61.350      |
| 17:00:00    | 43                       | 64.270      | 29        | 52.910      | 39        | 68.010      | 43        | 62.640      | 40        | 67.030      | 43        | 69.950      | 45        | 66.470      | 46        | 66.180      |
| 18:00:00    | 41                       | 63.071      | 38        | 69.740      | 38        | 73.180      | 40        | 63.750      | 36        | 58.640      | 40        | 72.220      | 42        | 62.760      | 48        | 66.380      |
| 19:00:00    | 42                       | 68.240      | 30        | 48.520      | 39        | 66.370      | 42        | 60.540      | 34        | 57.260      | 42        | 70.480      | 43        | 65.290      | 53        | 76.350      |
| 20:00:00    | 46                       | 70.133      | 38        | 64.060      | 42        | 70.680      | 47        | 69.750      | 37        | 65.630      | 46        | 76.300      | 44        | 65.420      | 47        | 68.680      |
| 21:00:00    | 45                       | 66.801      | 43        | 77.820      | 43        | 68.620      | 44        | 67.620      | 40        | 72.040      | 43        | 72.030      | 42        | 62.040      | 45        | 65.060      |
| 22:00:00    | 48                       | 75.505      | 40        | 69.120      | 46        | 81.490      | 45        | 67.640      | 39        | 66.330      | 48        | 93.140      | 47        | 72.480      | 49        | 71.060      |
| 23:00:00    | 40                       | 58.516      | 35        | 56.830      | 40        | 58.860      | 38        | 56.260      | 44        | 73.290      | 40        | 62.260      | 43        | 63.250      | 41        | 61.760      |
|             |                          | 1.150.409   |           | 1.189.930   |           | 1.244.540   |           | 1.115.840   |           | 1.136.330   |           | 1.306.500   |           | 1.128.650   |           | 1.197.850   |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-07 Baixo |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                   | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time              | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00          | 14                       | 31.844      | 15        | 36.740      | 15        | 35.570      | 15        | 31.440      | 15        | 36.290      | 15        | 35.960      | 14        | 29.030      | 9         | 18.050      |
| 01:00:00          | 9                        | 17.470      | 7         | 16.000      | 7         | 18.550      | 7         | 14.240      | 7         | 16.850      | 7         | 18.750      | 9         | 17.460      | 9         | 17.470      |
| 02:00:00          | 7                        | 13.762      | 7         | 15.520      | 7         | 16.350      | 7         | 13.760      | 7         | 16.350      | 7         | 16.350      | 5         | 10.190      | 5         | 9.340       |
| 03:00:00          | 3                        | 5.112       | 3         | 5.710       | 3         | 5.710       | 3         | 4.520       | 3         | 5.710       | 3         | 6.610       | 4         | 6.890       | 6         | 10.150      |
| 04:00:00          | 1                        | 2.262       | 1         | 2.260       | 1         | 2.260       | 1         | 2.260       | 1         | 2.260       | 1         | 2.260       | 1         | 1.710       | 2         | 3.030       |
| 05:00:00          | 2                        | 3.789       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 3.790       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 3         | 5.360       | 3         | 5.360       |
| 06:00:00          | 2                        | 4.384       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       |
| 07:00:00          | 2                        | 4.385       | 2         | 4.380       | 2         | 4.380       | 2         | 4.390       | 2         | 4.390       | 2         | 4.390       | 2         | 4.390       | 2         | 4.390       |
| 08:00:00          | 3                        | 5.912       | 3         | 6.500       | 3         | 6.500       | 3         | 5.910       | 3         | 6.500       | 3         | 6.500       | 3         | 5.910       | 3         | 5.910       |
| 09:00:00          | 12                       | 25.056      | 12        | 34.420      | 12        | 30.860      | 13        | 27.470      | 8         | 22.300      | 13        | 33.730      | 12        | 24.820      | 12        | 24.730      |
| 10:00:00          | 17                       | 32.853      | 16        | 36.630      | 17        | 39.500      | 14        | 29.480      | 11        | 32.010      | 15        | 39.030      | 15        | 30.860      | 15        | 29.500      |
| 11:00:00          | 23                       | 46.345      | 21        | 56.460      | 21        | 56.450      | 22        | 42.320      | 18        | 53.240      | 23        | 60.590      | 20        | 38.330      | 23        | 42.710      |
| 12:00:00          | 14                       | 26.870      | 14        | 32.690      | 14        | 31.740      | 14        | 27.320      | 10        | 23.080      | 9         | 20.440      | 18        | 34.800      | 15        | 29.290      |
| 13:00:00          | 15                       | 29.899      | 11        | 27.030      | 11        | 25.090      | 13        | 28.430      | 14        | 27.240      | 17        | 41.570      | 15        | 30.530      | 15        | 29.820      |
| 14:00:00          | 15                       | 31.625      | 15        | 34.900      | 15        | 34.360      | 15        | 30.480      | 26        | 57.540      | 18        | 39.950      | 14        | 29.460      | 28        | 53.840      |
| 15:00:00          | 17                       | 32.603      | 16        | 39.020      | 16        | 37.170      | 17        | 32.390      | 20        | 45.380      | 18        | 41.480      | 17        | 33.020      | 31        | 55.830      |
| 16:00:00          | 22                       | 44.649      | 23        | 57.120      | 23        | 54.030      | 25        | 50.710      | 25        | 73.170      | 25        | 59.810      | 22        | 43.300      | 27        | 53.210      |
| 17:00:00          | 16                       | 30.868      | 13        | 27.300      | 10        | 23.340      | 13        | 24.450      | 14        | 39.570      | 13        | 31.170      | 15        | 31.060      | 24        | 43.800      |
| 18:00:00          | 10                       | 17.827      | 15        | 30.370      | 11        | 23.050      | 11        | 21.270      | 6         | 11.150      | 12        | 25.840      | 10        | 18.420      | 29        | 46.210      |
| 19:00:00          | 15                       | 28.978      | 15        | 35.650      | 15        | 37.180      | 16        | 30.400      | 13        | 34.530      | 16        | 35.770      | 16        | 30.640      | 16        | 30.000      |
| 20:00:00          | 16                       | 32.490      | 14        | 35.090      | 14        | 36.750      | 15        | 29.580      | 12        | 33.310      | 16        | 38.200      | 16        | 32.660      | 16        | 29.600      |
| 21:00:00          | 16                       | 35.015      | 15        | 36.120      | 15        | 38.500      | 15        | 30.710      | 14        | 36.070      | 15        | 36.750      | 17        | 32.670      | 17        | 35.170      |
| 22:00:00          | 14                       | 27.338      | 15        | 38.080      | 15        | 39.830      | 17        | 32.290      | 10        | 24.970      | 17        | 45.310      | 14        | 27.030      | 15        | 28.350      |
| 23:00:00          | 17                       | 37.508      | 16        | 36.110      | 16        | 36.550      | 19        | 38.230      | 18        | 43.250      | 18        | 39.190      | 17        | 34.990      | 16        | 34.180      |
|                   |                          | 568.844     |           | 652.860     |           | 642.480     |           | 560.220     |           | 653.920     |           | 688.410     |           | 557.910     |           | 644.320     |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-08 |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Time        | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
|             | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 13                       | 36.869      | 13        | 38.540      | 13        | 37.330      | 13        | 42.760      | 13        | 38.920      | 13        | 38.230      | 13        | 37.860      | 10        | 21.380      |
| 01:00:00    | 10                       | 22.170      | 11        | 29.400      | 11        | 30.240      | 11        | 29.030      | 11        | 28.780      | 11        | 30.730      | 12        | 31.350      | 14        | 32.440      |
| 02:00:00    | 8                        | 14.693      | 8         | 15.180      | 7         | 13.440      | 7         | 11.680      | 8         | 15.190      | 7         | 12.250      | 8         | 14.280      | 23        | 43.840      |
| 03:00:00    | 5                        | 7.462       | 5         | 9.510       | 5         | 8.910       | 6         | 10.030      | 5         | 9.210       | 5         | 8.310       | 5         | 8.770       | 13        | 27.310      |
| 04:00:00    | 3                        | 4.470       | 3         | 5.570       | 3         | 4.970       | 2         | 3.180       | 3         | 4.670       | 3         | 4.670       | 3         | 4.770       | 3         | 5.370       |
| 05:00:00    | 3                        | 4.665       | 3         | 5.470       | 3         | 4.570       | 3         | 4.670       | 3         | 4.860       | 3         | 4.270       | 2         | 3.540       | 2         | 3.540       |
| 06:00:00    | 3                        | 4.777       | 3         | 5.380       | 3         | 5.380       | 3         | 4.780       | 3         | 4.780       | 3         | 4.780       | 3         | 4.880       | 3         | 4.880       |
| 07:00:00    | 5                        | 7.927       | 5         | 9.130       | 5         | 8.530       | 5         | 7.950       | 5         | 9.130       | 5         | 7.930       | 5         | 7.340       | 5         | 7.340       |
| 08:00:00    | 6                        | 9.086       | 9         | 16.580      | 9         | 16.880      | 6         | 9.960       | 7         | 11.690      | 9         | 16.880      | 6         | 9.420       | 6         | 9.420       |
| 09:00:00    | 25                       | 62.225      | 27        | 62.800      | 26        | 58.380      | 29        | 64.900      | 24        | 57.220      | 27        | 60.240      | 26        | 61.910      | 25        | 59.870      |
| 10:00:00    | 30                       | 64.816      | 32        | 71.910      | 33        | 74.160      | 32        | 66.480      | 23        | 54.770      | 33        | 72.870      | 28        | 63.250      | 28        | 66.250      |
| 11:00:00    | 34                       | 70.261      | 31        | 66.580      | 33        | 70.480      | 34        | 70.460      | 25        | 42.960      | 33        | 72.430      | 25        | 56.970      | 32        | 69.210      |
| 12:00:00    | 29                       | 64.683      | 28        | 63.380      | 25        | 57.620      | 26        | 60.340      | 25        | 21.750      | 19        | 46.510      | 27        | 62.470      | 27        | 62.730      |
| 13:00:00    | 34                       | 73.972      | 32        | 68.930      | 32        | 67.710      | 32        | 67.920      | 37        | 59.210      | 34        | 74.410      | 35        | 74.450      | 32        | 68.810      |
| 14:00:00    | 25                       | 57.923      | 28        | 61.970      | 28        | 59.070      | 27        | 57.920      | 35        | 59.370      | 29        | 66.160      | 28        | 62.880      | 26        | 63.250      |
| 15:00:00    | 28                       | 62.507      | 27        | 62.590      | 28        | 63.750      | 26        | 59.310      | 45        | 77.240      | 26        | 58.690      | 24        | 55.210      | 24        | 62.100      |
| 16:00:00    | 25                       | 57.209      | 27        | 60.450      | 27        | 59.160      | 26        | 57.270      | 53        | 107.870     | 26        | 58.830      | 25        | 55.650      | 26        | 61.630      |
| 17:00:00    | 27                       | 61.759      | 33        | 67.810      | 29        | 64.980      | 29        | 64.870      | 46        | 99.940      | 29        | 67.930      | 29        | 63.110      | 26        | 65.460      |
| 18:00:00    | 28                       | 61.766      | 31        | 71.170      | 29        | 65.560      | 29        | 64.630      | 40        | 83.120      | 29        | 64.170      | 28        | 64.400      | 18        | 36.270      |
| 19:00:00    | 24                       | 55.109      | 30        | 62.270      | 27        | 60.400      | 29        | 63.350      | 39        | 81.150      | 28        | 64.170      | 25        | 59.500      | 22        | 52.780      |
| 20:00:00    | 29                       | 62.435      | 34        | 73.340      | 33        | 71.500      | 31        | 65.060      | 43        | 117.010     | 31        | 70.030      | 27        | 61.140      | 29        | 72.980      |
| 21:00:00    | 32                       | 71.593      | 33        | 71.050      | 33        | 65.140      | 34        | 70.450      | 47        | 118.430     | 34        | 70.780      | 36        | 79.360      | 35        | 79.340      |
| 22:00:00    | 36                       | 77.682      | 39        | 80.180      | 38        | 78.630      | 37        | 79.420      | 48        | 120.850     | 39        | 83.570      | 31        | 71.400      | 43        | 87.010      |
| 23:00:00    | 28                       | 70.964      | 30        | 63.760      | 29        | 62.290      | 29        | 60.650      | 45        | 105.640     | 28        | 62.170      | 32        | 72.080      | 36        | 71.040      |
|             |                          | 1.087.023   |           | 1.142.950   |           | 1.109.080   |           | 1.097.070   |           | 1.333.760   |           | 1.121.010   |           | 1.085.990   |           | 1.134.250   |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-09 GR |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|----------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Time           | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
|                | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00       | 25                       | 42.545      | 27        | 46.270      | 27        | 47.190      | 27        | 45.550      | 27        | 46.990      | 27        | 46.990      | 24        | 41.440      | 24        | 40.330      |
| 01:00:00       | 36                       | 61.135      | 35        | 65.210      | 35        | 63.220      | 35        | 58.490      | 36        | 62.520      | 35        | 62.310      | 35        | 58.840      | 35        | 57.980      |
| 02:00:00       | 34                       | 58.222      | 33        | 56.900      | 32        | 55.750      | 32        | 59.090      | 33        | 56.320      | 32        | 53.460      | 33        | 57.680      | 32        | 51.880      |
| 03:00:00       | 25                       | 45.700      | 26        | 52.110      | 25        | 51.990      | 25        | 48.940      | 26        | 50.480      | 25        | 53.640      | 28        | 49.070      | 32        | 52.750      |
| 04:00:00       | 8                        | 11.534      | 9         | 14.320      | 8         | 12.010      | 8         | 11.520      | 8         | 12.020      | 8         | 12.020      | 8         | 11.580      | 8         | 11.770      |
| 05:00:00       | 8                        | 11.623      | 8         | 12.940      | 8         | 12.940      | 8         | 11.620      | 8         | 12.920      | 8         | 12.610      | 8         | 11.730      | 8         | 11.720      |
| 06:00:00       | 9                        | 13.994      | 10        | 17.810      | 10        | 18.600      | 9         | 14.580      | 10        | 17.760      | 10        | 18.610      | 9         | 14.610      | 9         | 14.610      |
| 07:00:00       | 14                       | 29.995      | 16        | 35.030      | 16        | 35.030      | 16        | 31.000      | 16        | 34.890      | 16        | 34.980      | 15        | 31.350      | 15        | 31.950      |
| 08:00:00       | 20                       | 36.992      | 22        | 44.070      | 22        | 43.200      | 22        | 41.640      | 21        | 40.600      | 22        | 41.770      | 21        | 41.280      | 21        | 41.280      |
| 09:00:00       | 43                       | 73.584      | 43        | 83.150      | 43        | 88.360      | 45        | 81.980      | 42        | 93.810      | 43        | 88.850      | 43        | 76.870      | 44        | 84.010      |
| 10:00:00       | 40                       | 76.119      | 40        | 86.240      | 40        | 89.720      | 39        | 69.440      | 38        | 72.240      | 42        | 92.040      | 37        | 70.730      | 39        | 75.450      |
| 11:00:00       | 48                       | 75.558      | 45        | 88.330      | 47        | 89.690      | 46        | 78.250      | 43        | 72.080      | 47        | 94.000      | 48        | 85.430      | 49        | 84.310      |
| 12:00:00       | 43                       | 84.534      | 41        | 87.560      | 40        | 76.240      | 43        | 78.030      | 32        | 60.400      | 40        | 80.800      | 46        | 80.030      | 45        | 87.470      |
| 13:00:00       | 42                       | 73.510      | 41        | 83.230      | 41        | 75.500      | 44        | 81.300      | 20        | 39.590      | 44        | 90.810      | 42        | 81.390      | 40        | 71.090      |
| 14:00:00       | 42                       | 80.412      | 44        | 85.060      | 44        | 85.940      | 42        | 73.520      | 29        | 51.970      | 40        | 81.760      | 42        | 84.880      | 37        | 67.060      |
| 15:00:00       | 41                       | 66.181      | 42        | 81.160      | 41        | 79.210      | 43        | 77.090      | 45        | 80.450      | 40        | 72.080      | 41        | 67.940      | 38        | 62.410      |
| 16:00:00       | 41                       | 72.940      | 39        | 72.060      | 39        | 70.130      | 41        | 68.000      | 52        | 98.790      | 39        | 68.520      | 40        | 71.260      | 33        | 50.310      |
| 17:00:00       | 38                       | 69.199      | 38        | 75.380      | 39        | 91.070      | 40        | 73.450      | 50        | 98.820      | 38        | 91.540      | 40        | 70.260      | 37        | 61.780      |
| 18:00:00       | 41                       | 75.632      | 39        | 76.310      | 41        | 81.950      | 41        | 75.720      | 46        | 90.350      | 41        | 74.770      | 40        | 70.550      | 41        | 64.430      |
| 19:00:00       | 40                       | 68.833      | 32        | 62.800      | 40        | 79.780      | 40        | 75.380      | 42        | 88.150      | 40        | 75.230      | 40        | 73.850      | 45        | 68.780      |
| 20:00:00       | 40                       | 71.541      | 35        | 69.860      | 40        | 76.120      | 38        | 69.770      | 46        | 84.750      | 40        | 73.800      | 39        | 68.320      | 46        | 73.960      |
| 21:00:00       | 52                       | 93.024      | 53        | 112.970     | 49        | 100.050     | 50        | 85.520      | 48        | 93.300      | 48        | 95.710      | 47        | 85.200      | 49        | 86.860      |
| 22:00:00       | 44                       | 70.785      | 44        | 78.640      | 44        | 81.280      | 46        | 82.320      | 36        | 62.230      | 44        | 76.040      | 48        | 79.140      | 47        | 76.310      |
| 23:00:00       | 44                       | 70.745      | 46        | 87.440      | 46        | 81.440      | 48        | 96.270      | 54        | 98.020      | 46        | 88.380      | 48        | 87.020      | 45        | 83.690      |
|                |                          | 1.434.337   |           | 1.574.850   |           | 1.586.410   |           | 1.488.470   |           | 1.519.450   |           | 1.580.720   |           | 1.470.450   |           | 1.412.190   |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-10 SP |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|----------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Time           | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
|                | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00       | 13                       | 26.792      | 15        | 32.250      | 15        | 32.250      | 14        | 30.420      | 14        | 31.190      | 14        | 30.610      | 12        | 24.760      | 11        | 24.580      |
| 01:00:00       | 14                       | 29.188      | 13        | 34.450      | 13        | 33.980      | 13        | 28.470      | 13        | 33.980      | 13        | 33.150      | 14        | 31.020      | 15        | 31.560      |
| 02:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.360       |
| 03:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 6         | 8.120       |
| 04:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 05:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 06:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 07:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 08:00:00       | 6                        | 14.091      | 6         | 7.970       | 6         | 12.570      | 6         | 10.780      | 6         | 9.170       | 6         | 7.970       | 6         | 10.780      | 6         | 10.780      |
| 09:00:00       | 30                       | 60.405      | 32        | 76.950      | 34        | 79.780      | 33        | 69.480      | 28        | 69.380      | 32        | 75.610      | 29        | 53.460      | 30        | 57.180      |
| 10:00:00       | 34                       | 67.047      | 33        | 80.640      | 35        | 77.800      | 30        | 59.320      | 28        | 74.900      | 33        | 71.380      | 30        | 59.020      | 34        | 65.230      |
| 11:00:00       | 35                       | 68.237      | 34        | 81.880      | 36        | 90.740      | 40        | 78.290      | 25        | 61.530      | 35        | 78.280      | 34        | 63.950      | 35        | 64.600      |
| 12:00:00       | 32                       | 60.190      | 32        | 66.180      | 32        | 68.330      | 35        | 70.020      | 18        | 44.920      | 28        | 68.230      | 36        | 70.000      | 32        | 60.080      |
| 13:00:00       | 34                       | 66.111      | 31        | 75.860      | 33        | 76.780      | 34        | 65.270      | 13        | 33.820      | 37        | 87.110      | 34        | 64.480      | 32        | 58.750      |
| 14:00:00       | 35                       | 65.440      | 32        | 69.360      | 33        | 77.980      | 32        | 62.350      | 13        | 31.120      | 35        | 75.520      | 33        | 63.600      | 38        | 67.470      |
| 15:00:00       | 31                       | 64.812      | 32        | 81.820      | 32        | 86.420      | 33        | 65.530      | 20        | 47.560      | 32        | 75.710      | 36        | 66.610      | 40        | 68.350      |
| 16:00:00       | 30                       | 56.047      | 29        | 60.010      | 30        | 64.600      | 31        | 57.070      | 20        | 42.160      | 31        | 64.360      | 30        | 54.700      | 53        | 84.590      |
| 17:00:00       | 35                       | 69.973      | 32        | 70.300      | 33        | 75.840      | 35        | 69.650      | 41        | 101.840     | 35        | 75.240      | 35        | 72.170      | 55        | 91.210      |
| 18:00:00       | 31                       | 57.770      | 28        | 64.590      | 30        | 70.380      | 31        | 58.370      | 33        | 84.540      | 30        | 70.220      | 32        | 58.920      | 51        | 84.340      |
| 19:00:00       | 36                       | 68.410      | 28        | 64.660      | 35        | 84.390      | 36        | 70.820      | 29        | 60.960      | 35        | 75.870      | 36        | 69.130      | 43        | 80.170      |
| 20:00:00       | 35                       | 67.173      | 29        | 62.480      | 31        | 68.240      | 33        | 60.230      | 26        | 67.470      | 33        | 71.790      | 32        | 63.060      | 35        | 75.640      |
| 21:00:00       | 31                       | 64.421      | 31        | 65.930      | 31        | 67.000      | 30        | 60.300      | 25        | 55.450      | 31        | 72.750      | 31        | 60.740      | 31        | 58.840      |
| 22:00:00       | 36                       | 72.739      | 33        | 82.310      | 33        | 94.860      | 35        | 72.990      | 29        | 68.920      | 35        | 74.440      | 35        | 65.940      | 35        | 69.610      |
| 23:00:00       | 33                       | 58.072      | 31        | 70.330      | 31        | 69.440      | 32        | 59.020      | 32        | 80.010      | 31        | 63.790      | 31        | 58.750      | 34        | 65.560      |
|                |                          | 1.036.918   |           | 1.147.970   |           | 1.231.380   |           | 1.048.380   |           | 998.920     |           | 1.172.030   |           | 1.011.090   |           | 1.128.020   |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor SP-11 KP |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|----------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time           | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00       | 9                        | 16.559      | 12        | 30.110      | 12        | 30.110      | 12        | 27.550      | 13        | 33.280      | 12        | 30.110      | 9         | 14.770      | 10        | 19.180      |
| 01:00:00       | 23                       | 42.852      | 26        | 61.490      | 26        | 61.490      | 27        | 53.320      | 26        | 65.610      | 26        | 61.980      | 24        | 52.360      | 22        | 46.670      |
| 02:00:00       | 20                       | 37.162      | 15        | 33.700      | 15        | 34.270      | 15        | 31.560      | 15        | 32.970      | 15        | 32.970      | 18        | 38.210      | 19        | 37.910      |
| 03:00:00       | 2                        | 2.805       | 1         | 1.560       | 1         | 1.560       | 1         | 1.540       | 1         | 1.560       | 1         | 1.560       | 1         | 1.570       | 3         | 4.170       |
| 04:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 05:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 06:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 07:00:00       | 6                        | 8.116       | 6         | 8.160       | 6         | 8.160       | 6         | 8.120       | 4         | 5.580       | 6         | 8.160       | 6         | 8.200       | 6         | 8.200       |
| 08:00:00       | 10                       | 17.248      | 13        | 28.230      | 13        | 28.230      | 13        | 26.400      | 13        | 27.400      | 13        | 28.230      | 9         | 14.140      | 10        | 18.610      |
| 09:00:00       | 27                       | 44.477      | 25        | 49.810      | 26        | 48.580      | 24        | 43.030      | 26        | 49.070      | 26        | 50.970      | 22        | 40.270      | 22        | 40.270      |
| 10:00:00       | 18                       | 36.148      | 19        | 45.450      | 19        | 43.200      | 20        | 39.980      | 17        | 36.260      | 19        | 43.190      | 19        | 40.970      | 21        | 42.400      |
| 11:00:00       | 27                       | 52.695      | 31        | 76.230      | 31        | 67.620      | 35        | 67.420      | 32        | 87.510      | 33        | 80.760      | 29        | 56.430      | 28        | 53.050      |
| 12:00:00       | 27                       | 48.229      | 34        | 79.260      | 33        | 80.080      | 27        | 52.600      | 28        | 67.400      | 30        | 69.780      | 26        | 49.390      | 24        | 45.900      |
| 13:00:00       | 27                       | 52.527      | 23        | 47.210      | 24        | 53.660      | 23        | 41.360      | 21        | 45.720      | 25        | 48.880      | 28        | 54.530      | 24        | 47.020      |
| 14:00:00       | 28                       | 47.830      | 26        | 54.560      | 24        | 52.330      | 27        | 47.910      | 19        | 40.930      | 27        | 52.940      | 27        | 46.260      | 28        | 46.360      |
| 15:00:00       | 32                       | 56.720      | 32        | 69.720      | 31        | 74.300      | 29        | 53.840      | 30        | 64.380      | 31        | 60.650      | 28        | 55.150      | 27        | 48.480      |
| 16:00:00       | 23                       | 42.336      | 22        | 47.530      | 22        | 49.520      | 23        | 41.900      | 31        | 66.660      | 23        | 49.950      | 24        | 45.750      | 24        | 51.410      |
| 17:00:00       | 25                       | 45.537      | 27        | 54.240      | 26        | 51.030      | 27        | 48.820      | 29        | 61.240      | 26        | 52.580      | 28        | 51.730      | 28        | 51.040      |
| 18:00:00       | 21                       | 41.937      | 20        | 38.720      | 19        | 37.560      | 20        | 36.930      | 23        | 46.890      | 20        | 40.090      | 24        | 45.930      | 25        | 44.570      |
| 19:00:00       | 26                       | 50.086      | 34        | 78.640      | 32        | 70.960      | 33        | 65.500      | 21        | 43.140      | 33        | 73.010      | 27        | 51.830      | 27        | 49.870      |
| 20:00:00       | 29                       | 55.844      | 30        | 72.960      | 30        | 69.370      | 28        | 57.250      | 32        | 66.930      | 29        | 66.920      | 28        | 58.440      | 32        | 63.490      |
| 21:00:00       | 28                       | 46.973      | 30        | 69.140      | 30        | 67.150      | 30        | 54.390      | 26        | 51.650      | 30        | 67.670      | 30        | 52.970      | 29        | 54.560      |
| 22:00:00       | 28                       | 47.836      | 30        | 60.040      | 30        | 55.840      | 30        | 56.700      | 35        | 63.620      | 30        | 59.680      | 30        | 60.240      | 28        | 56.640      |
| 23:00:00       | 30                       | 52.127      | 27        | 56.600      | 27        | 52.490      | 27        | 47.520      | 31        | 66.400      | 27        | 53.140      | 28        | 54.370      | 26        | 51.520      |
|                |                          | 846.044     |           | 1.063.360   |           | 1.037.510   |           | 903.640     |           | 1.024.200   |           | 1.033.220   |           | 893.510     |           | 881.320     |

## Apêndice E – Continuação

| Setor SP-12 SJ |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|----------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time           | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00       | 1                        | 1.568       | 1         | 1.620       | 1         | 1.620       | 1         | 1.570       | 1         | 1.620       | 1         | 1.620       | 1         | 1.570       | 1         | 1.570       |
| 01:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 02:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 03:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 04:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 05:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 06:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 07:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 08:00:00       | 1                        | 1.462       | 1         | 1.460       | 1         | 1.460       | 1         | 1.460       | 0         | 0           | 1         | 1.460       | 1         | 1.500       | 1         | 1.500       |
| 09:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 10:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 11:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.360       | 0         | 0           |
| 12:00:00       | 1                        | 1.454       | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.450       | 2         | 2.800       |
| 13:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.460       | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.390       |
| 14:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 15:00:00       | 1                        | 1.576       | 1         | 1.560       | 1         | 1.560       | 1         | 1.580       | 0         | 0           | 1         | 1.560       | 1         | 1.580       | 1         | 1.580       |
| 16:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.560       | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 17:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.390       | 0         | 0           |
| 18:00:00       | 1                        | 1.454       | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.450       | 1         | 1.360       |
| 19:00:00       | 0                        | 0           | 1         | 1.530       | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 20:00:00       | 1                        | 1.930       | 1         | 1.930       | 1         | 1.930       | 1         | 1.930       | 1         | 1.930       | 1         | 1.930       | 1         | 1.580       | 1         | 1.580       |
| 21:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 22:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.230       |
| 23:00:00       | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.520       | 0         | 0           | 0         | 0           | 1         | 1.380       | 1         | 1.380       |
|                |                          | 9.444       |           | 8.100       |           | 6.570       |           | 8.060       |           | 6.570       |           | 6.570       |           | 13.260      |           | 14.390      |

## Apêndice E – Continuação

| Setor RJ-01 |                  |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Time        | Rodada 1 de Ref. |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
|             | No. Acft.        | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 3                | 3.949       | 3         | 4.180       | 3         | 4.180       | 3         | 4.200       | 3         | 4.190       | 3         | 4.180       | 3         | 3.950       | 3         | 3.950       |
| 01:00:00    | 2                | 2.727       | 1         | 1.460       | 1         | 1.460       | 1         | 1.470       | 1         | 1.460       | 1         | 1.460       | 2         | 3.830       | 2         | 3.830       |
| 02:00:00    | 0                | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 03:00:00    | 0                | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 04:00:00    | 0                | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 05:00:00    | 1                | 1.416       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       | 1         | 1.420       |
| 06:00:00    | 0                | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 07:00:00    | 0                | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 08:00:00    | 1                | 1.798       | 1         | 1.770       | 1         | 1.770       | 1         | 1.800       | 1         | 1.770       | 0         | 0           | 1         | 1.800       | 1         | 1.800       |
| 09:00:00    | 7                | 10.105      | 7         | 10.720      | 7         | 10.720      | 7         | 10.130      | 5         | 6.940       | 6         | 8.780       | 4         | 6.470       | 7         | 10.100      |
| 10:00:00    | 6                | 8.823       | 6         | 9.150       | 6         | 9.140       | 6         | 8.830       | 5         | 7.430       | 6         | 9.140       | 4         | 6.060       | 6         | 8.830       |
| 11:00:00    | 4                | 5.835       | 6         | 8.370       | 6         | 8.360       | 6         | 8.950       | 5         | 7.820       | 6         | 8.360       | 9         | 13.970      | 4         | 5.820       |
| 12:00:00    | 6                | 9.969       | 6         | 9.360       | 6         | 9.370       | 6         | 9.510       | 5         | 7.340       | 5         | 7.640       | 7         | 9.940       | 6         | 9.720       |
| 13:00:00    | 8                | 12.250      | 7         | 10.420      | 7         | 10.420      | 7         | 9.860       | 10        | 19.420      | 7         | 10.990      | 9         | 14.520      | 8         | 12.250      |
| 14:00:00    | 4                | 5.640       | 4         | 7.030       | 4         | 6.960       | 5         | 7.020       | 2         | 2.690       | 5         | 8.500       | 5         | 6.890       | 4         | 5.630       |
| 15:00:00    | 6                | 8.603       | 5         | 7.170       | 5         | 7.170       | 5         | 7.190       | 6         | 8.480       | 5         | 7.520       | 6         | 8.600       | 6         | 8.600       |
| 16:00:00    | 2                | 3.945       | 2         | 2.820       | 2         | 2.820       | 2         | 2.840       | 5         | 6.940       | 2         | 2.820       | 2         | 2.840       | 2         | 2.840       |
| 17:00:00    | 2                | 3.223       | 2         | 3.200       | 2         | 3.190       | 2         | 3.240       | 2         | 3.200       | 2         | 3.190       | 2         | 3.200       | 2         | 3.200       |
| 18:00:00    | 2                | 2.827       | 3         | 4.190       | 3         | 4.190       | 3         | 4.200       | 3         | 4.190       | 3         | 4.190       | 2         | 3.930       | 11        | 27.320      |
| 19:00:00    | 5                | 6.701       | 4         | 5.860       | 4         | 5.860       | 4         | 6.670       | 4         | 5.560       | 4         | 5.860       | 4         | 5.570       | 7         | 10.120      |
| 20:00:00    | 4                | 5.476       | 5         | 7.240       | 5         | 7.240       | 5         | 6.960       | 5         | 6.940       | 5         | 7.240       | 5         | 6.710       | 5         | 6.710       |
| 21:00:00    | 7                | 11.759      | 5         | 9.150       | 5         | 8.870       | 5         | 8.070       | 5         | 8.200       | 5         | 9.210       | 7         | 11.010      | 7         | 10.240      |
| 22:00:00    | 5                | 7.931       | 6         | 9.380       | 5         | 8.230       | 6         | 9.090       | 6         | 9.630       | 6         | 9.630       | 5         | 7.930       | 5         | 7.930       |
| 23:00:00    | 6                | 8.616       | 6         | 9.130       | 6         | 10.340      | 6         | 9.620       | 5         | 7.190       | 5         | 8.940       | 6         | 8.610       | 6         | 9.720       |
|             |                  | 121.593     |           | 122.020     |           | 121.710     |           | 121.070     |           | 120.810     |           | 119.070     |           | 127.250     |           | 150.030     |

## Apêndice E – Continuação

| Setor RJ-02 |                          |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |
|-------------|--------------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
|             | Rodada de Referência (1) |                  | Rodada 2  |                  | Rodada 3  |                  | Rodada 4  |                  | Rodada 5  |                  | Rodada 6  |                  | Rodada 7  |                  | Rodada 8  |                  |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      | No. Acft. | Carga Trab.      |
| 00:00:00    | 19                       | 40.428           | 21        | 44.250           | 20        | 42.770           | 19        | 41.550           | 20        | 42.930           | 20        | 42.870           | 18        | 39.230           | 16        | 37.130           |
| 01:00:00    | 21                       | 48.035           | 18        | 46.720           | 18        | 47.330           | 21        | 47.790           | 17        | 46.140           | 18        | 47.720           | 21        | 48.130           | 22        | 50.310           |
| 02:00:00    | 9                        | 16.671           | 9         | 16.370           | 9         | 16.170           | 8         | 14.260           | 9         | 16.270           | 9         | 16.200           | 9         | 16.960           | 9         | 16.710           |
| 03:00:00    | 4                        | 7.480            | 5         | 9.170            | 5         | 8.920            | 6         | 9.770            | 5         | 9.470            | 5         | 9.220            | 4         | 7.190            | 4         | 7.180            |
| 04:00:00    | 5                        | 7.690            | 4         | 7.960            | 5         | 8.950            | 5         | 7.840            | 4         | 7.960            | 5         | 9.240            | 5         | 7.690            | 5         | 7.690            |
| 05:00:00    | 4                        | 6.653            | 1         | 1.520            | 1         | 1.820            | 3         | 4.930            | 1         | 1.820            | 1         | 1.820            | 4         | 6.350            | 4         | 6.350            |
| 06:00:00    | 4                        | 7.942            | 4         | 7.050            | 4         | 7.940            | 4         | 7.940            | 4         | 7.940            | 5         | 9.650            | 5         | 9.650            | 5         | 9.650            |
| 07:00:00    | 5                        | 8.168            | 5         | 6.970            | 5         | 8.170            | 5         | 8.180            | 5         | 8.170            | 5         | 8.170            | 5         | 8.170            | 5         | 8.170            |
| 08:00:00    | 8                        | 12.691           | 8         | 13.300           | 8         | 13.600           | 9         | 14.620           | 6         | 10.660           | 8         | 13.600           | 8         | 13.240           | 8         | 13.240           |
| 09:00:00    | 35                       | 63.457           | 35        | 66.020           | 35        | 67.270           | 38        | 70.820           | 31        | 61.440           | 35        | 68.440           | 31        | 59.480           | 34        | 61.800           |
| 10:00:00    | 41                       | 73.233           | 36        | 75.780           | 38        | 76.780           | 39        | 69.550           | 27        | 59.450           | 37        | 75.300           | 38        | 69.170           | 41        | 75.750           |
| 11:00:00    | 46                       | 81.815           | 42        | 76.620           | 43        | 81.340           | 48        | 84.160           | 32        | 65.240           | 43        | 79.540           | 42        | 71.540           | 48        | 83.920           |
| 12:00:00    | 41                       | 73.941           | 38        | 78.390           | 35        | 71.560           | 38        | 71.140           | 29        | 61.050           | 29        | 64.630           | 45        | 80.370           | 43        | 74.600           |
| 13:00:00    | 51                       | 87.211           | 41        | 77.260           | 41        | 79.370           | 44        | 77.800           | 34        | 65.240           | 44        | 82.480           | 50        | 88.300           | 45        | 79.210           |
| 14:00:00    | 40                       | 68.030           | 37        | 67.750           | 38        | 70.390           | 40        | 68.510           | 32        | 61.410           | 40        | 73.090           | 43        | 73.040           | 42        | 70.110           |
| 15:00:00    | 38                       | 68.201           | 30        | 62.090           | 31        | 63.210           | 34        | 61.900           | 34        | 61.570           | 33        | 64.400           | 34        | 62.650           | 33        | 61.840           |
| 16:00:00    | 39                       | 70.787           | 33        | 65.240           | 31        | 64.110           | 37        | 68.050           | 44        | 80.790           | 31        | 64.110           | 37        | 69.450           | 36        | 67.080           |
| 17:00:00    | 37                       | 69.315           | 35        | 68.480           | 35        | 71.880           | 38        | 71.640           | 35        | 67.540           | 35        | 71.700           | 38        | 69.600           | 34        | 64.390           |
| 18:00:00    | 40                       | 71.705           | 36        | 68.430           | 34        | 67.820           | 38        | 69.280           | 31        | 59.040           | 34        | 67.520           | 37        | 67.940           | 28        | 58.130           |
| 19:00:00    | 39                       | 70.585           | 38        | 72.880           | 34        | 67.110           | 41        | 72.210           | 31        | 63.350           | 34        | 67.910           | 38        | 67.850           | 37        | 66.320           |
| 20:00:00    | 42                       | 73.392           | 42        | 73.010           | 40        | 72.400           | 40        | 71.400           | 35        | 64.340           | 38        | 69.310           | 41        | 71.730           | 42        | 72.200           |
| 21:00:00    | 48                       | 84.402           | 42        | 81.510           | 38        | 75.360           | 47        | 82.240           | 39        | 76.400           | 39        | 78.440           | 49        | 86.310           | 47        | 83.730           |
| 22:00:00    | 49                       | 84.390           | 54        | 105.740          | 46        | 87.880           | 49        | 85.240           | 45        | 88.590           | 45        | 85.630           | 43        | 73.060           | 47        | 78.220           |
| 23:00:00    | 40                       | 69.900           | 34        | 71.700           | 34        | 68.380           | 37        | 68.700           | 41        | 77.560           | 33        | 65.460           | 42        | 76.090           | 41        | 72.940           |
|             |                          | <b>1.266.122</b> |           | <b>1.264.210</b> |           | <b>1.240.530</b> |           | <b>1.249.520</b> |           | <b>1.164.370</b> |           | <b>1.236.450</b> |           | <b>1.243.190</b> |           | <b>1.226.670</b> |

## Apêndice E – Continuação

| Setor RJ-03 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|             | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 6                        | 10.298         | 7         | 16.470         | 8         | 21.780         | 7         | 11.630         | 8         | 14.690         | 8         | 21.770         | 6         | 8.940          | 5         | 8.240          |
| 01:00:00    | 4                        | 5.684          | 3         | 4.930          | 3         | 4.290          | 4         | 6.790          | 2         | 2.840          | 3         | 4.280          | 5         | 7.040          | 6         | 10.720         |
| 02:00:00    | 3                        | 4.215          | 3         | 4.220          | 3         | 4.220          | 3         | 4.210          | 3         | 4.240          | 3         | 4.220          | 3         | 4.210          | 3         | 4.210          |
| 03:00:00    | 2                        | 2.763          | 2         | 2.800          | 2         | 2.800          | 2         | 2.760          | 2         | 2.800          | 2         | 2.800          | 2         | 2.760          | 2         | 2.760          |
| 04:00:00    | 1                        | 1.436          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          |
| 05:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 06:00:00    | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 07:00:00    | 1                        | 1.436          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          | 1         | 1.440          |
| 08:00:00    | 2                        | 2.938          | 2         | 3.540          | 2         | 3.540          | 2         | 2.940          | 1         | 1.440          | 2         | 3.540          | 2         | 2.940          | 2         | 2.940          |
| 09:00:00    | 8                        | 13.605         | 8         | 15.570         | 8         | 15.570         | 9         | 14.560         | 4         | 5.590          | 9         | 18.180         | 8         | 13.350         | 8         | 13.350         |
| 10:00:00    | 16                       | 32.559         | 20        | 47.500         | 20        | 51.150         | 20        | 36.980         | 9         | 12.800         | 20        | 48.080         | 17        | 33.780         | 17        | 34.550         |
| 11:00:00    | 18                       | 34.840         | 22        | 57.720         | 22        | 47.220         | 18        | 33.530         | 7         | 9.720          | 20        | 43.650         | 17        | 34.340         | 19        | 35.730         |
| 12:00:00    | 18                       | 37.971         | 17        | 45.140         | 17        | 45.380         | 19        | 39.550         | 6         | 9.560          | 12        | 30.650         | 20        | 41.990         | 18        | 40.460         |
| 13:00:00    | 17                       | 41.188         | 18        | 49.850         | 18        | 55.500         | 17        | 37.130         | 11        | 30.630         | 19        | 104.730        | 14        | 33.410         | 15        | 35.500         |
| 14:00:00    | 14                       | 28.482         | 16        | 41.650         | 16        | 43.130         | 17        | 33.070         | 25        | 68.670         | 18        | 54.200         | 17        | 32.860         | 16        | 29.990         |
| 15:00:00    | 18                       | 37.019         | 17        | 50.310         | 17        | 51.510         | 17        | 36.610         | 23        | 57.050         | 22        | 74.490         | 16        | 34.970         | 15        | 33.200         |
| 16:00:00    | 11                       | 22.097         | 12        | 32.300         | 12        | 28.040         | 12        | 24.160         | 15        | 31.740         | 12        | 28.040         | 13        | 24.780         | 12        | 24.790         |
| 17:00:00    | 11                       | 22.412         | 15        | 32.980         | 13        | 33.210         | 13        | 26.640         | 10        | 20.870         | 13        | 33.220         | 12        | 23.510         | 9         | 13.460         |
| 18:00:00    | 17                       | 39.903         | 16        | 46.060         | 15        | 41.740         | 15        | 40.660         | 14        | 37.990         | 15        | 45.710         | 17        | 40.800         | 11        | 28.700         |
| 19:00:00    | 15                       | 34.709         | 21        | 51.520         | 16        | 46.360         | 17        | 38.530         | 12        | 30.960         | 17        | 44.870         | 16        | 36.150         | 15        | 37.180         |
| 20:00:00    | 16                       | 37.574         | 16        | 45.850         | 16        | 43.180         | 15        | 35.220         | 13        | 35.350         | 16        | 42.200         | 16        | 36.220         | 14        | 32.200         |
| 21:00:00    | 14                       | 27.140         | 15        | 38.470         | 15        | 35.890         | 16        | 29.800         | 12        | 31.900         | 15        | 36.110         | 16        | 32.450         | 15        | 30.720         |
| 22:00:00    | 24                       | 49.201         | 22        | 52.040         | 24        | 64.200         | 23        | 47.790         | 17        | 33.700         | 24        | 66.350         | 21        | 45.560         | 22        | 44.880         |
| 23:00:00    | 21                       | 43.750         | 19        | 42.150         | 20        | 47.130         | 21        | 40.900         | 20        | 39.800         | 19        | 43.650         | 21        | 40.660         | 21        | 40.710         |
|             |                          | <b>531.220</b> |           | <b>683.950</b> |           | <b>688.720</b> |           | <b>546.340</b> |           | <b>485.220</b> |           | <b>753.620</b> |           | <b>533.600</b> |           | <b>507.170</b> |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor RJ-04 |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|             | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time        | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00    | 2                        | 2.863       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       | 4         | 5.640       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       | 2         | 2.860       |
| 01:00:00    | 3                        | 4.327       | 3         | 4.690       | 3         | 4.690       | 3         | 4.330       | 3         | 4.300       | 3         | 4.690       | 3         | 4.330       | 3         | 4.330       |
| 02:00:00    | 4                        | 5.366       | 4         | 5.350       | 4         | 5.350       | 3         | 4.220       | 3         | 4.010       | 4         | 5.350       | 4         | 5.370       | 4         | 5.370       |
| 03:00:00    | 3                        | 4.162       | 4         | 5.270       | 3         | 4.130       | 3         | 4.260       | 4         | 5.270       | 3         | 4.130       | 3         | 4.160       | 3         | 4.160       |
| 04:00:00    | 1                        | 1.531       | 1         | 1.420       | 1         | 1.520       | 1         | 1.530       | 1         | 1.420       | 1         | 1.520       | 1         | 1.530       | 1         | 1.530       |
| 05:00:00    | 1                        | 1.643       | 1         | 1.640       | 1         | 1.640       | 1         | 1.640       | 1         | 1.670       | 1         | 1.640       | 1         | 1.640       | 1         | 1.640       |
| 06:00:00    | 0                        | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           | 0         | 0           |
| 07:00:00    | 4                        | 5.738       | 4         | 5.730       | 4         | 5.730       | 4         | 5.740       | 4         | 5.740       | 4         | 5.730       | 4         | 5.740       | 4         | 5.740       |
| 08:00:00    | 8                        | 11.464      | 8         | 13.160      | 8         | 13.160      | 8         | 11.460      | 8         | 11.770      | 9         | 15.120      | 8         | 11.460      | 8         | 11.460      |
| 09:00:00    | 12                       | 23.433      | 12        | 24.830      | 12        | 24.830      | 12        | 23.460      | 12        | 24.560      | 11        | 22.740      | 12        | 23.440      | 12        | 23.430      |
| 10:00:00    | 20                       | 34.286      | 21        | 60.310      | 22        | 65.520      | 20        | 35.470      | 19        | 36.540      | 22        | 65.560      | 20        | 35.260      | 19        | 34.000      |
| 11:00:00    | 21                       | 37.150      | 21        | 52.360      | 21        | 53.830      | 20        | 37.610      | 18        | 35.510      | 21        | 54.410      | 20        | 34.310      | 19        | 34.110      |
| 12:00:00    | 16                       | 28.742      | 14        | 33.690      | 14        | 33.690      | 15        | 27.520      | 13        | 26.550      | 14        | 38.090      | 16        | 28.870      | 16        | 29.830      |
| 13:00:00    | 10                       | 16.765      | 10        | 17.150      | 10        | 17.150      | 10        | 16.790      | 8         | 11.260      | 13        | 27.080      | 8         | 11.260      | 10        | 16.760      |
| 14:00:00    | 9                        | 13.211      | 11        | 19.240      | 11        | 19.240      | 10        | 17.120      | 13        | 22.740      | 12        | 21.310      | 12        | 22.470      | 10        | 16.860      |
| 15:00:00    | 15                       | 26.680      | 13        | 25.930      | 13        | 25.930      | 13        | 23.900      | 13        | 22.570      | 13        | 25.630      | 12        | 22.320      | 12        | 21.980      |
| 16:00:00    | 9                        | 13.219      | 8         | 13.340      | 8         | 13.340      | 9         | 13.210      | 14        | 26.250      | 8         | 13.340      | 11        | 19.850      | 10        | 16.460      |
| 17:00:00    | 9                        | 13.407      | 11        | 26.010      | 9         | 16.340      | 9         | 13.420      | 8         | 11.330      | 9         | 14.110      | 9         | 13.410      | 8         | 11.420      |
| 18:00:00    | 12                       | 23.663      | 14        | 27.550      | 12        | 24.170      | 12        | 23.680      | 13        | 25.100      | 12        | 24.170      | 12        | 23.660      | 13        | 25.240      |
| 19:00:00    | 12                       | 22.823      | 17        | 33.780      | 12        | 25.760      | 12        | 21.490      | 13        | 22.930      | 12        | 23.980      | 12        | 21.460      | 13        | 23.040      |
| 20:00:00    | 9                        | 13.408      | 10        | 17.130      | 11        | 21.490      | 9         | 13.410      | 9         | 13.320      | 10        | 16.860      | 9         | 13.410      | 9         | 13.410      |
| 21:00:00    | 13                       | 23.747      | 14        | 32.330      | 14        | 31.270      | 15        | 26.580      | 11        | 22.050      | 15        | 32.540      | 13        | 23.770      | 13        | 23.840      |
| 22:00:00    | 20                       | 34.086      | 24        | 48.490      | 24        | 44.110      | 19        | 32.450      | 17        | 30.940      | 24        | 44.990      | 19        | 32.730      | 20        | 34.070      |
| 23:00:00    | 23                       | 37.328      | 23        | 58.110      | 24        | 58.160      | 23        | 37.750      | 26        | 48.400      | 24        | 56.810      | 24        | 38.650      | 23        | 37.310      |
|             |                          | 399.042     |           | 530.370     |           | 513.910     |           | 399.900     |           | 419.870     |           | 522.660     |           | 401.960     |           | 398.850     |

**Apêndice E – Continuação**

| Setor RJ-05 |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Time        | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
|             | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00    | 11                       | 21.400         | 14        | 26.850         | 14        | 26.790         | 12        | 23.570         | 14        | 26.910         | 14        | 26.790         | 10        | 17.750         | 10        | 17.750         |
| 01:00:00    | 26                       | 42.164         | 23        | 39.430         | 25        | 41.490         | 26        | 42.270         | 24        | 40.450         | 25        | 41.490         | 26        | 42.260         | 26        | 42.260         |
| 02:00:00    | 16                       | 28.413         | 14        | 25.600         | 13        | 23.840         | 15        | 27.100         | 13        | 24.440         | 13        | 23.840         | 16        | 28.410         | 16        | 28.880         |
| 03:00:00    | 6                        | 8.835          | 6         | 8.730          | 6         | 8.730          | 6         | 8.840          | 6         | 8.730          | 6         | 8.730          | 6         | 8.830          | 6         | 8.830          |
| 04:00:00    | 4                        | 5.909          | 5         | 7.620          | 5         | 7.920          | 5         | 7.620          | 5         | 7.620          | 5         | 7.620          | 4         | 5.910          | 4         | 5.910          |
| 05:00:00    | 3                        | 4.262          | 2         | 2.880          | 2         | 2.880          | 2         | 2.880          | 2         | 2.880          | 2         | 2.880          | 3         | 4.260          | 3         | 4.260          |
| 06:00:00    | 5                        | 8.303          | 5         | 7.400          | 5         | 8.300          | 5         | 8.300          | 5         | 8.300          | 6         | 9.780          | 6         | 9.780          | 6         | 9.780          |
| 07:00:00    | 6                        | 8.509          | 6         | 8.500          | 6         | 8.500          | 6         | 8.510          | 6         | 8.500          | 6         | 8.500          | 6         | 8.510          | 6         | 8.510          |
| 08:00:00    | 12                       | 20.153         | 12        | 19.990         | 12        | 19.990         | 12        | 20.410         | 12        | 20.010         | 13        | 21.540         | 12        | 20.150         | 12        | 20.150         |
| 09:00:00    | 19                       | 33.903         | 21        | 36.430         | 21        | 37.790         | 19        | 34.520         | 21        | 37.780         | 21        | 37.790         | 15        | 27.750         | 19        | 33.900         |
| 10:00:00    | 21                       | 35.243         | 20        | 33.080         | 21        | 34.160         | 20        | 32.610         | 16        | 28.510         | 21        | 34.160         | 18        | 30.220         | 21        | 34.680         |
| 11:00:00    | 22                       | 37.757         | 17        | 32.240         | 21        | 36.490         | 22        | 38.020         | 23        | 40.300         | 21        | 36.490         | 28        | 47.150         | 23        | 39.210         |
| 12:00:00    | 28                       | 44.907         | 32        | 54.180         | 28        | 47.490         | 30        | 47.650         | 26        | 43.310         | 28        | 47.490         | 31        | 49.790         | 30        | 51.480         |
| 13:00:00    | 23                       | 38.221         | 21        | 39.170         | 21        | 37.760         | 23        | 38.600         | 20        | 36.340         | 22        | 40.260         | 22        | 37.030         | 25        | 41.200         |
| 14:00:00    | 16                       | 28.530         | 17        | 29.800         | 17        | 29.450         | 16        | 27.770         | 13        | 23.130         | 17        | 29.750         | 20        | 35.100         | 15        | 26.630         |
| 15:00:00    | 21                       | 35.617         | 20        | 34.340         | 19        | 33.010         | 21        | 35.520         | 17        | 29.970         | 19        | 33.010         | 21        | 36.470         | 21        | 35.310         |
| 16:00:00    | 19                       | 32.433         | 18        | 32.050         | 18        | 31.900         | 19        | 32.430         | 21        | 37.240         | 18        | 31.890         | 19        | 32.430         | 19        | 32.430         |
| 17:00:00    | 14                       | 23.723         | 14        | 25.150         | 15        | 25.660         | 15        | 25.430         | 17        | 28.420         | 15        | 25.660         | 15        | 25.430         | 15        | 25.430         |
| 18:00:00    | 18                       | 32.685         | 20        | 34.040         | 19        | 33.660         | 20        | 35.310         | 16        | 30.190         | 19        | 34.560         | 18        | 32.040         | 18        | 30.450         |
| 19:00:00    | 24                       | 41.866         | 21        | 40.520         | 21        | 39.500         | 24        | 41.450         | 22        | 39.600         | 21        | 39.500         | 24        | 42.650         | 24        | 42.670         |
| 20:00:00    | 17                       | 30.351         | 16        | 28.620         | 17        | 30.120         | 19        | 32.910         | 14        | 25.500         | 17        | 30.120         | 17        | 30.650         | 18        | 33.280         |
| 21:00:00    | 26                       | 44.519         | 25        | 41.890         | 25        | 41.580         | 26        | 41.190         | 23        | 38.500         | 25        | 41.580         | 26        | 42.150         | 26        | 41.920         |
| 22:00:00    | 22                       | 37.180         | 19        | 33.190         | 18        | 30.510         | 21        | 33.470         | 18        | 31.110         | 20        | 34.330         | 20        | 32.690         | 21        | 33.600         |
| 23:00:00    | 29                       | 47.184         | 25        | 43.050         | 25        | 44.100         | 26        | 43.720         | 27        | 44.540         | 25        | 44.000         | 27        | 44.660         | 28        | 46.840         |
|             |                          | <b>692.067</b> |           | <b>684.750</b> |           | <b>681.620</b> |           | <b>690.100</b> |           | <b>662.280</b> |           | <b>691.760</b> |           | <b>692.070</b> |           | <b>695.360</b> |

## Apêndice E – Continuação

| Setor RJ-06 GL |                          |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |           |             |
|----------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                | Rodada de Referência (1) |             | Rodada 2  |             | Rodada 3  |             | Rodada 4  |             | Rodada 5  |             | Rodada 6  |             | Rodada 7  |             | Rodada 8  |             |
| Time           | No. Acft.                | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. | No. Acft. | Carga Trab. |
| 00:00:00       | 10                       | 17.772      | 16        | 28.570      | 12        | 24.650      | 10        | 17.770      | 14        | 28.700      | 12        | 24.650      | 9         | 13.600      | 9         | 13.590      |
| 01:00:00       | 23                       | 41.903      | 29        | 50.950      | 23        | 43.650      | 23        | 41.820      | 25        | 46.810      | 23        | 43.650      | 25        | 44.900      | 25        | 44.120      |
| 02:00:00       | 15                       | 28.978      | 14        | 27.780      | 12        | 24.820      | 15        | 29.100      | 12        | 24.790      | 12        | 24.830      | 15        | 29.070      | 15        | 29.040      |
| 03:00:00       | 7                        | 10.065      | 6         | 8.550       | 5         | 7.180       | 6         | 8.620       | 5         | 7.170       | 5         | 7.180       | 6         | 8.620       | 6         | 8.620       |
| 04:00:00       | 5                        | 7.164       | 8         | 11.440      | 5         | 7.160       | 5         | 7.160       | 5         | 7.160       | 5         | 7.160       | 5         | 7.160       | 5         | 7.160       |
| 05:00:00       | 2                        | 3.029       | 2         | 3.020       | 2         | 3.020       | 2         | 3.030       | 2         | 3.020       | 2         | 3.020       | 2         | 3.030       | 2         | 3.030       |
| 06:00:00       | 2                        | 2.956       | 3         | 4.250       | 2         | 2.960       | 2         | 2.960       | 2         | 2.960       | 2         | 2.960       | 2         | 2.960       | 2         | 2.960       |
| 07:00:00       | 5                        | 8.195       | 5         | 7.220       | 5         | 8.960       | 5         | 8.200       | 5         | 7.220       | 5         | 8.960       | 5         | 8.200       | 5         | 8.200       |
| 08:00:00       | 10                       | 19.490      | 14        | 27.840      | 12        | 26.400      | 10        | 19.480      | 12        | 26.370      | 13        | 28.300      | 10        | 19.290      | 10        | 19.290      |
| 09:00:00       | 17                       | 34.226      | 25        | 43.830      | 20        | 38.640      | 19        | 36.260      | 21        | 41.520      | 20        | 38.640      | 19        | 36.420      | 20        | 37.390      |
| 10:00:00       | 27                       | 53.808      | 25        | 54.510      | 27        | 54.870      | 26        | 49.460      | 27        | 55.460      | 27        | 56.280      | 24        | 50.950      | 27        | 56.100      |
| 11:00:00       | 31                       | 60.015      | 37        | 77.410      | 31        | 70.020      | 30        | 59.290      | 33        | 58.340      | 30        | 70.070      | 32        | 61.470      | 30        | 58.680      |
| 12:00:00       | 30                       | 53.408      | 41        | 68.700      | 28        | 54.870      | 30        | 54.940      | 30        | 52.100      | 29        | 59.360      | 32        | 58.340      | 31        | 58.560      |
| 13:00:00       | 18                       | 36.696      | 28        | 50.020      | 20        | 41.500      | 20        | 37.870      | 16        | 34.040      | 22        | 46.850      | 18        | 35.730      | 18        | 35.540      |
| 14:00:00       | 16                       | 31.967      | 23        | 41.620      | 16        | 33.460      | 17        | 33.640      | 14        | 30.150      | 19        | 39.570      | 17        | 33.550      | 17        | 33.550      |
| 15:00:00       | 24                       | 43.098      | 21        | 38.780      | 19        | 36.640      | 23        | 43.290      | 16        | 33.490      | 20        | 39.390      | 22        | 41.390      | 22        | 40.970      |
| 16:00:00       | 18                       | 36.659      | 23        | 42.040      | 18        | 37.720      | 17        | 35.260      | 23        | 46.160      | 18        | 37.060      | 19        | 39.070      | 19        | 40.330      |
| 17:00:00       | 16                       | 32.853      | 25        | 45.620      | 20        | 39.410      | 17        | 34.340      | 22        | 41.980      | 20        | 39.410      | 16        | 34.080      | 16        | 34.800      |
| 18:00:00       | 19                       | 36.086      | 22        | 39.900      | 15        | 30.570      | 17        | 33.840      | 14        | 32.210      | 15        | 30.570      | 16        | 33.210      | 17        | 38.940      |
| 19:00:00       | 22                       | 42.402      | 29        | 58.420      | 20        | 44.900      | 20        | 39.990      | 21        | 43.600      | 20        | 42.490      | 21        | 42.620      | 22        | 46.040      |
| 20:00:00       | 12                       | 26.435      | 16        | 34.200      | 13        | 28.580      | 12        | 29.720      | 14        | 31.150      | 13        | 29.380      | 12        | 26.430      | 12        | 26.290      |
| 21:00:00       | 23                       | 43.603      | 29        | 50.160      | 24        | 45.080      | 23        | 44.800      | 23        | 44.240      | 24        | 46.550      | 22        | 42.580      | 24        | 45.210      |
| 22:00:00       | 25                       | 51.133      | 31        | 58.950      | 25        | 52.190      | 25        | 46.330      | 23        | 43.170      | 26        | 53.010      | 24        | 46.200      | 25        | 45.690      |
| 23:00:00       | 33                       | 58.511      | 43        | 80.230      | 37        | 70.480      | 35        | 60.340      | 41        | 74.290      | 37        | 69.430      | 35        | 59.320      | 34        | 61.180      |
|                |                          | 780.452     |           | 954.010     |           | 827.730     |           | 777.510     |           | 816.100     |           | 848.770     |           | 778.190     |           | 795.280     |

## Apêndice E – Conclusão

| Setor RJ-07 RJ |                          |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |           |                |
|----------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|                | Rodada de Referência (1) |                | Rodada 2  |                | Rodada 3  |                | Rodada 4  |                | Rodada 5  |                | Rodada 6  |                | Rodada 7  |                | Rodada 8  |                |
| Time           | No. Acft.                | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    | No. Acft. | Carga Trab.    |
| 00:00:00       | 13                       | 27.925         | 17        | 32.490         | 14        | 30.170         | 13        | 26.500         | 13        | 26.110         | 14        | 30.010         | 12        | 25.220         | 11        | 21.150         |
| 01:00:00       | 10                       | 20.030         | 15        | 26.570         | 9         | 15.190         | 10        | 22.190         | 7         | 9.830          | 9         | 16.040         | 10        | 20.890         | 11        | 26.590         |
| 02:00:00       | 0                        | 0              | 1         | 1.360          | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 03:00:00       | 0                        | 0              | 1         | 1.370          | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 04:00:00       | 0                        | 0              | 3         | 4.070          | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 05:00:00       | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 06:00:00       | 0                        | 0              | 1         | 1.370          | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 07:00:00       | 0                        | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 08:00:00       | 2                        | 2.841          | 5         | 6.760          | 2         | 2.860          | 2         | 2.840          | 1         | 1.680          | 1         | 1.540          | 2         | 3.690          | 2         | 3.690          |
| 09:00:00       | 21                       | 40.549         | 29        | 49.200         | 24        | 42.760         | 24        | 43.130         | 15        | 24.520         | 23        | 41.220         | 17        | 38.340         | 20        | 40.820         |
| 10:00:00       | 23                       | 46.383         | 24        | 42.000         | 22        | 45.720         | 22        | 43.260         | 12        | 20.110         | 23        | 44.600         | 22        | 44.460         | 23        | 46.160         |
| 11:00:00       | 20                       | 42.316         | 32        | 60.240         | 26        | 46.870         | 25        | 50.830         | 13        | 21.240         | 26        | 45.770         | 19        | 39.750         | 23        | 46.460         |
| 12:00:00       | 24                       | 51.890         | 31        | 54.300         | 23        | 46.000         | 22        | 45.030         | 11        | 19.000         | 19        | 38.600         | 28        | 56.800         | 25        | 51.260         |
| 13:00:00       | 27                       | 52.696         | 34        | 56.610         | 26        | 46.950         | 25        | 47.160         | 21        | 39.050         | 25        | 47.990         | 28        | 49.360         | 23        | 44.400         |
| 14:00:00       | 23                       | 41.167         | 27        | 44.420         | 22        | 40.990         | 22        | 41.380         | 26        | 58.390         | 21        | 41.120         | 24        | 42.960         | 22        | 40.640         |
| 15:00:00       | 21                       | 42.455         | 20        | 43.560         | 19        | 42.700         | 19        | 40.540         | 30        | 55.920         | 25        | 52.500         | 20        | 41.720         | 19        | 37.430         |
| 16:00:00       | 16                       | 36.631         | 20        | 38.200         | 15        | 32.370         | 15        | 32.690         | 26        | 47.450         | 15        | 32.370         | 16        | 35.330         | 16        | 32.890         |
| 17:00:00       | 16                       | 31.281         | 23        | 39.240         | 18        | 35.310         | 17        | 33.700         | 18        | 33.980         | 18        | 36.980         | 16        | 30.630         | 16        | 30.700         |
| 18:00:00       | 20                       | 42.148         | 27        | 49.830         | 23        | 47.820         | 21        | 45.710         | 21        | 42.330         | 22        | 48.720         | 20        | 42.850         | 22        | 48.500         |
| 19:00:00       | 24                       | 47.532         | 30        | 52.570         | 26        | 49.180         | 26        | 54.390         | 23        | 43.850         | 26        | 49.550         | 25        | 47.850         | 27        | 51.160         |
| 20:00:00       | 26                       | 50.104         | 30        | 52.200         | 26        | 47.040         | 24        | 46.610         | 24        | 45.810         | 25        | 45.280         | 29        | 53.790         | 28        | 50.180         |
| 21:00:00       | 24                       | 44.911         | 30        | 50.200         | 24        | 46.790         | 24        | 47.430         | 21        | 44.010         | 24        | 43.650         | 25        | 46.890         | 24        | 45.120         |
| 22:00:00       | 22                       | 52.703         | 30        | 56.280         | 24        | 49.010         | 25        | 52.430         | 22        | 42.920         | 27        | 57.700         | 21        | 49.020         | 22        | 48.190         |
| 23:00:00       | 28                       | 54.359         | 30        | 54.260         | 24        | 46.220         | 24        | 49.990         | 23        | 49.280         | 23        | 45.410         | 27        | 51.510         | 26        | 52.690         |
|                |                          | <b>727.921</b> |           | <b>817.100</b> |           | <b>713.950</b> |           | <b>725.810</b> |           | <b>625.480</b> |           | <b>719.050</b> |           | <b>721.060</b> |           | <b>718.030</b> |