



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/).

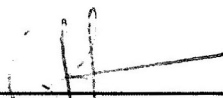
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

"IMPACTO PROVOCADO PELAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS SOBRE A CARGA DE TRABALHO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO E SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂ 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



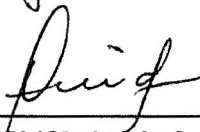
Orientador(a) / INPE / Natal - RN

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 emanações 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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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).	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 ₂ na área de estudo.....	154
Figura 8.46 – Total de emissões de CO ₂ na TMA-SP.....	155
Figura 8.47 – Total de emissões de CO ₂ 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).	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 ₂ 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 ₂ , 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 ₂ 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 ₂ , 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 ₂	-	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 _x	-	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 ₂	-	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 ₂	130
8.2.1	TMA-SP	130
8.2.2	TMA-RJ	143
8.2.3	Discussão geral sobre as emissões de CO ₂	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 – 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 CO₂, 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 CO₂. Dessa forma, entende-se que as informações obtidas sobre o acréscimo da quantidade de CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

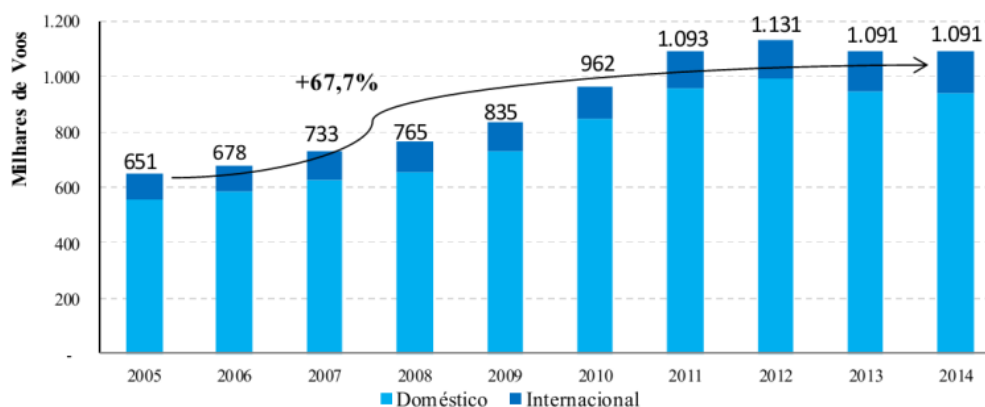
A conclusão sobre os achados da pesquisa e a proposta de trabalhos futuros podem ser encontradas nos Capítulos 8 e 9, respectivamente. Essas informações agregam valor indispensável ao assunto proposto nesta tese.

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.

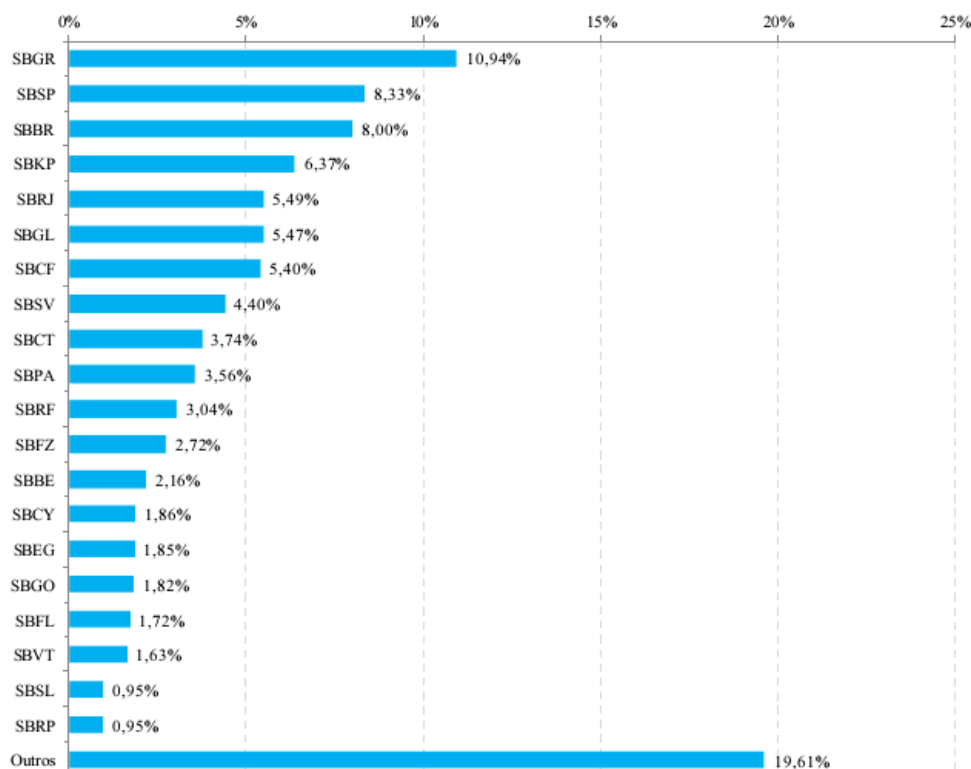


Fonte: ANAC (2014a).

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).

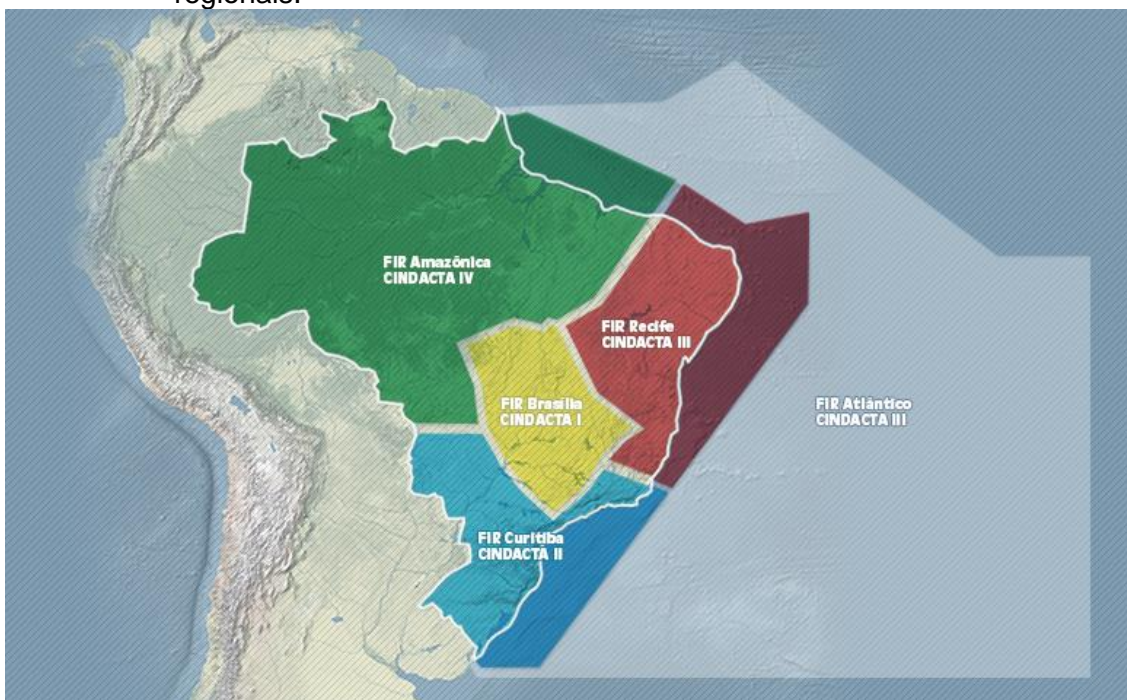
2.2. O Tráfego Aéreo no Brasil

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

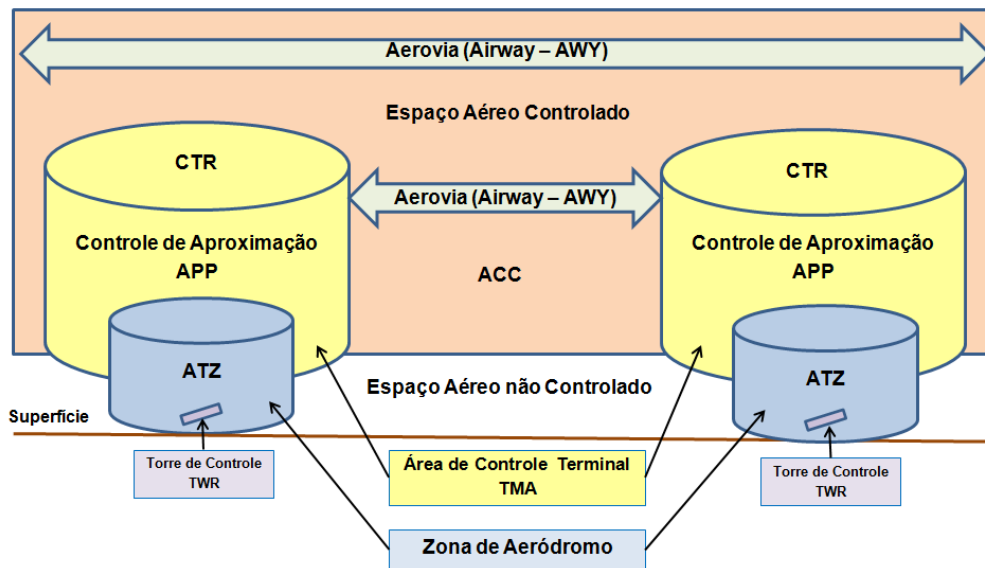
No espaço aéreo de responsabilidade do Brasil, ocorrem diuturnamente voos comerciais, militares e de aviação geral. Além disso, também estão presentes vários outros eventos que ocupam o espaço aéreo, tais como lançamentos de foguetes e sondas, paraquedismos, voos de asa delta etc. A análise detalhada 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.



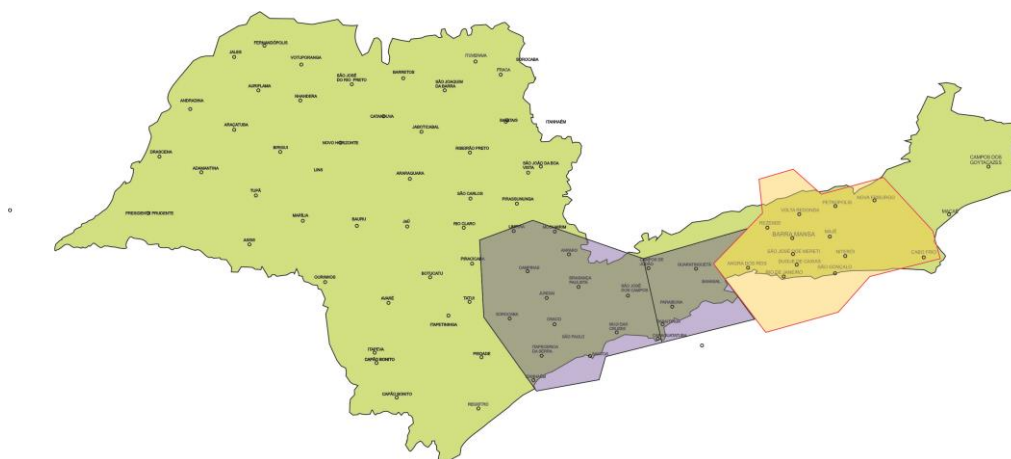
Fonte: o autor, adaptado do DECEA (2014b).

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).

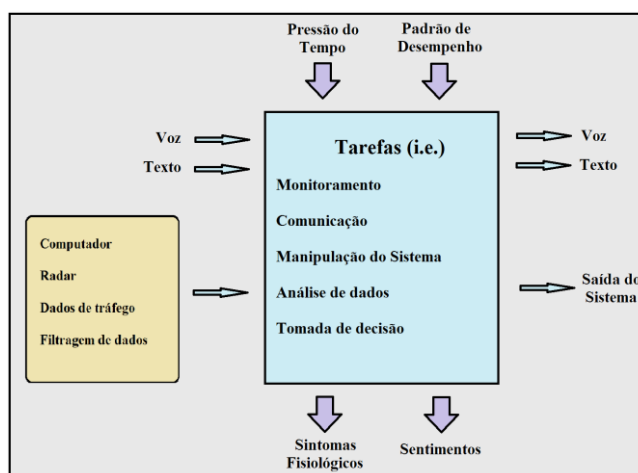
A carga de trabalho obtida em função de mudanças de níveis de voo é determinada pelo tipo de solicitação de liberação da altitude do setor para iniciar subida ou descida. Ela é calculada pela multiplicação de um fator de

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.

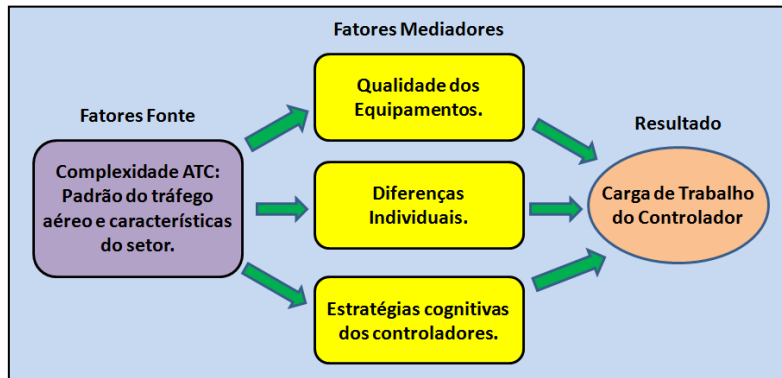
Figura 2.6 – Aspectos relacionados à carga de trabalho dos ATCOs.



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.

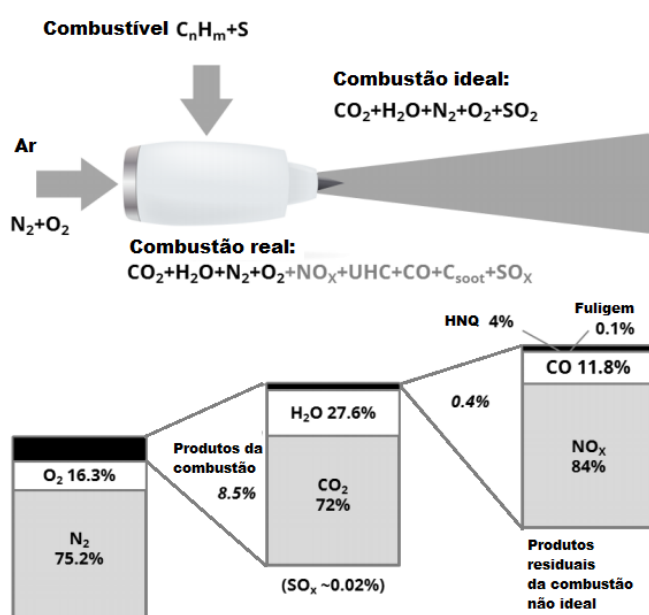
3 EMISSÕES POR AERONAVES

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 CO₂ (dióxido de carbono) e os NO_x (óxidos de nitrogênio), mas existem outros importantes compostos que também merecem destaque, como o CO (monóxido de carbono), o SO₂ (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 CO₂ 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).

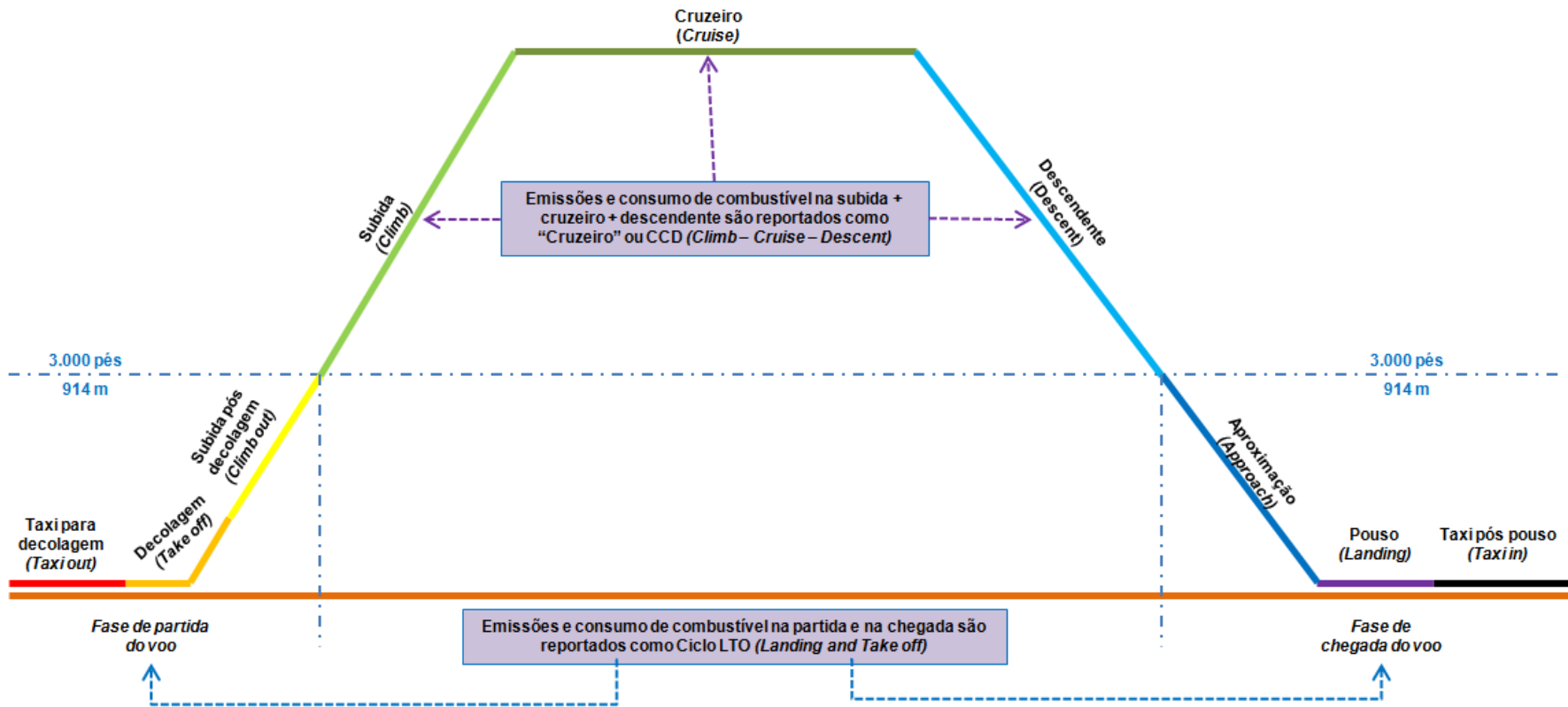
Em função das atividades de gerenciamento de fluxo de voo implantadas, a quantidade de emissões sofre interferência direta do modo como o tráfego aéreo se organiza. De modo geral, a FAA (2015) estabelece que as emissões da aviação podem ser comparadas às aquelas produzidas pelos automóveis. Ou seja, o produto desse processo é constituído de 70% de CO₂, menos de 30% de H₂O, e menos de 1% de vários outros compostos, tais como NO_x, CO, SO₂, 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_x 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 CO₂, 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.



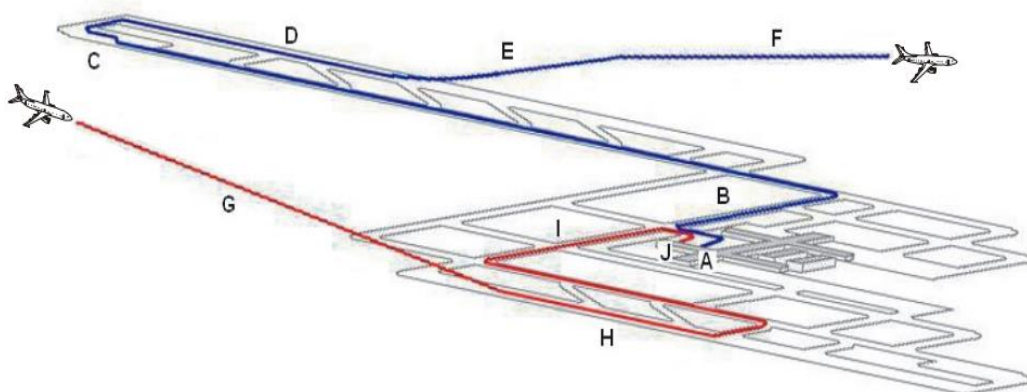
Fonte: traduzido de Winther e Rypdal (2016).

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_x, 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_x 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_x 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 (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs), dióxido de enxofre (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 CO_2 , NO_x , H_2O , CO e 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)..

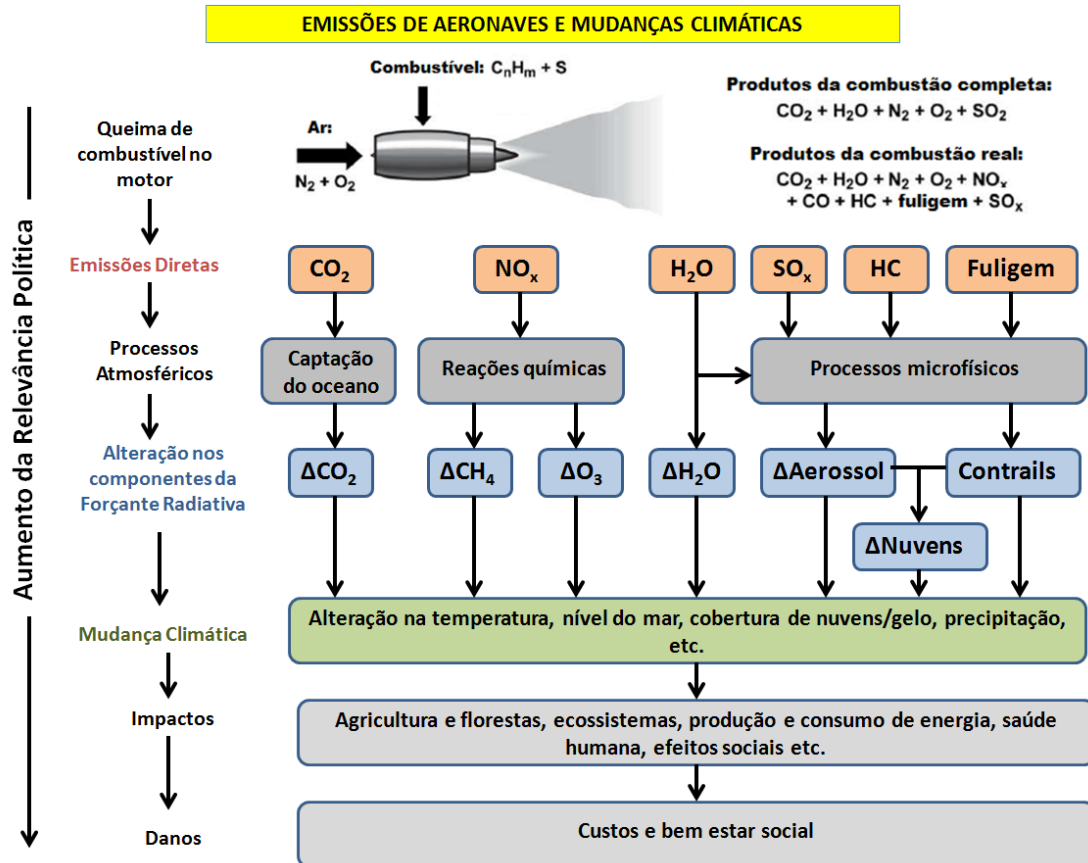
3.3. Emissões em Rota

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ nas proximidades dos aeroportos ou em outros níveis da atmosfera. Artigos que tratam da estimativa da quantificação das emissões de CO₂ 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.

Tier	Atividade	Dados e Ferramentas utilizados
Tier 1	<ul style="list-style-type: none"> As vendas de combustível estão subdivididas em voo doméstico e internacional. O número total de ciclos LTO nacionais e internacionais estão identificados. 	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"> As vendas de combustível estão subdivididas em voo doméstico e internacional, como por Tier 1. Os números de ciclos LTO para nacional e internacional, estão identificados por tipo de aeronave. 	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"> Os dados para cada voo contêm o tipo de aeronave e a distância do voo, subdividida em voos nacionais e internacionais. 	<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_x, 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

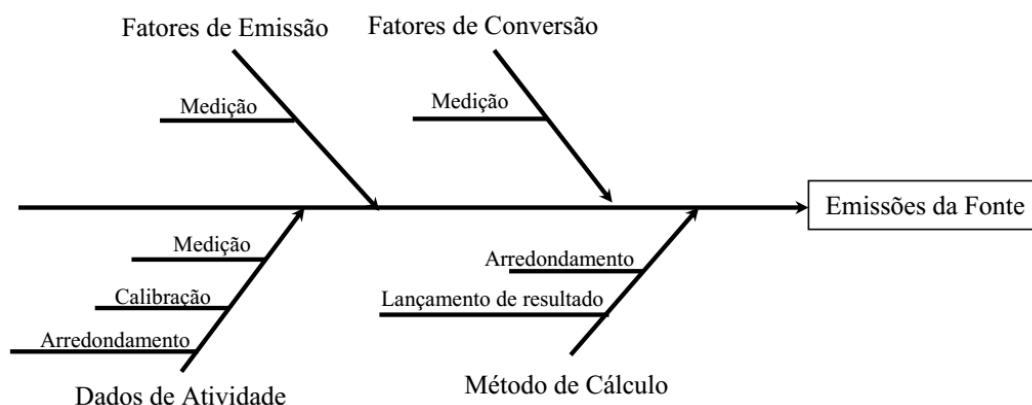
Para o IPCC (2006), a identificação das incertezas presentes em um inventário de emissões atmosféricas é de essencial importância. Ela deverá estar focada no nível de ameaça proporcionada pela quantidade e qualidade dos poluentes emitidos. Nesse contexto, conhecer bem os fatores de emissões e o processamento 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 CO₂ 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).

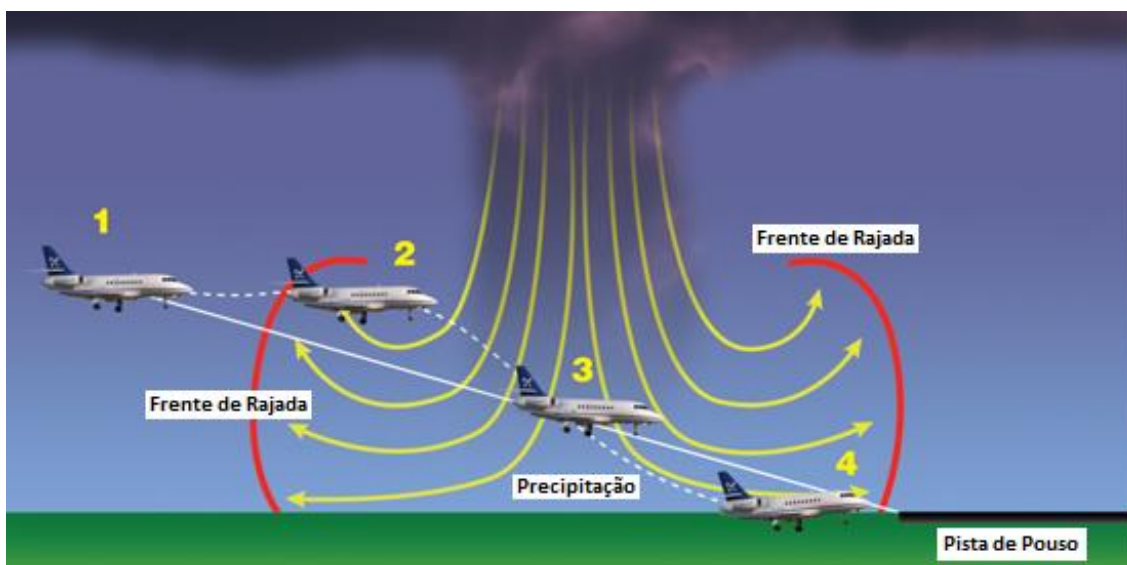
Considerando que os vários tipos e tamanhos das aeronaves sofrem efeitos distintos em relação a uma determinada condição, a ICAO (apud WMO, 2007, p. 1) caracteriza a intensidade turbulenta nas aeronaves da seguinte maneira:

- 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).

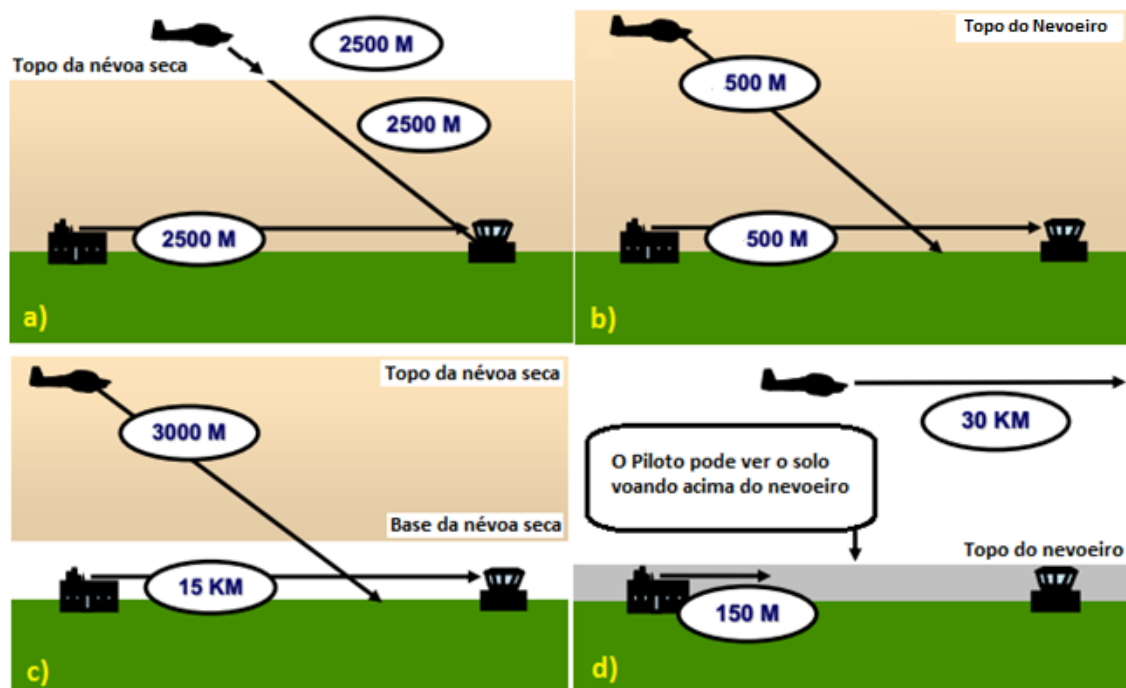
Para a USN (2008, p. 4-17), existem diferentes tipos de visibilidade, a saber: visibilidade predominante, visibilidade inclinada, visibilidade setorial e alcance visual da pista.

- 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).

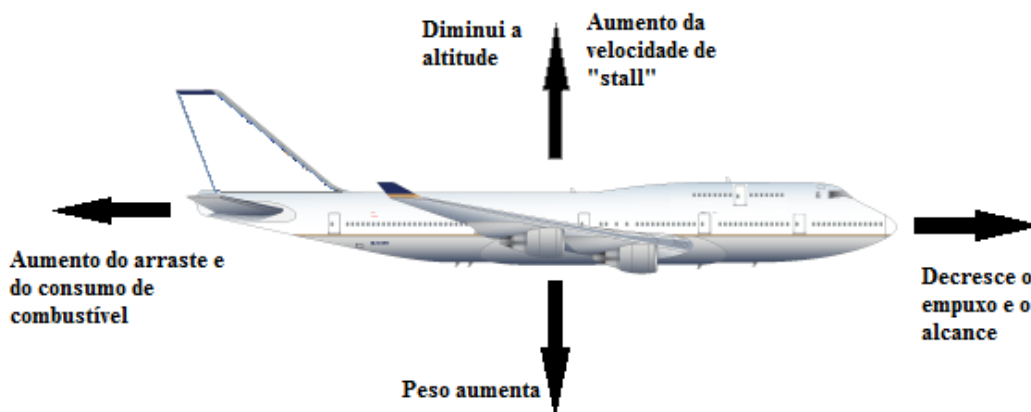
Gelo do tipo claro normalmente ocorre em atmosfera instável, tal como dentro de nuvens cumulus, em temperaturas entre 0 °C e -10 °C. Nessas condições, as gotas de água, quando presentes na atmosfera, são maiores, formando um gelo transparente, resistente, adesivo, denso e pesado, liso, de pouco efeito 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.

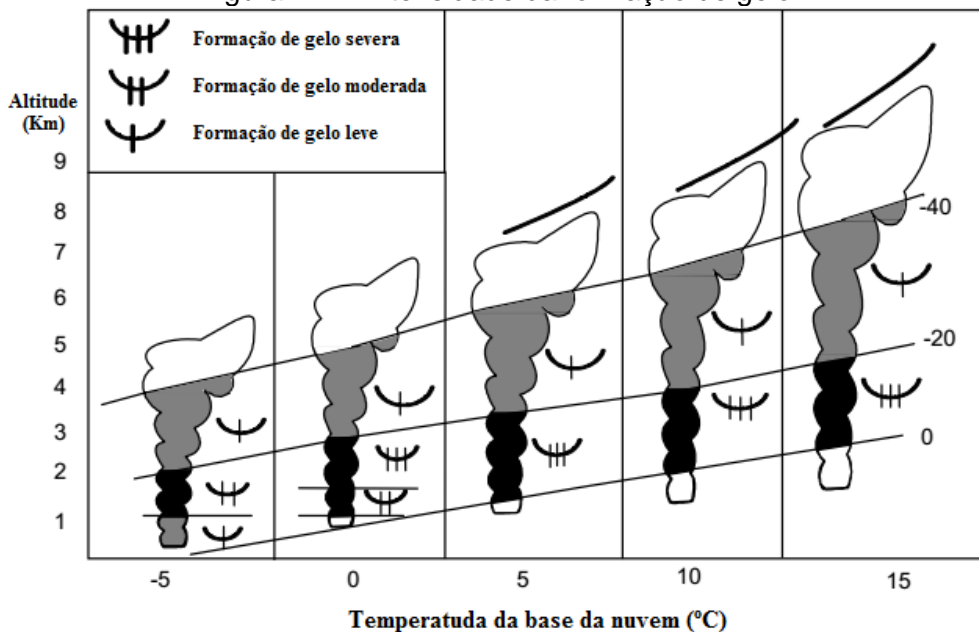


Impacto da formação de gelo sobre a estrutura das aeronaves. A presença de gelo em uma aeronave diminui a sua altitude, o seu empuxo e o seu alcance. Ele aumenta o arrasto, o peso, o consumo de combustível e a velocidade de sustentação - "stall".
Fonte: adaptado de USN (2008).

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).

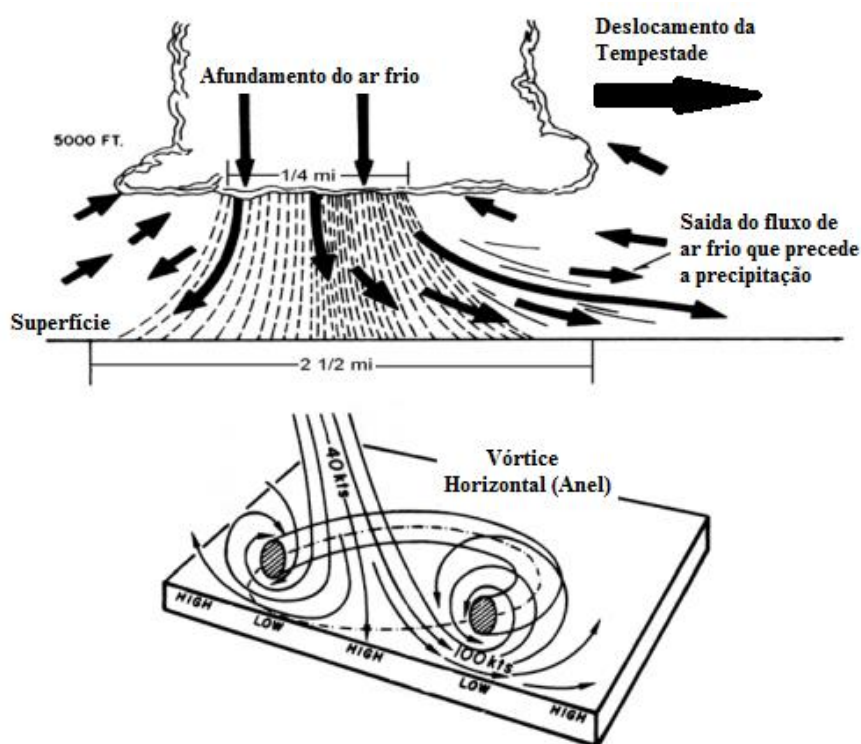
Para a WMO (2007), os efeitos perigosos sobre o voo e as aeronaves vão desde pequenas marcas produzidas sobre a fuselagem e redução da visibilidade, quando o granizo é pequeno (menor que 5 mm), até a afetação da aerodinâmica da aeronave e quebra do para-brisas. Para granizos grandes (iguais ou maiores 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.



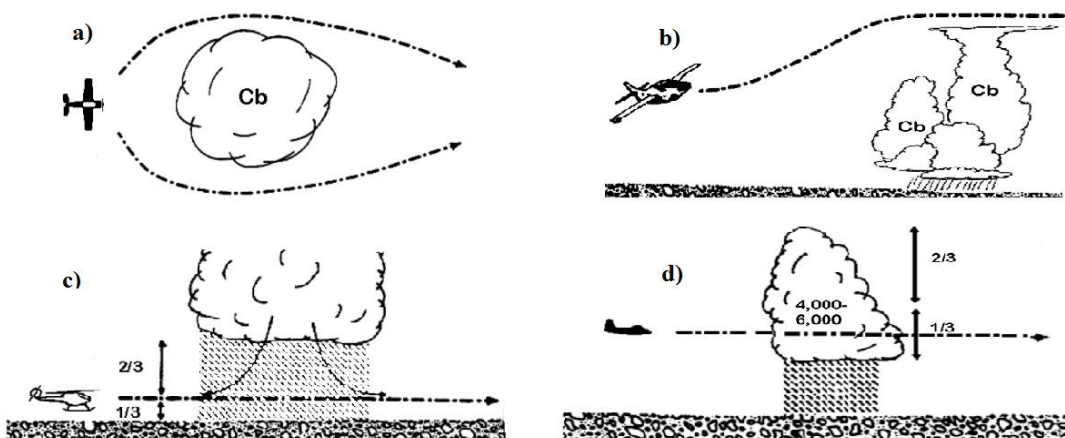
Fonte: traduzido de USN (2008).

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).

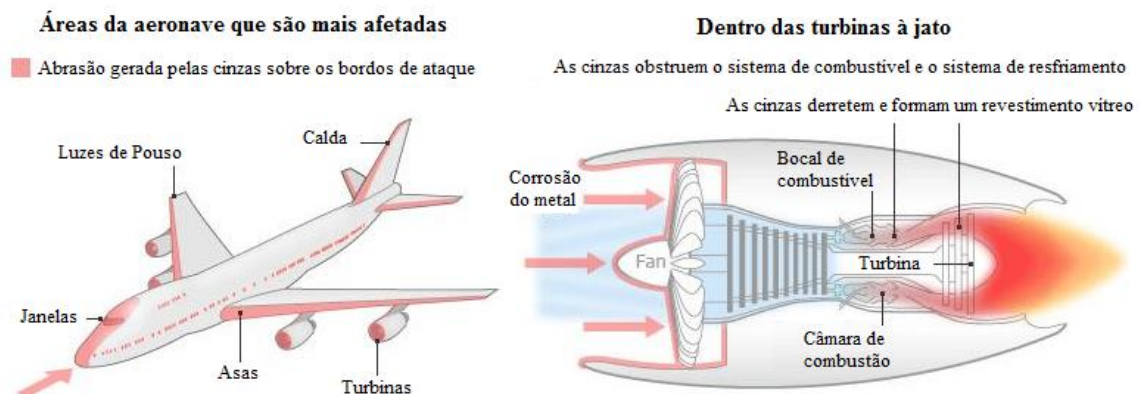
4.2.5. Cinzas vulcânicas

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 Kuhn (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. Consequentemente, 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.

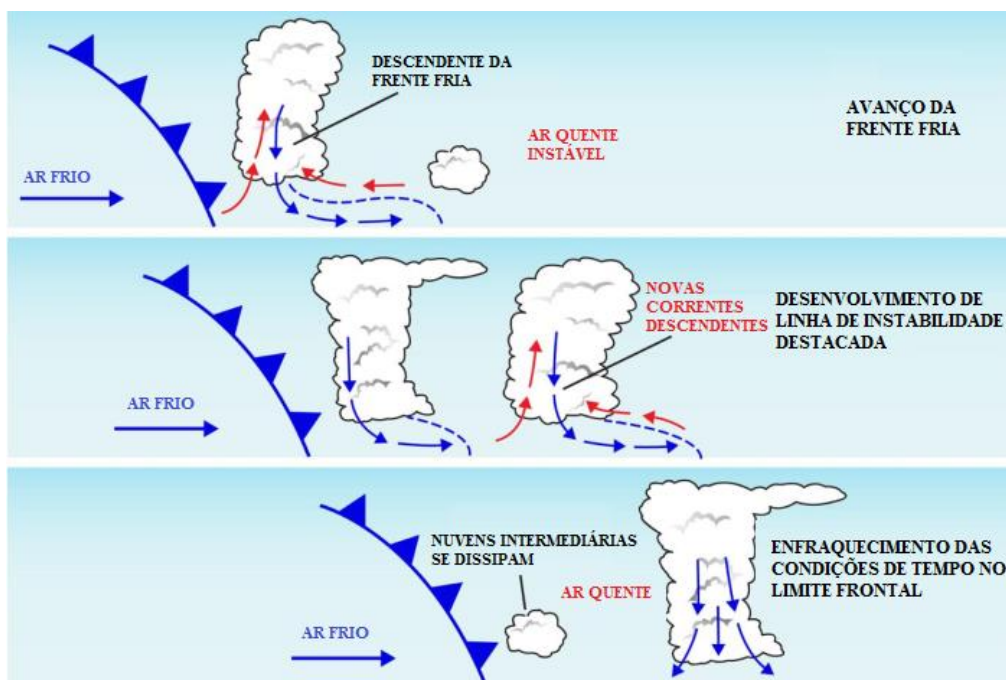
O grau de inclinação da rampa frontal é responsável, também, pelo tipo de nebulosidade presente nas frentes. Rampas menos inclinadas tendem a produzir céu encoberto com grandes áreas da precipitação contínua. Para inclinações frontais íngremes, com movimento frontal rápido, são produzidas faixas mais 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 (Pallota; 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 CO₂ está no centro desses esforços. Estima-se que a eficiência do combustível e a redução das emissões de CO₂ 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. Ensaios 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 CO₂.

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.;
- 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.

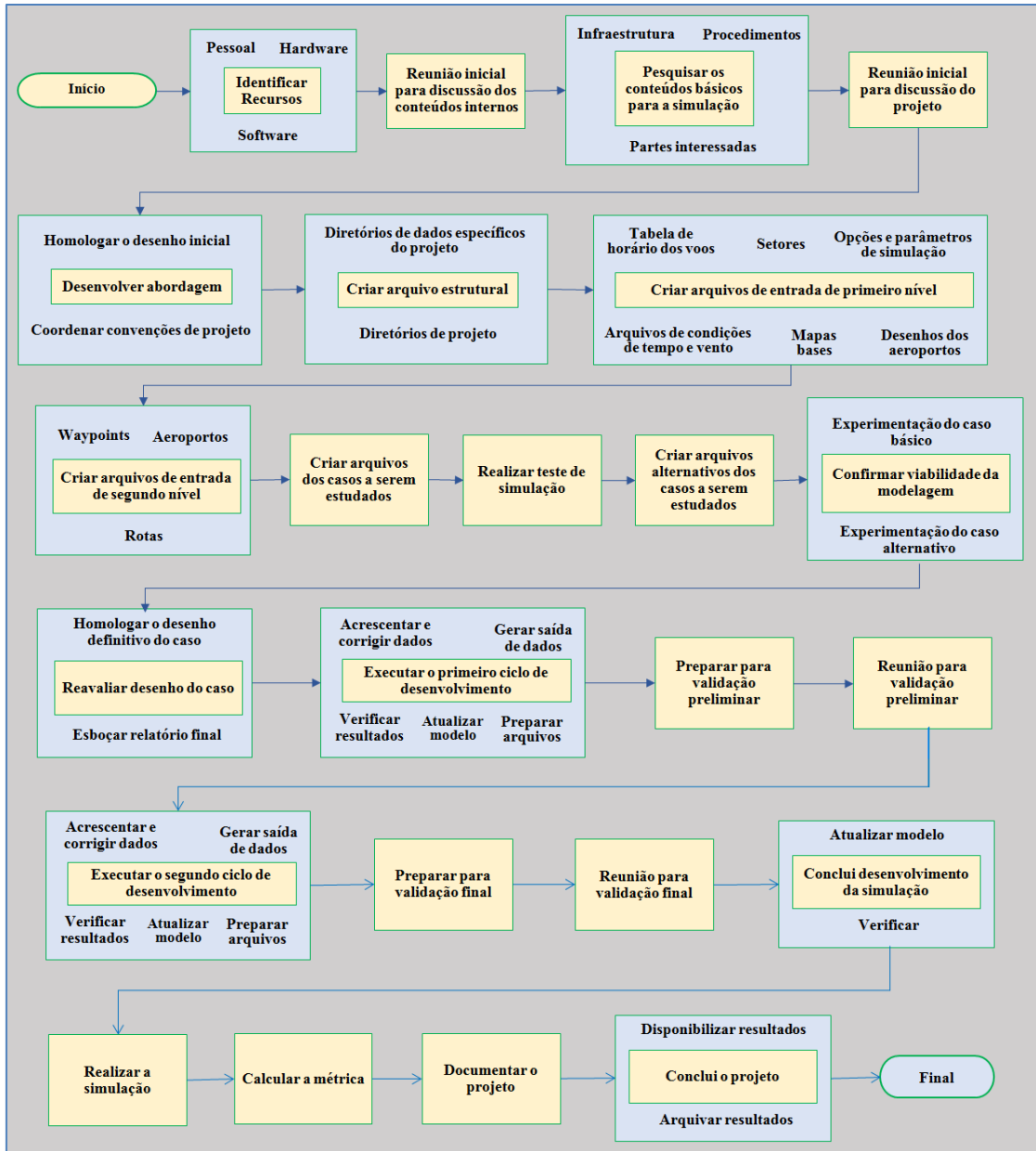
Por meio de uma condição definida pelo operador do sistema, os primeiros voos simulados decolam no horário previsto. A partir daí, o TAAM opera em condição inicial aleatória e acelerada, se for o caso, sendo que, a partir desse momento, todas as regras de tráfego aéreo predefinidas são seguidas, simulando 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 - 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 CO₂, 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 CO₂ 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.

Percentagem de voos com atrasos maiores que 30 minutos, em Nível Nacional.							
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.

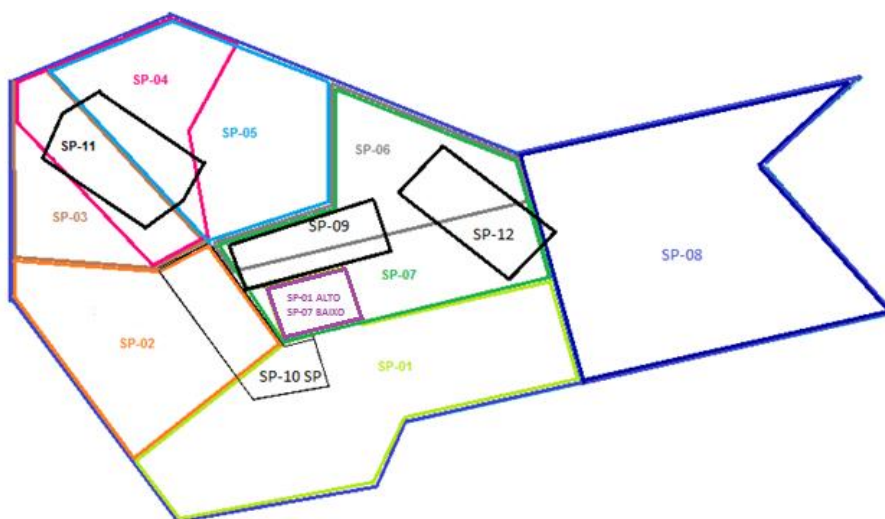
Figura 7.1 – Área de estudo.



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.

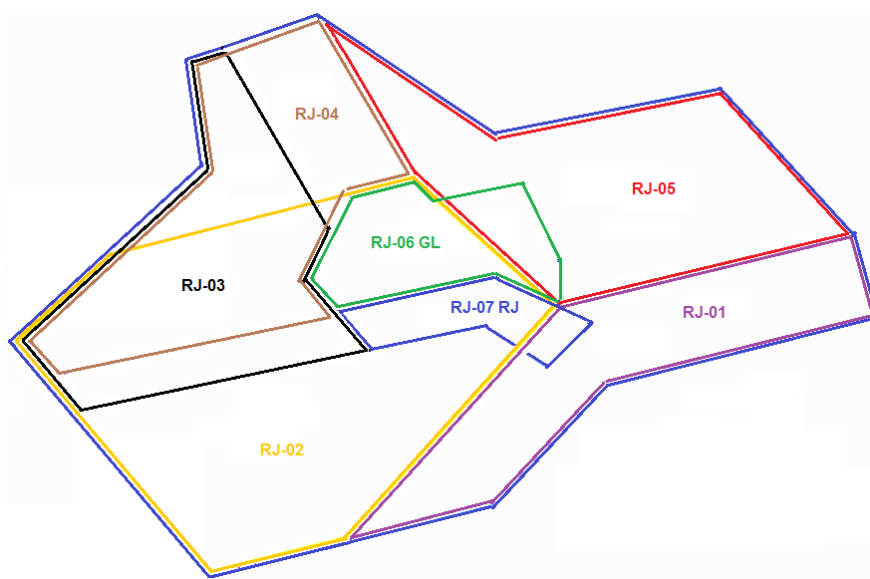
Fonte: Plano de voo net (2016).

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).



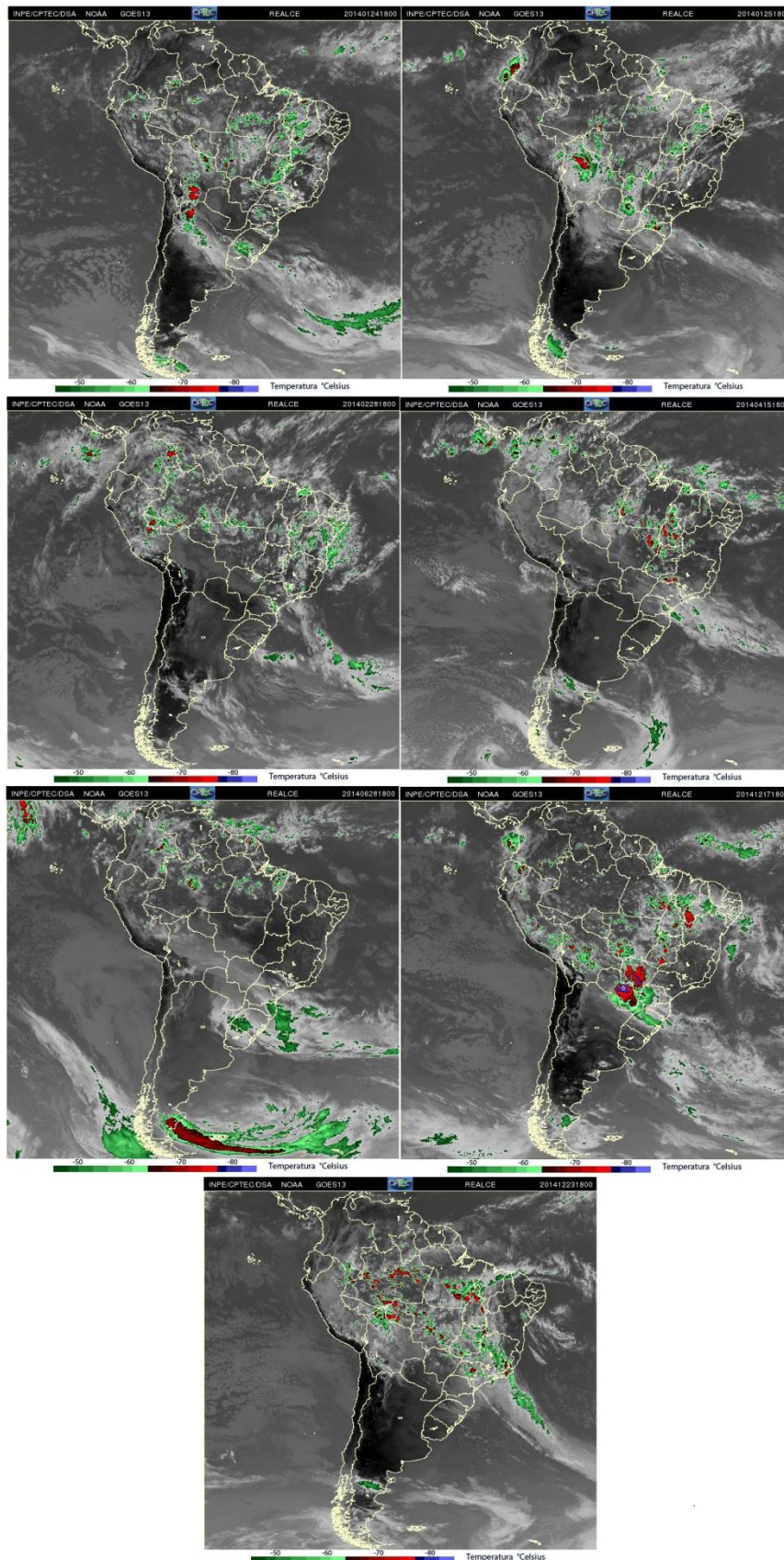
Fonte: adaptado de SRPV (2014b).

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	X	X	X	X
SP-11 KP														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
	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		
	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		
	SP01-ALTO																								
	SP-02				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
	SP-08													X					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
	RJ-07 RJ																						X	X	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	X	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																								
TMA-RJ	SP-11 KP	NADA A RELATAR																							
	SP-12 SJ																								
	RJ-01																								
	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.

		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	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	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	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 CO₂, 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 CO₂:

- 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 CO₂ 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.

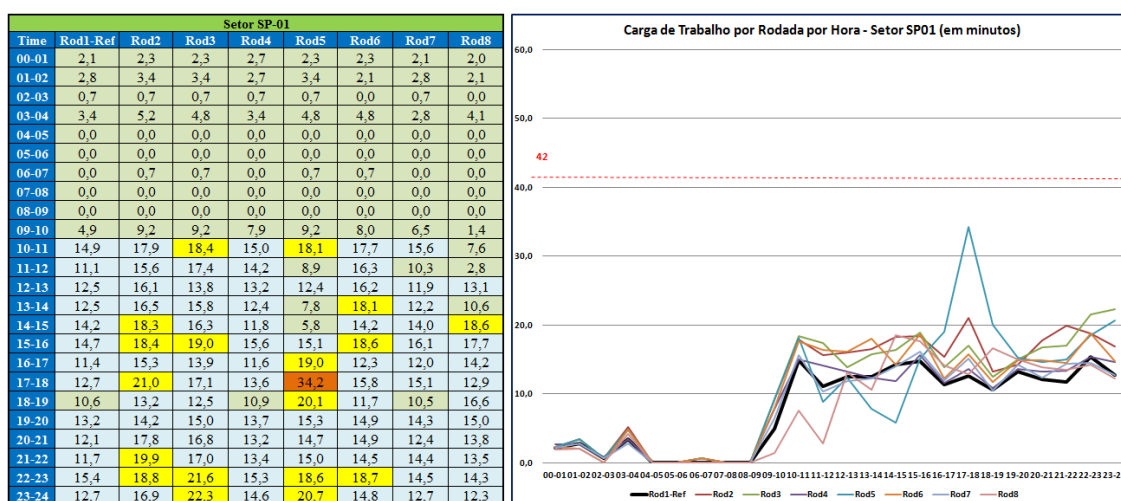
8.1.1.2 Carga de trabalho por rodada por hora do dia

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.

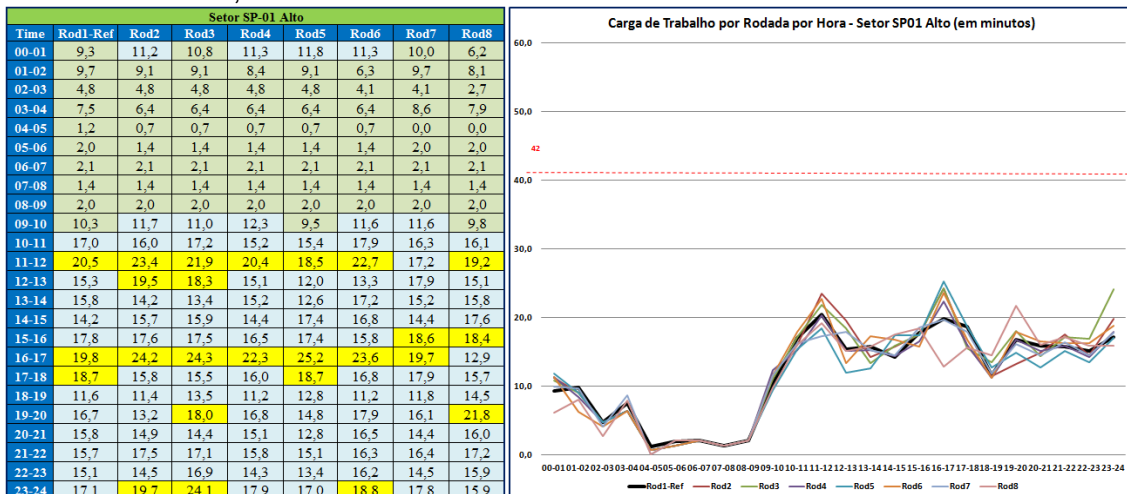


Fonte: Produção do autor.

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.

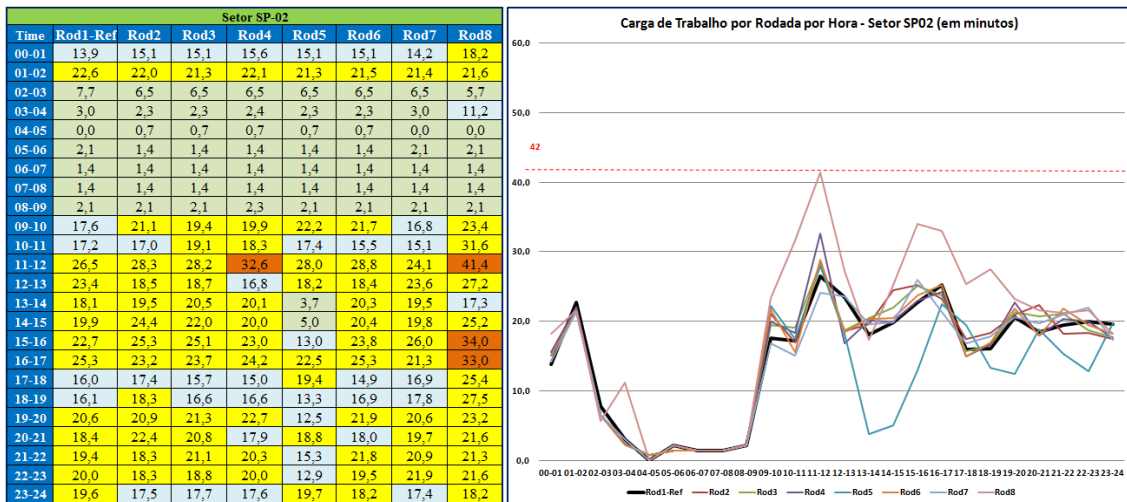


Fonte: Produção do autor.

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.

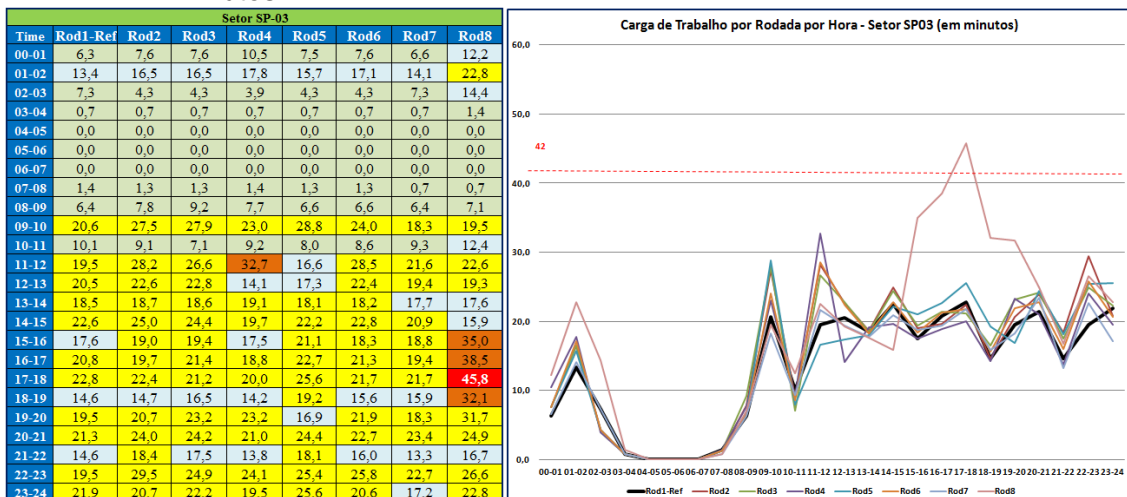


Fonte: Produção do autor.

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.

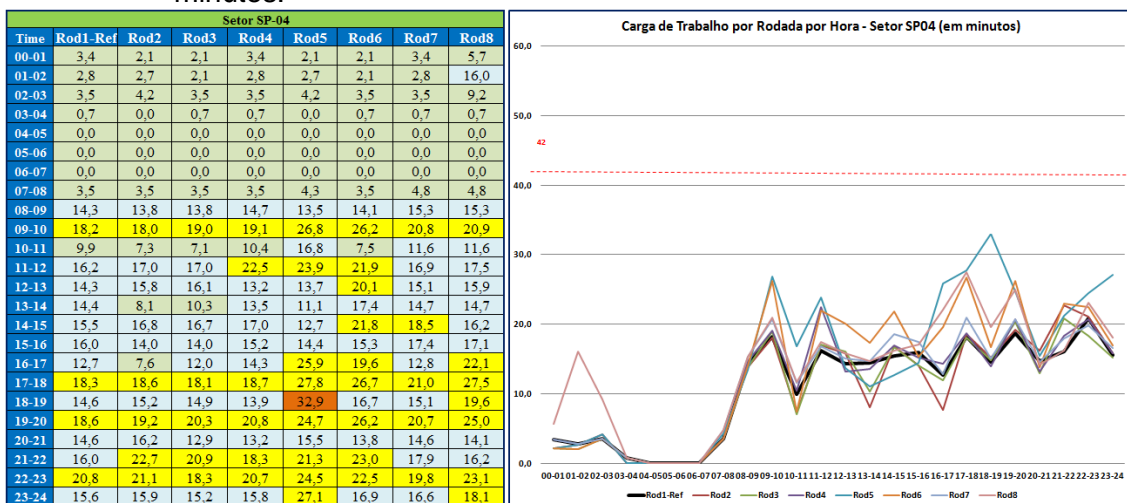


Fonte: Produção do autor.

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.

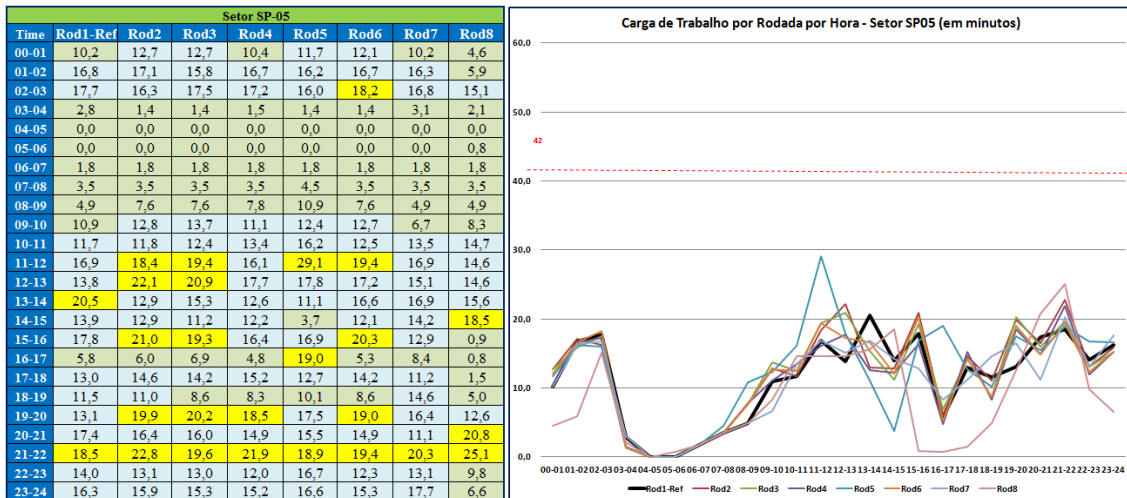


Fonte: Produção do autor.

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.

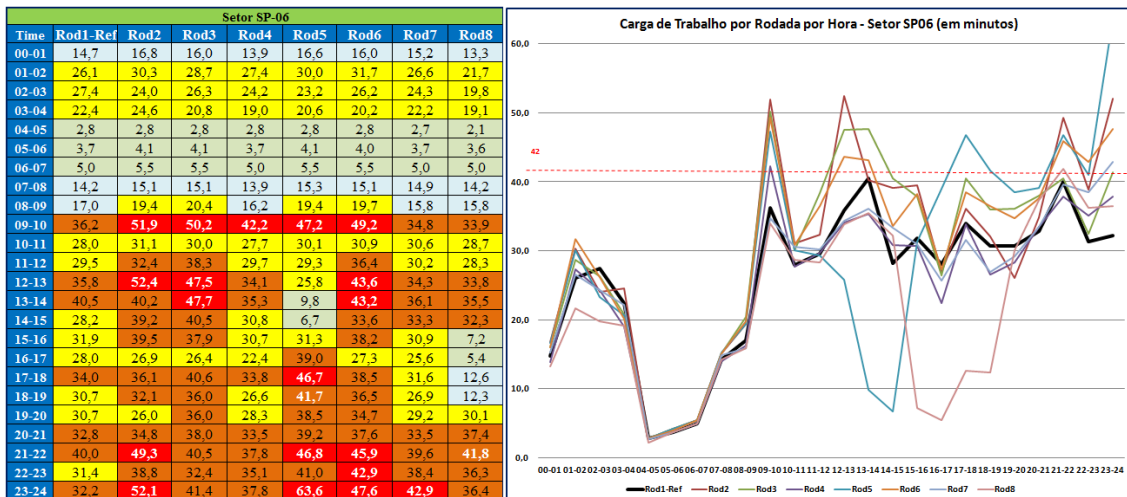


Fonte: Produção do autor.

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).

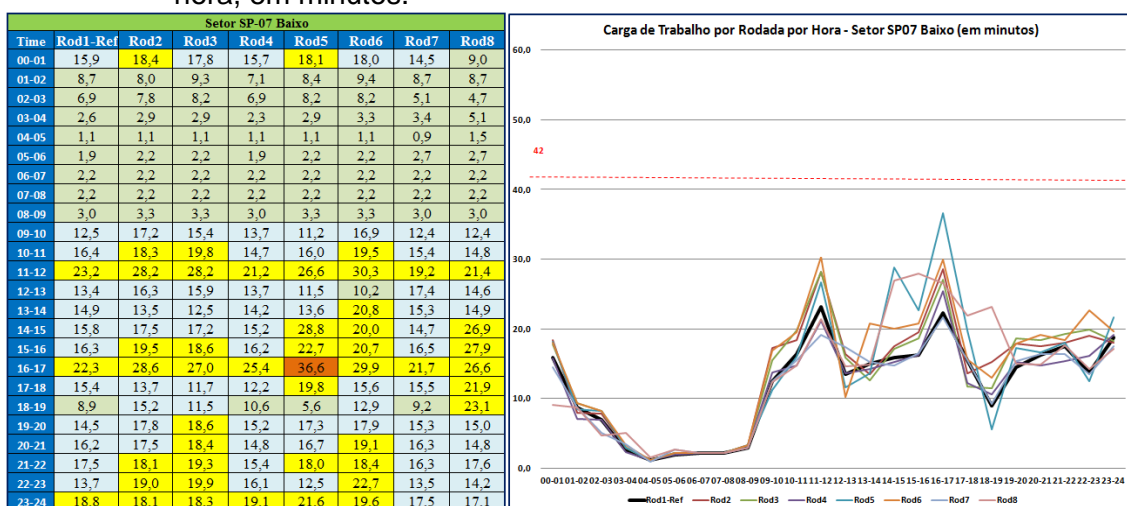
g.2) Em se tratando do cenário meteorológico presente na rodada 6, há indicação da presença de um sistema frontal entre o norte/nordeste da Argentina e a região oeste do Rio Grande do Sul. Foram observados chuva, restrição de visibilidade e teto baixo na Região Sul durante todo o dia na área de atuação 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.



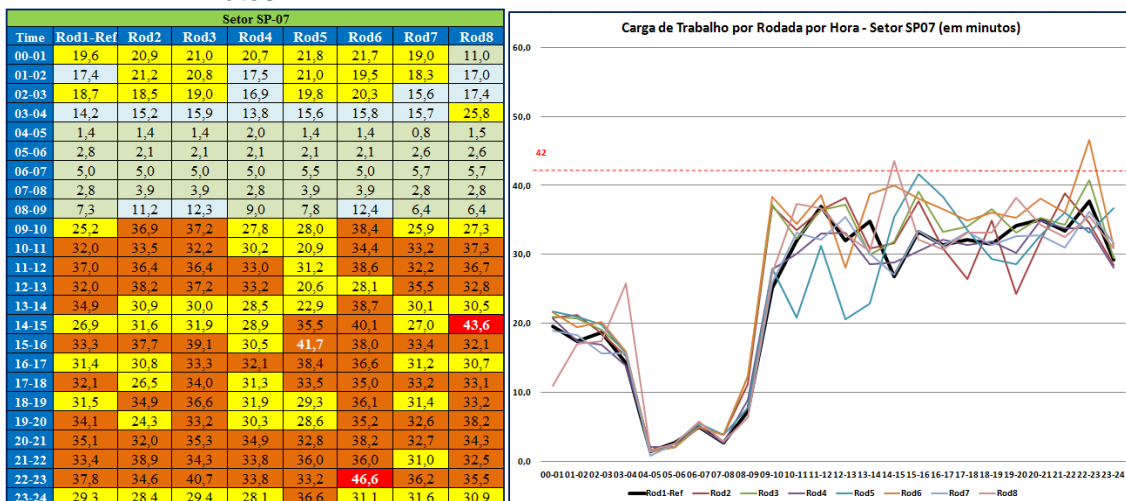
Fonte: Produção do autor.

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.

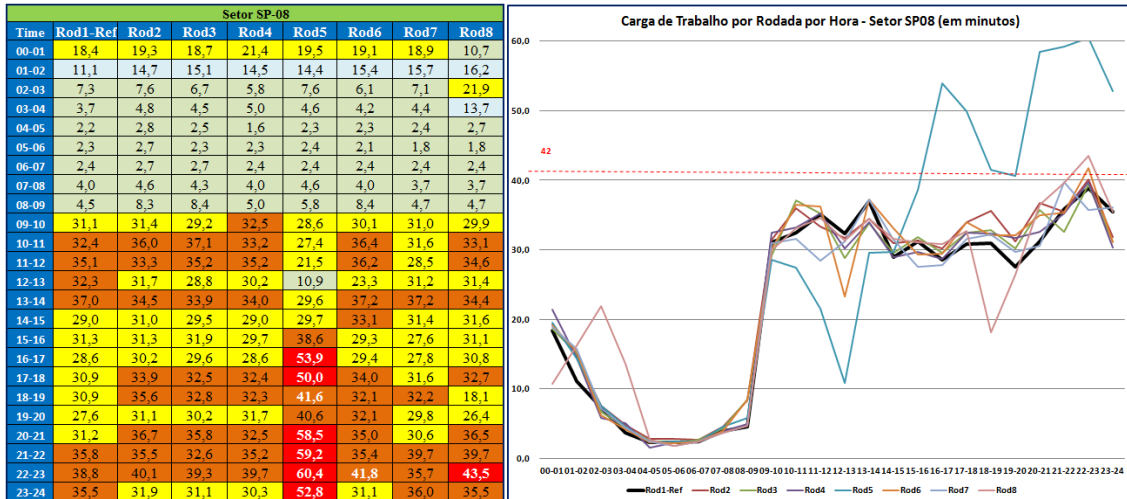


Fonte: Produção do autor.

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.

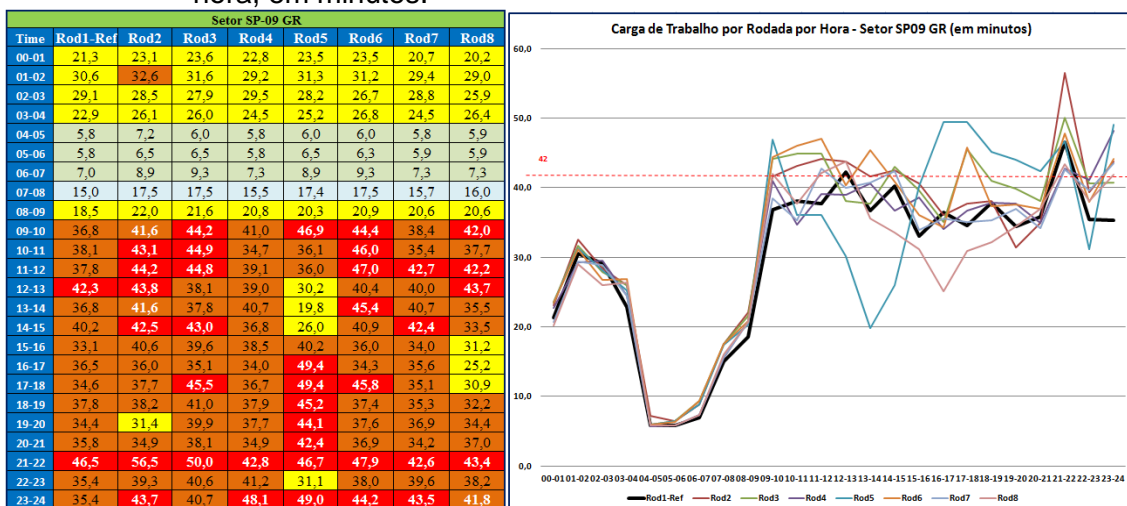
Observando-se a Figura 8.10, verifica-se que há predomínio de aumento da carga laboral no setor. A estimativa de carga laboral varia entre média e pesada em todas as rodadas realizadas, com exceção da rodada 5. A rodada 1 de referência, a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, apresenta uma estimativa 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

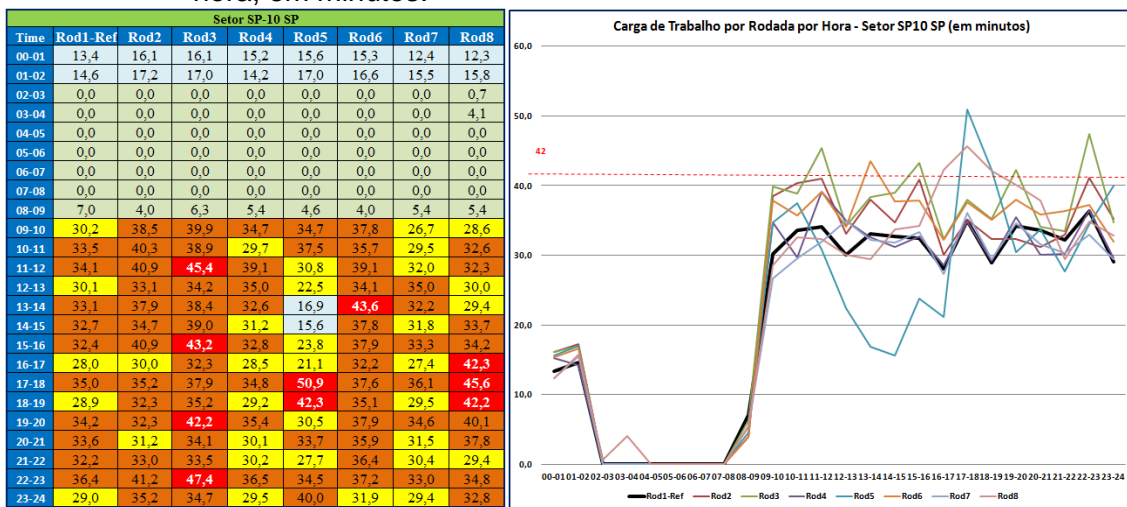
comportamento do tráfego e às coordenações realizadas, considerando sua configuração-padrão (EUROCONTROL, 2000, p. 46).

- 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.

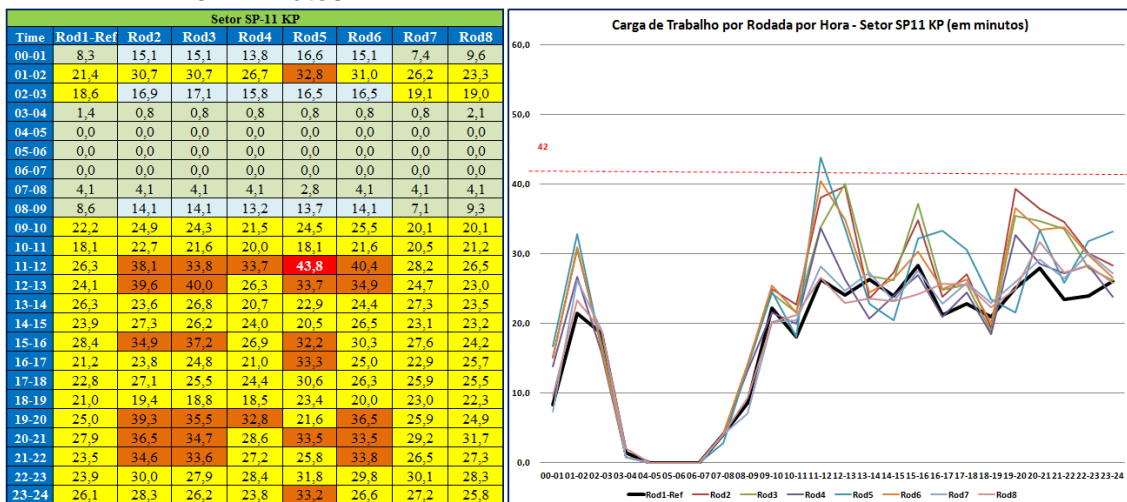
Dois casos com sobrecarga de trabalho não controlada são identificados nas rodadas 5 e 8. Eles podem ser assim caracterizados:

- 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.

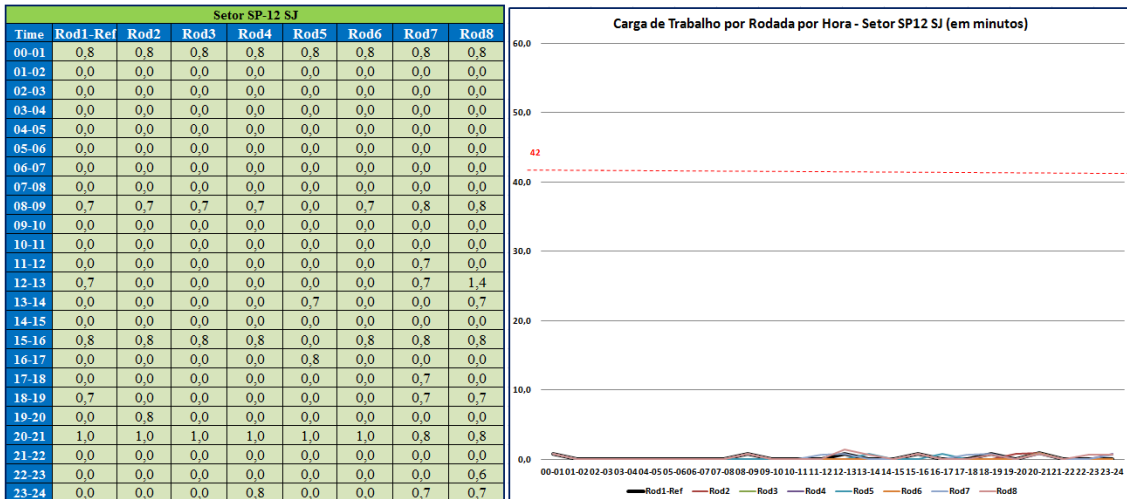


Fonte: Produção do autor.

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 Alto	SP02	SP03	SP04	SP05	SP06	SP07	SP07 Baixo	SP08	SP09 GR	SP10 SP	SP11 KP	SP12 SJ	Time	SP01	SP01 Alto	SP02	SP03	SP04	SP05	SP06	SP07	SP07 Baixo	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	15,6	25,4	28,3	28,2	17,0	38,4	32,4	36,4	28,3	33,3	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	43,1	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	34,8	0,8	
00:17	11,4	19,8	25,3	20,8	12,7	5,8	28,0	31,4	1,1	2,5	36,0	36,5	28,0	21,2	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	12,0	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	36,5	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	33,3	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.

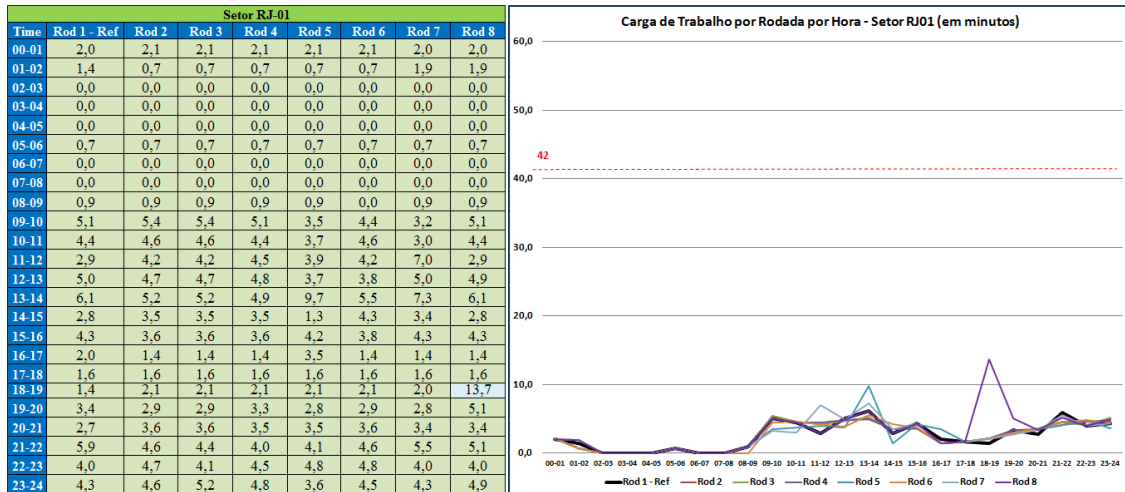
Assim, levando-se em consideração as informações contidas nas Tabelas 8.4 e 8.5, é possível identificar que a presença de condições adversas de tempo provoca um impacto diferenciado em relação àquele produzido sobre os setores da TMA-SP. Aqui, há a predominância de impacto que varia de leve positivo (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.

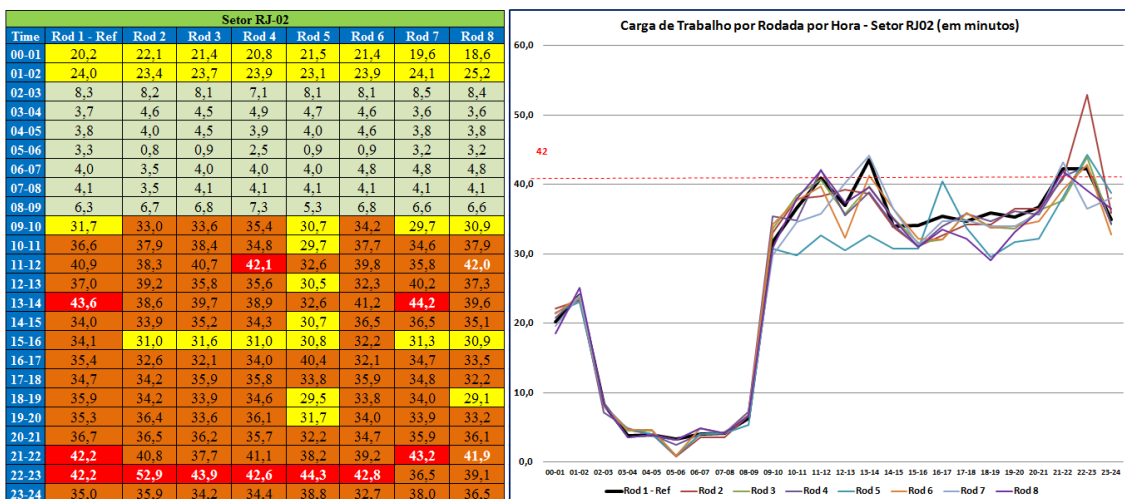


Fonte: Produção do autor.

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.

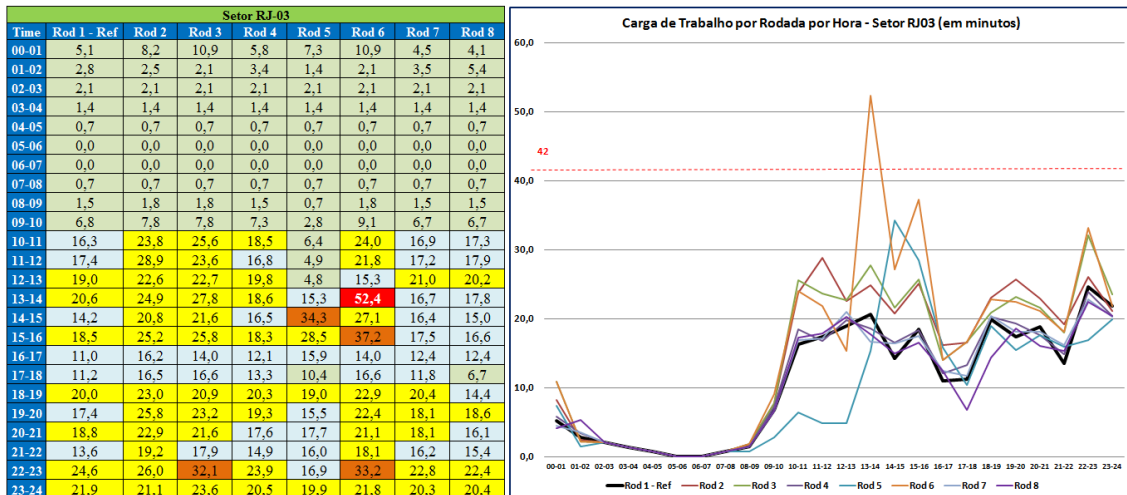
Observando-se a Figura 8.17, verifica-se que há predomínio de diminuição da carga laboral no setor, sendo ela de muito pouca intensidade. A rodada 1 de referência possui uma estimativa da carga de trabalho com intensidade pesada ou com sobrecarga de trabalho a partir das 09:00 UTC até as 24:00 UTC, mesmo 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.

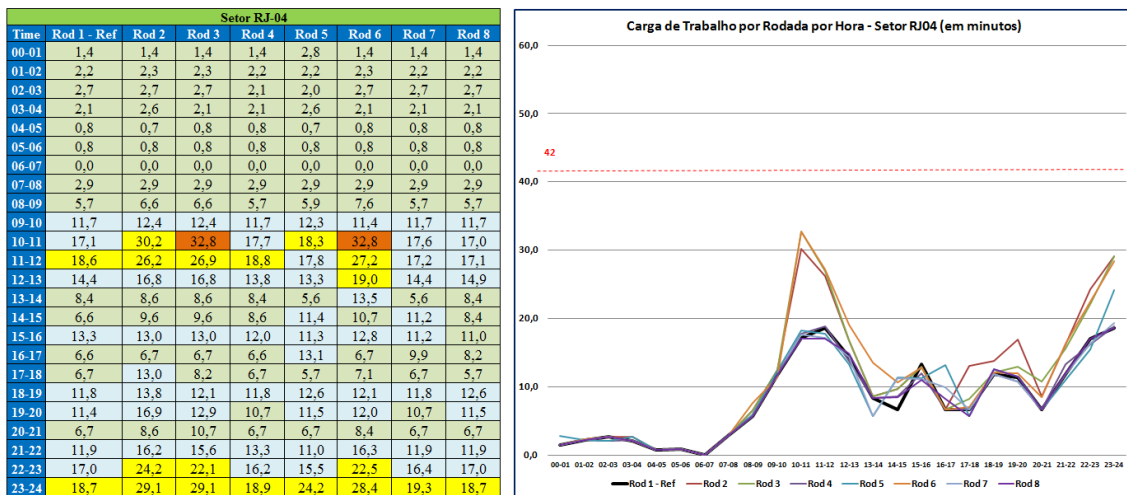


Fonte: Produção do autor.

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.

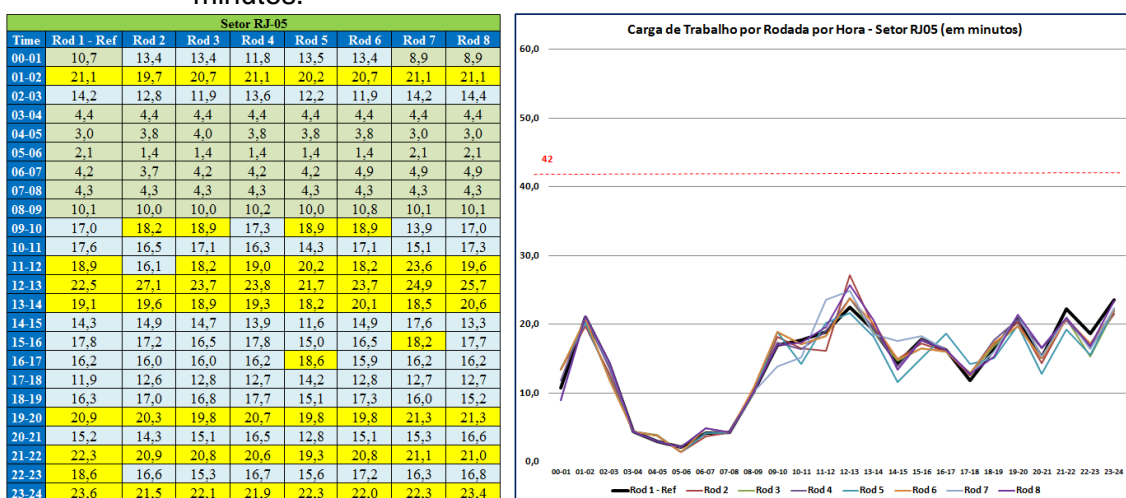


Fonte: Produção do autor.

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.

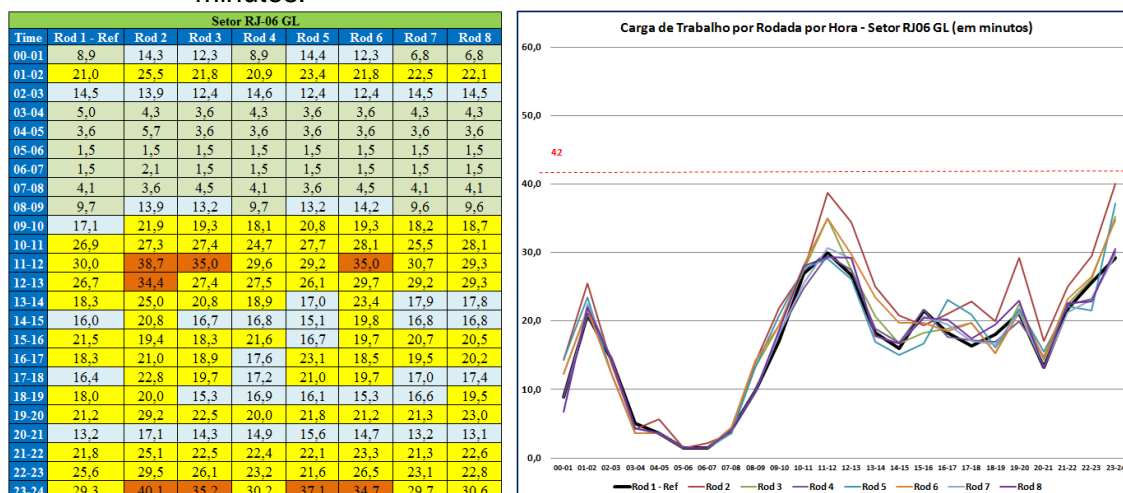


Fonte: Produção do autor.

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.

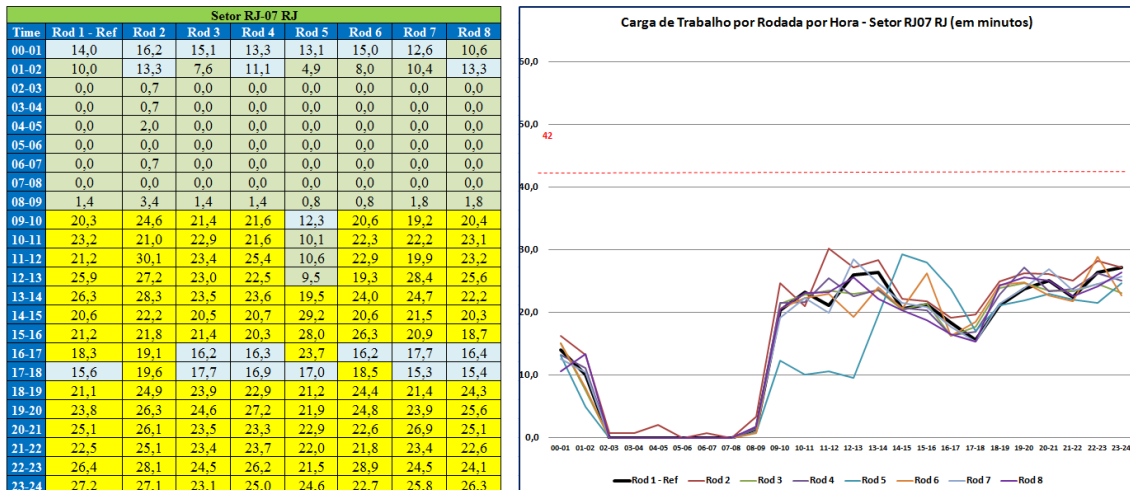


Fonte: Produção do autor.

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.

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 CO₂.

Neste item do trabalho, estão estimadas as emissões de CO₂ 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 CO₂/ 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 CO₂ 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 CO₂ emitidas são o SP-08, SP-09 GR, e SP-02, em ordem decrescente.

Tabela 8.6 – Estimativas de emissões de CO₂ em cada setor da TMA-SP, por rodada.

	Emissões de CO ₂ , 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

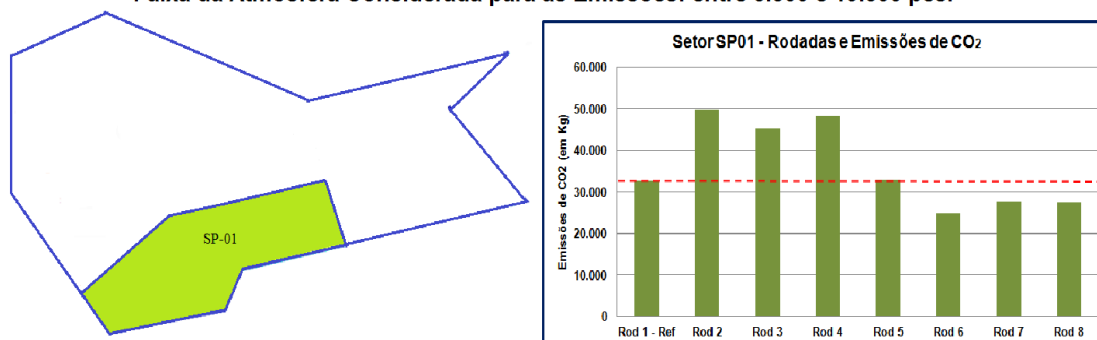
Fonte: Produção do autor.

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.

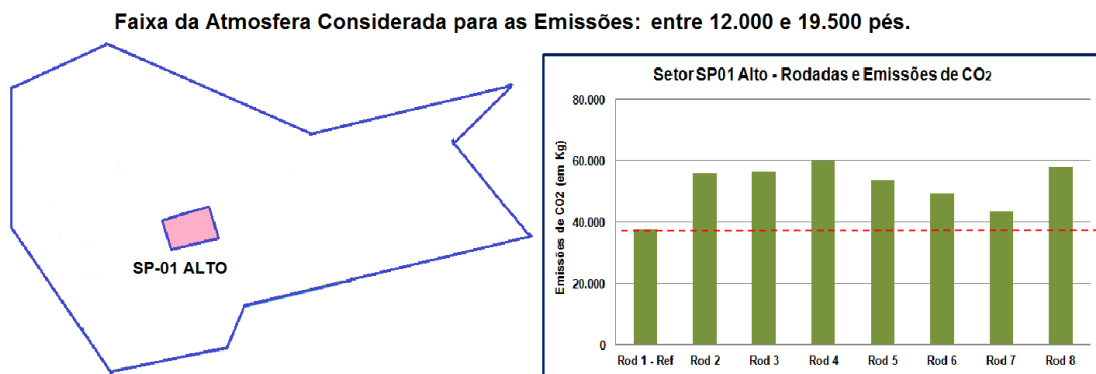


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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.



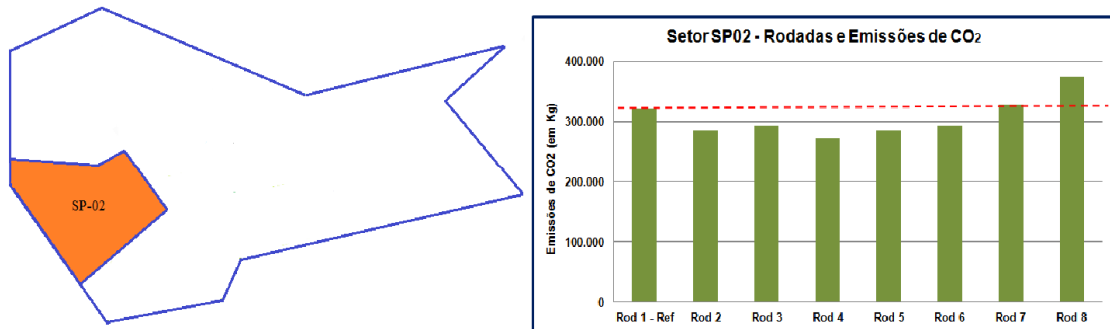
Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas as demais rodadas apresentam aumento de emissão de CO₂, 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.



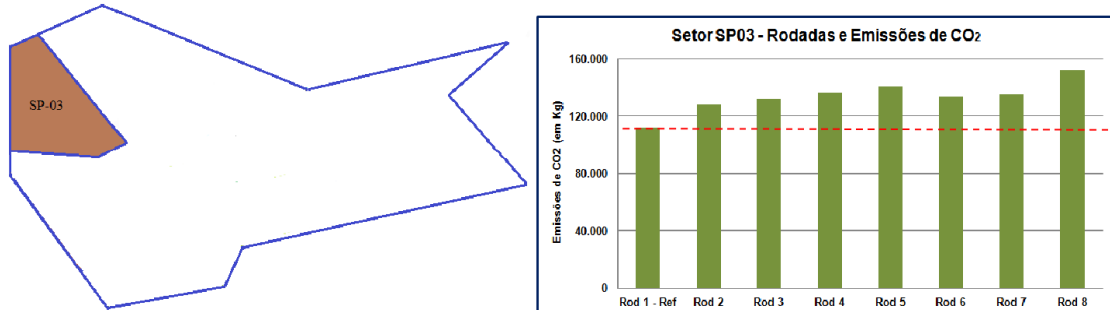
Fonte: Produção do autor.

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 CO₂, 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.

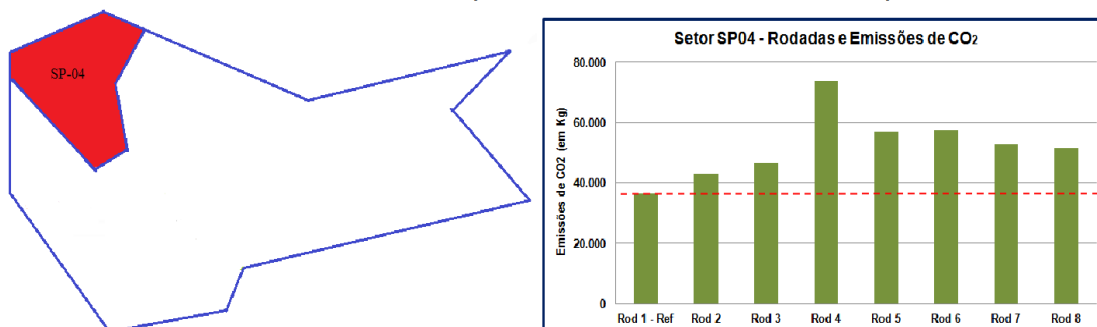
A Figura 8.27 descreve a variação da quantidade de emissões no setor SP-03, entre 5.500 e 19.500 pés de altitude. Nela, observa-se que a rodada 1 de

referência apresenta emissão estimada pouco superior a 111,9 toneladas de CO₂. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas as demais rodadas apresentam aumento de emissão de CO₂. A variação fica entre 14,8% e 36,0%. O cenário 8 apresenta o maior acréscimo, atingindo pouco mais de 152,2 toneladas de CO₂ 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.



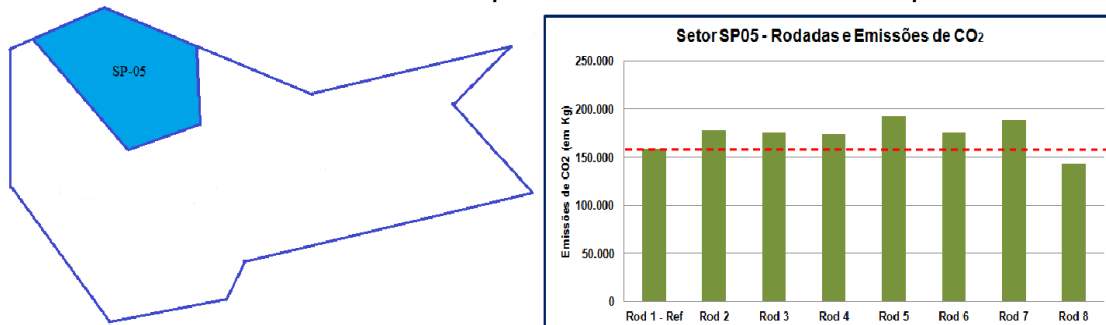
Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que todas elas também apresentam aumento de emissão de CO₂, 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 CO₂.

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.

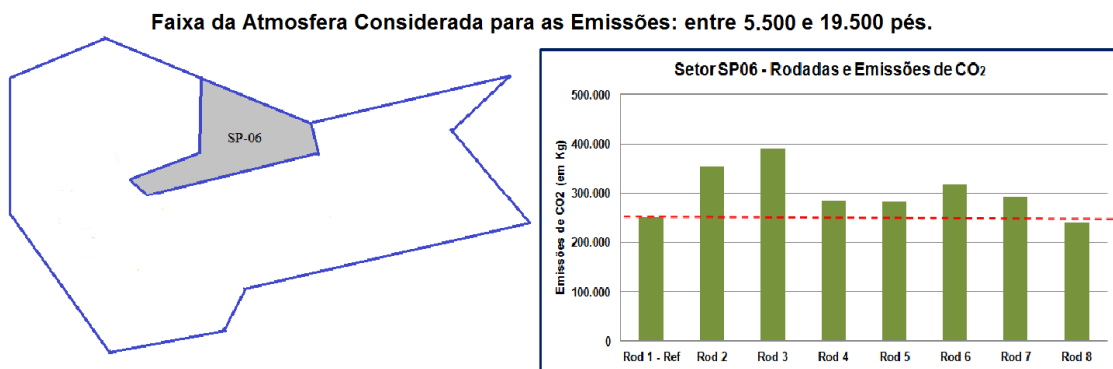


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que elas apresentam aumento de emissão de CO₂. 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 CO₂.

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

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

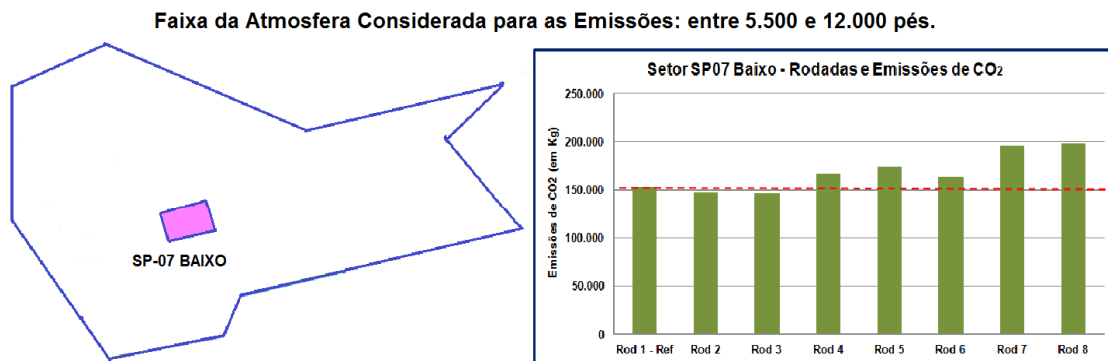


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. Quando se comparam as emissões das outras rodadas a essa, identifica-se que as demais rodadas de simulações apresentam aumento de emissão de CO₂. 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 CO₂.

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

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

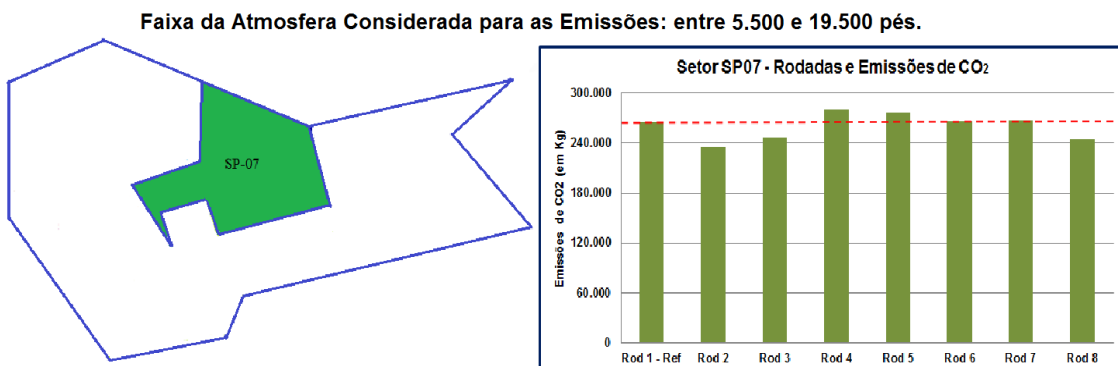


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂. 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.

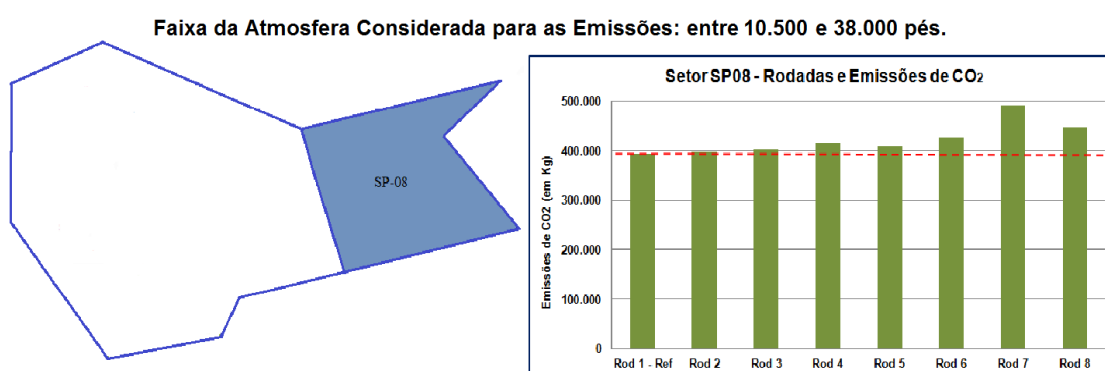


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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.

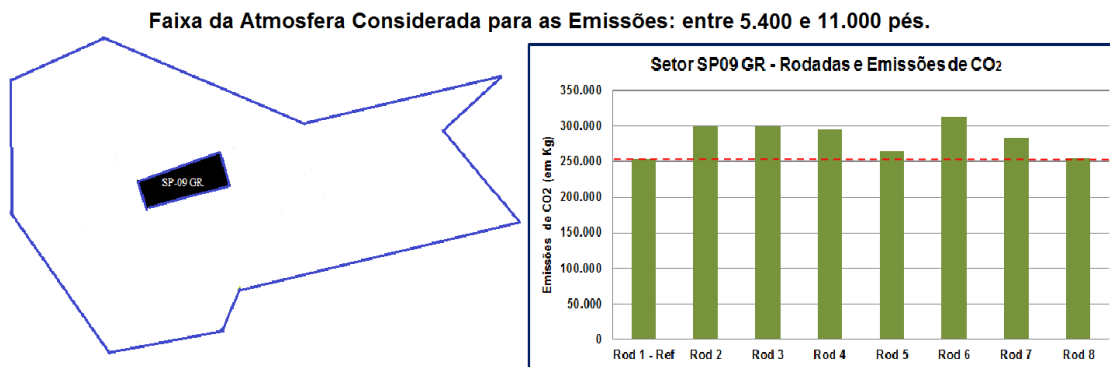


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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

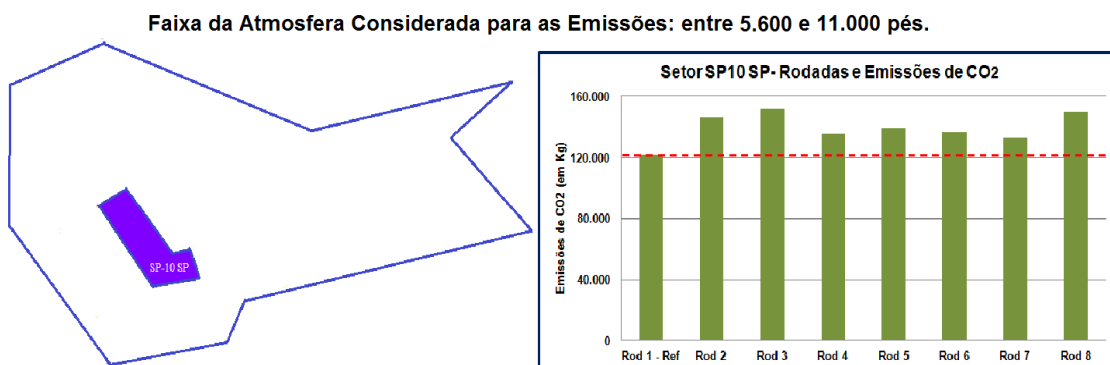


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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

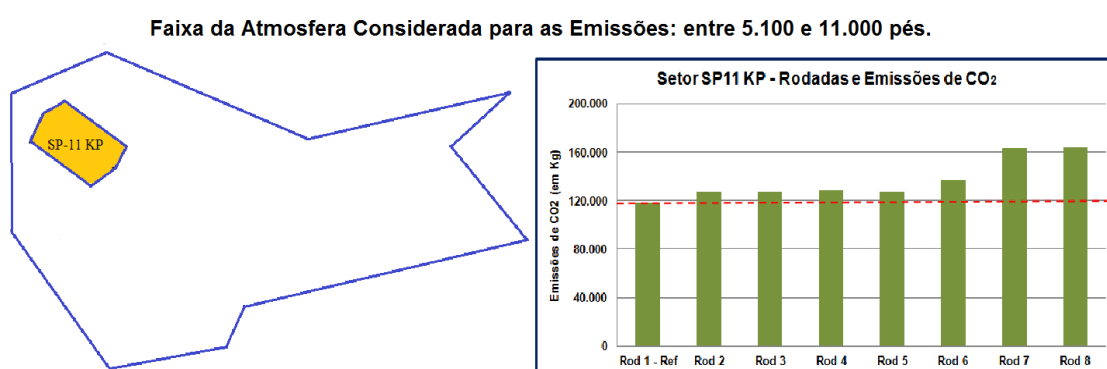


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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

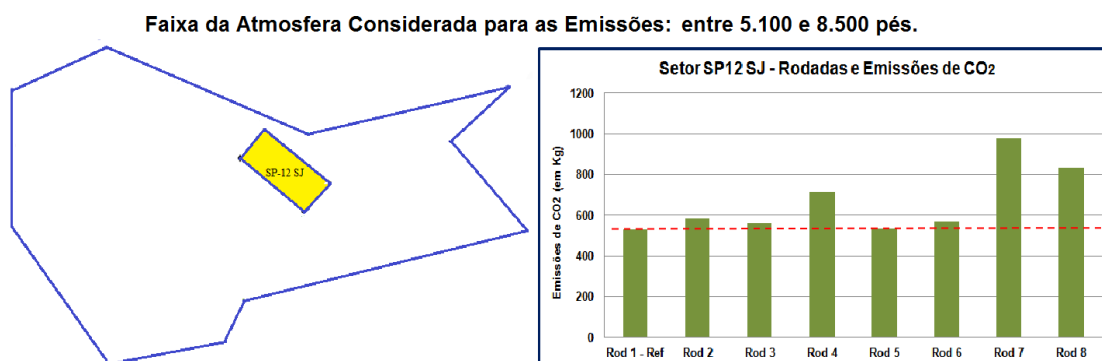


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ na TMA-SP. Além disso, observa-se que existem setores onde a quantidade estimada de emissões de CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

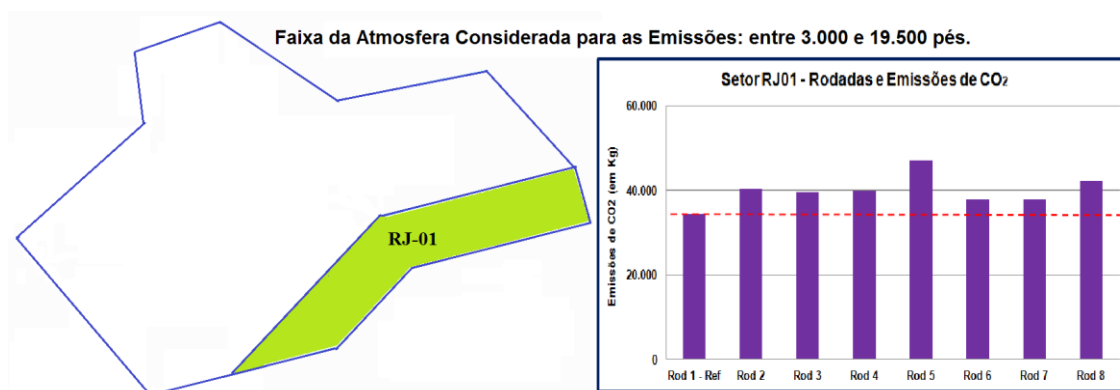
	Número de Aeronaves por Setor por dia.						
	RJ01	RJ02	RJ03	RJ04	RJ05	RJ06 GL	RJ07 RJ
Rod 1 - Ref	81	705	257	236	408	410	360
Rod 2	80	648	273	250	393	515	460
Rod 3	79	628	269	243	394	411	367
Rod 4	81	688	269	233	410	409	360
Rod 5	79	591	216	235	381	420	327
Rod 6	77	626	271	247	399	419	366
Rod 7	84	687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

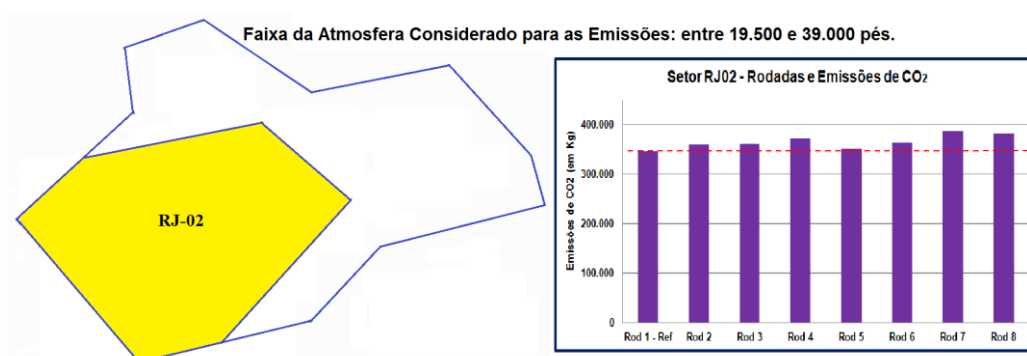


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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



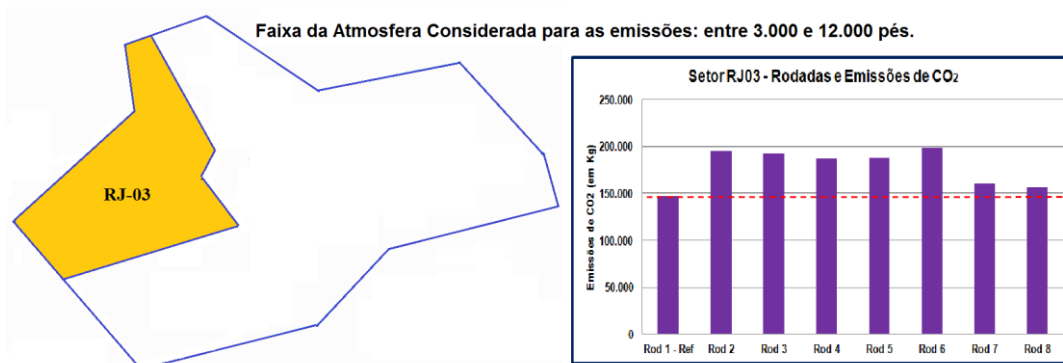
Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂ estimadas.

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

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

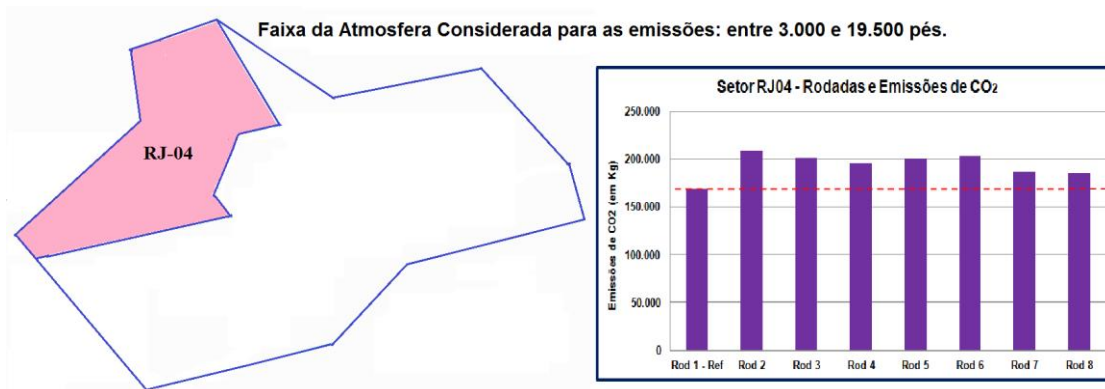


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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

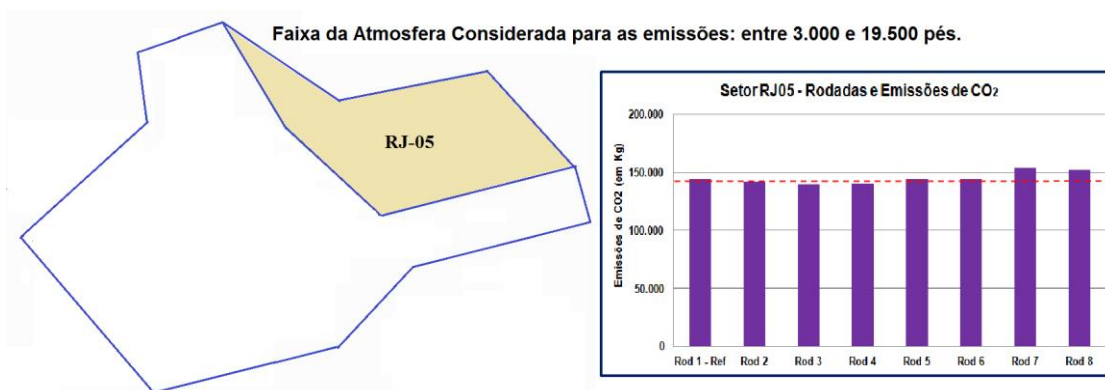


Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

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



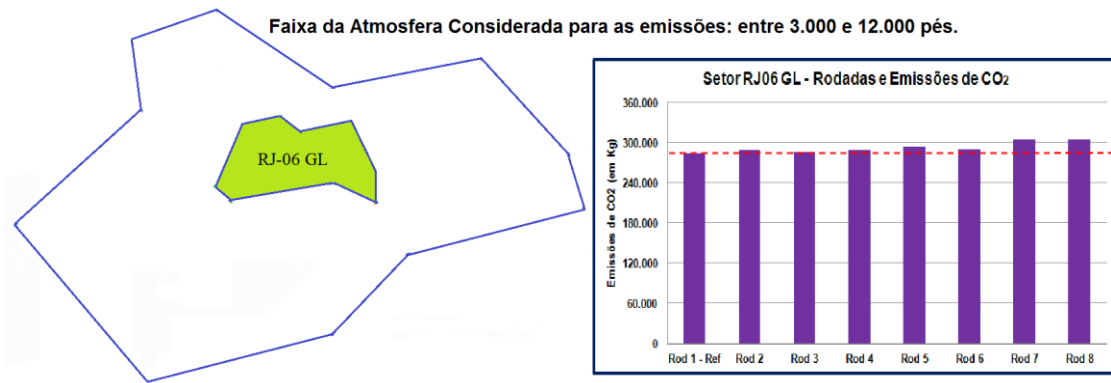
Fonte: Produção do autor.

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 CO₂. 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 CO₂.

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

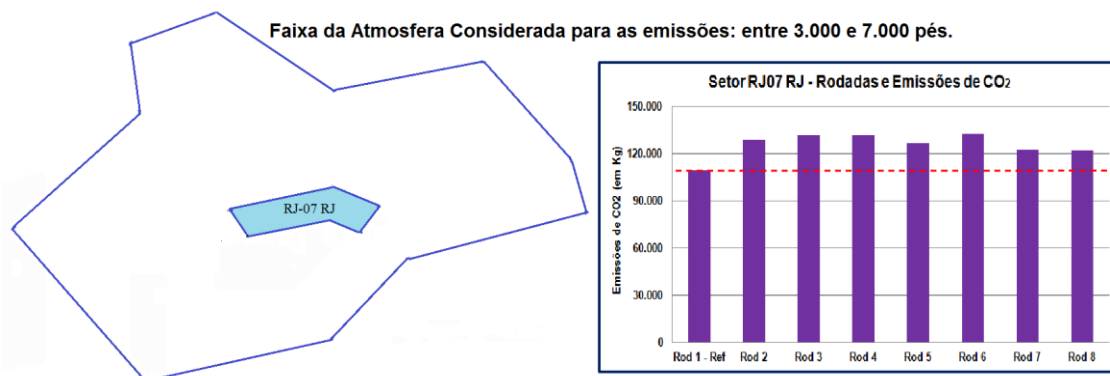
Figura 8.43 – Variação da quantidade de emissão no setor RJ-06 GL.



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 CO₂. 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 CO₂.

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 CO₂. 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 CO₂.

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 CO₂. 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 CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

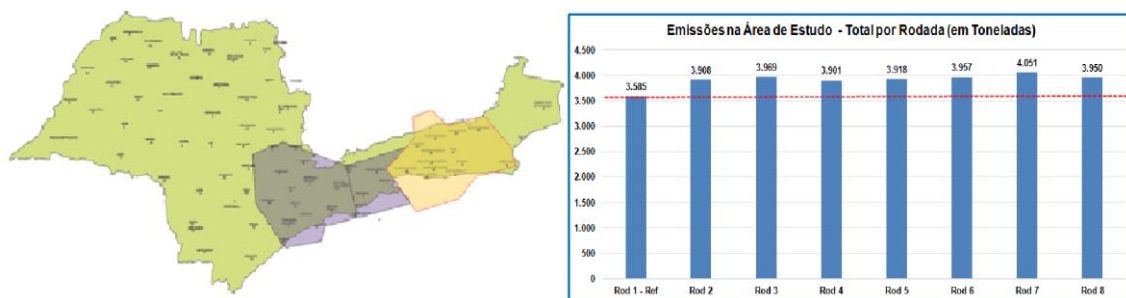
Tomando como base esse contexto, este trabalho segue o estabelecido pelo *Tier* 3b, definido por Winther e Rypdal (2016), e leva em conta as características do TAAM para a realização das simulações de tráfego aéreo. Assim, é possível afirmar que os resultados do cálculo do consumo de combustível pelas aeronaves e da respectiva quantificação de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ na área de estudo.



Fonte: Produção do autor.

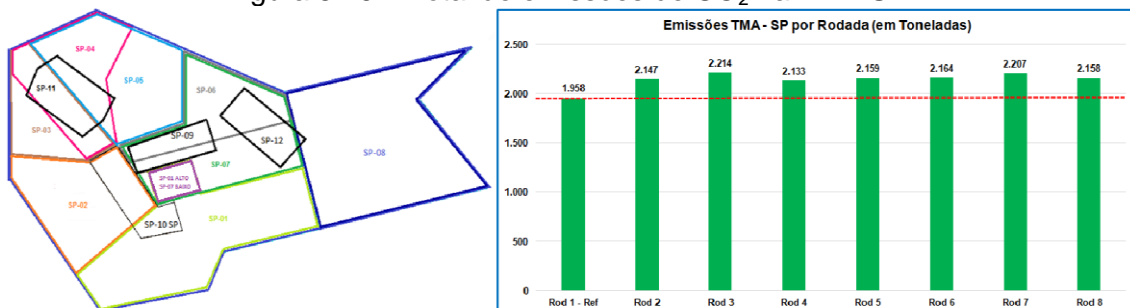
As duas maiores variações ocorrem nas rodadas 3 e 7. Ao se buscar o motivo de tal situação, percebe-se que as condições meteorológicas reinantes na região de estudo eram muito boas nessas duas rodadas de simulação. Na rodada 3, verifica-se que o impacto no movimento de tráfego aéreo foi decorrente principalmente 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 CO₂ 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 CO₂ na TMA-SP.



Fonte: Produção do autor.

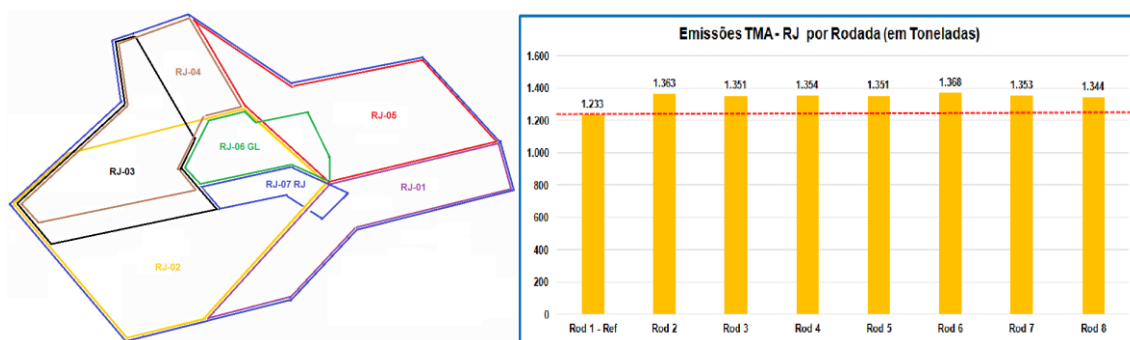
Observa-se que o perfil de emissões é praticamente igual àquele apresentado para as emissões totais na região de estudo. Percebe-se ainda que as rodadas

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂. 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 CO₂;
- 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 CO₂

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂, H₂O, e NO_x 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 CO₂ 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>. 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 CO₂. 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>. 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>. 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>. 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>. 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>. 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. 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>. 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>. 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. 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. 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. 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>. 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>. 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>. 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>. 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-carboninflights.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.jepessen.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>. 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. 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. 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. 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>. 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>. 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>. 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>. 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>. 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 CO₂ 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>. 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>. 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. 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. 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. 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. 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. Acesso em: 15 dez. 2016.

APÊNDICE A – Imagens de Radar de São Roque

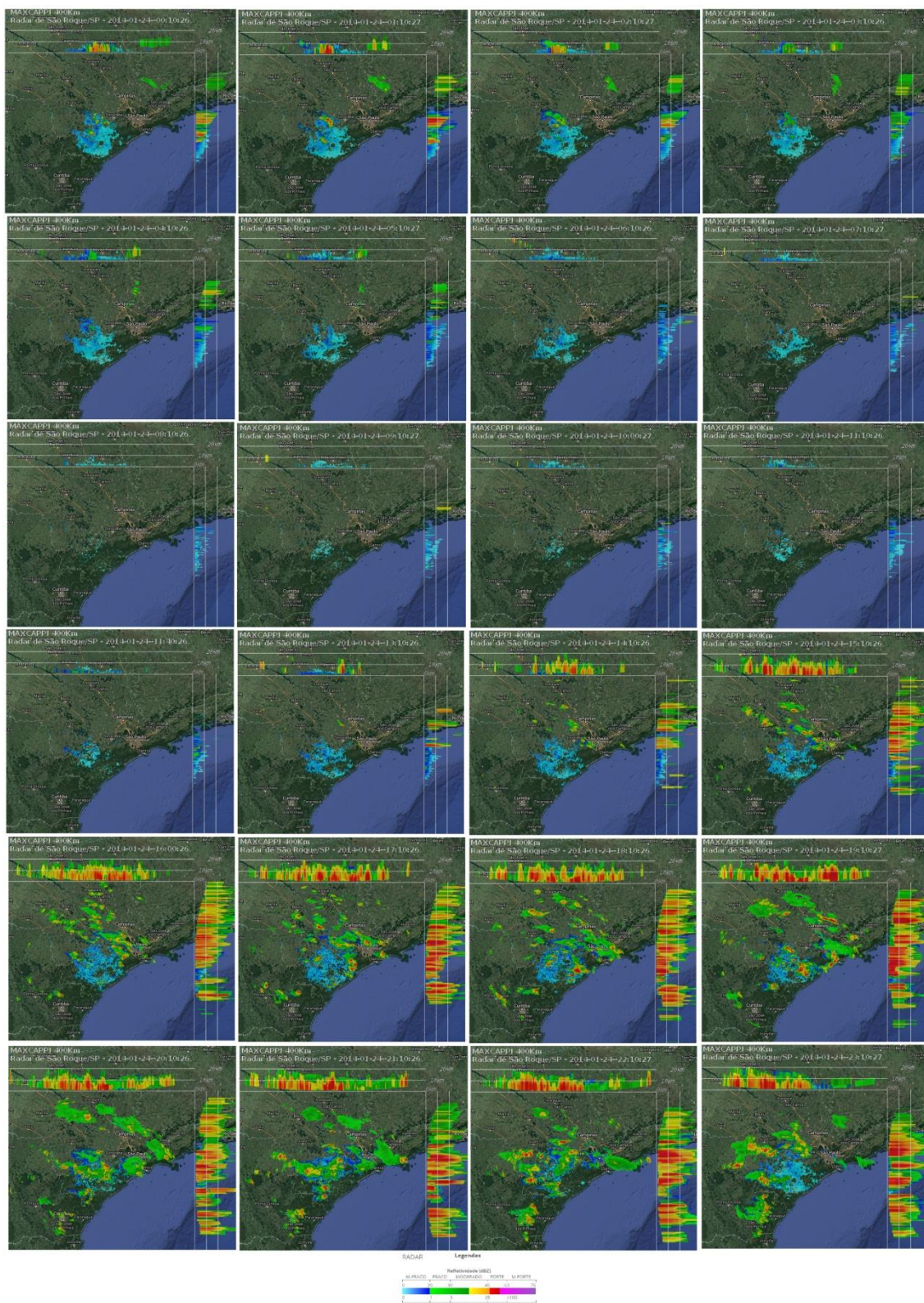


Figura A.1 – Evolução das condições de tempo do dia 24 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

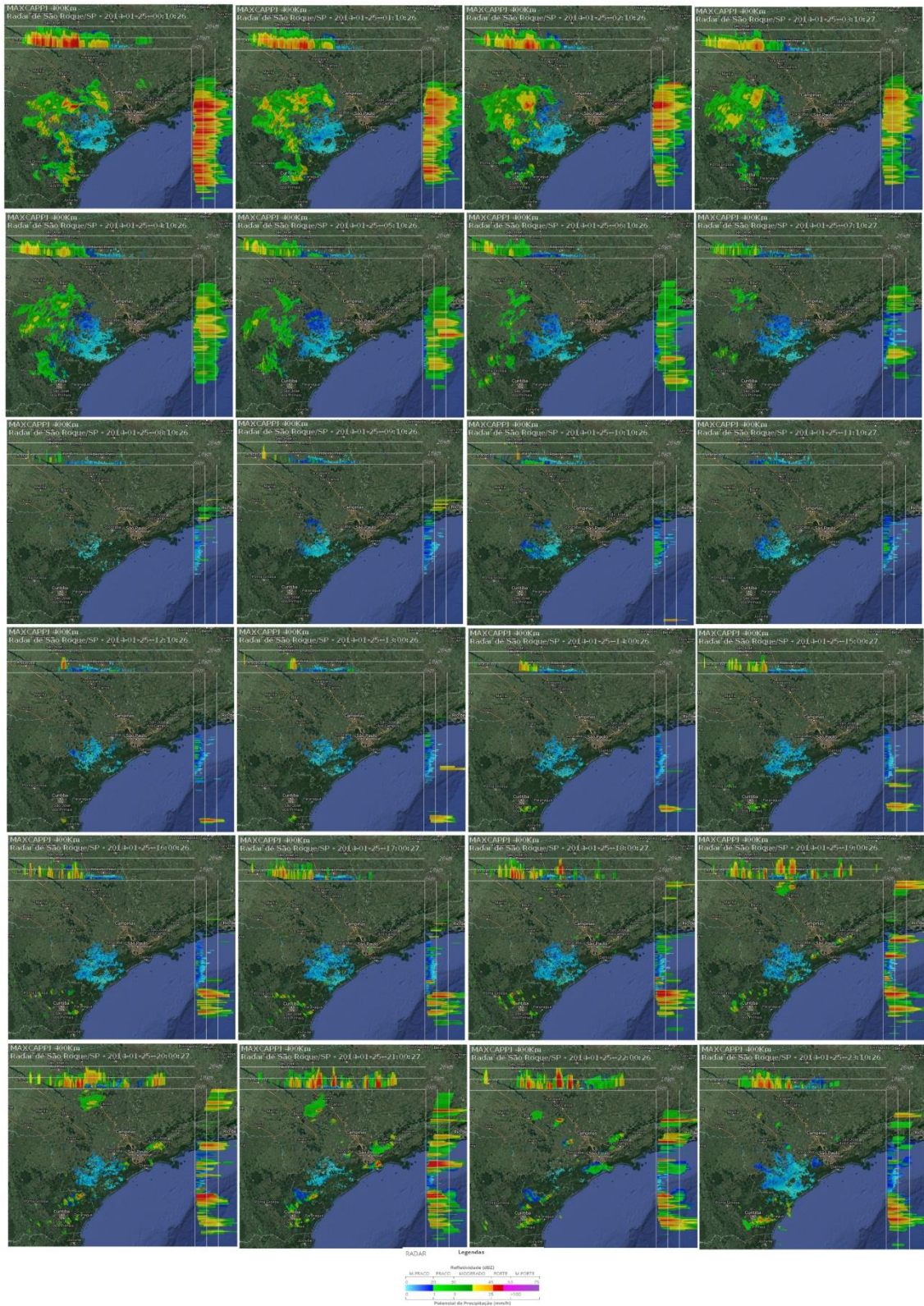


Figura A.2 – Evolução das condições de tempo do dia 25 de janeiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

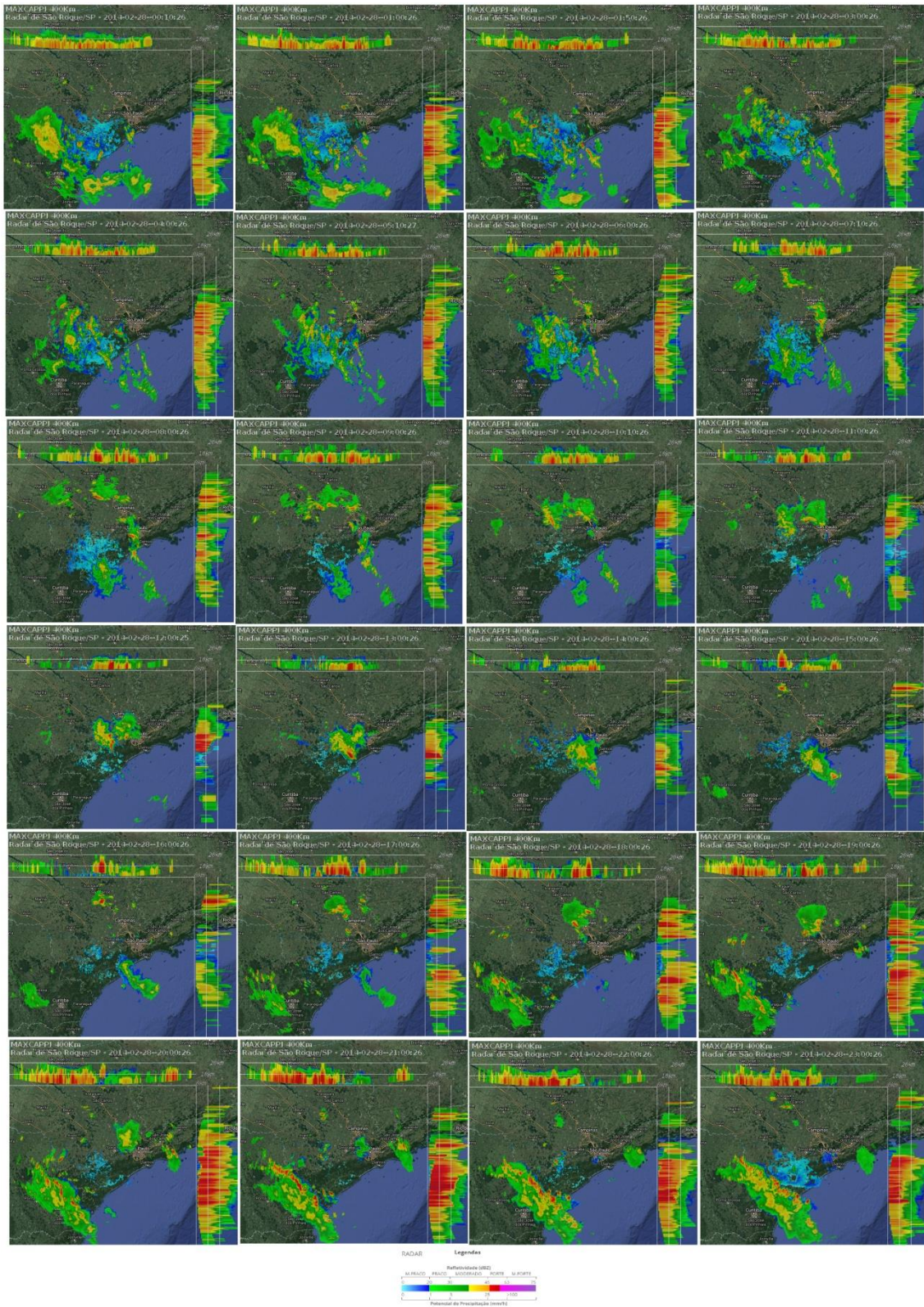


Figura A.3 – Evolução das condições de tempo do dia 28 de fevereiro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

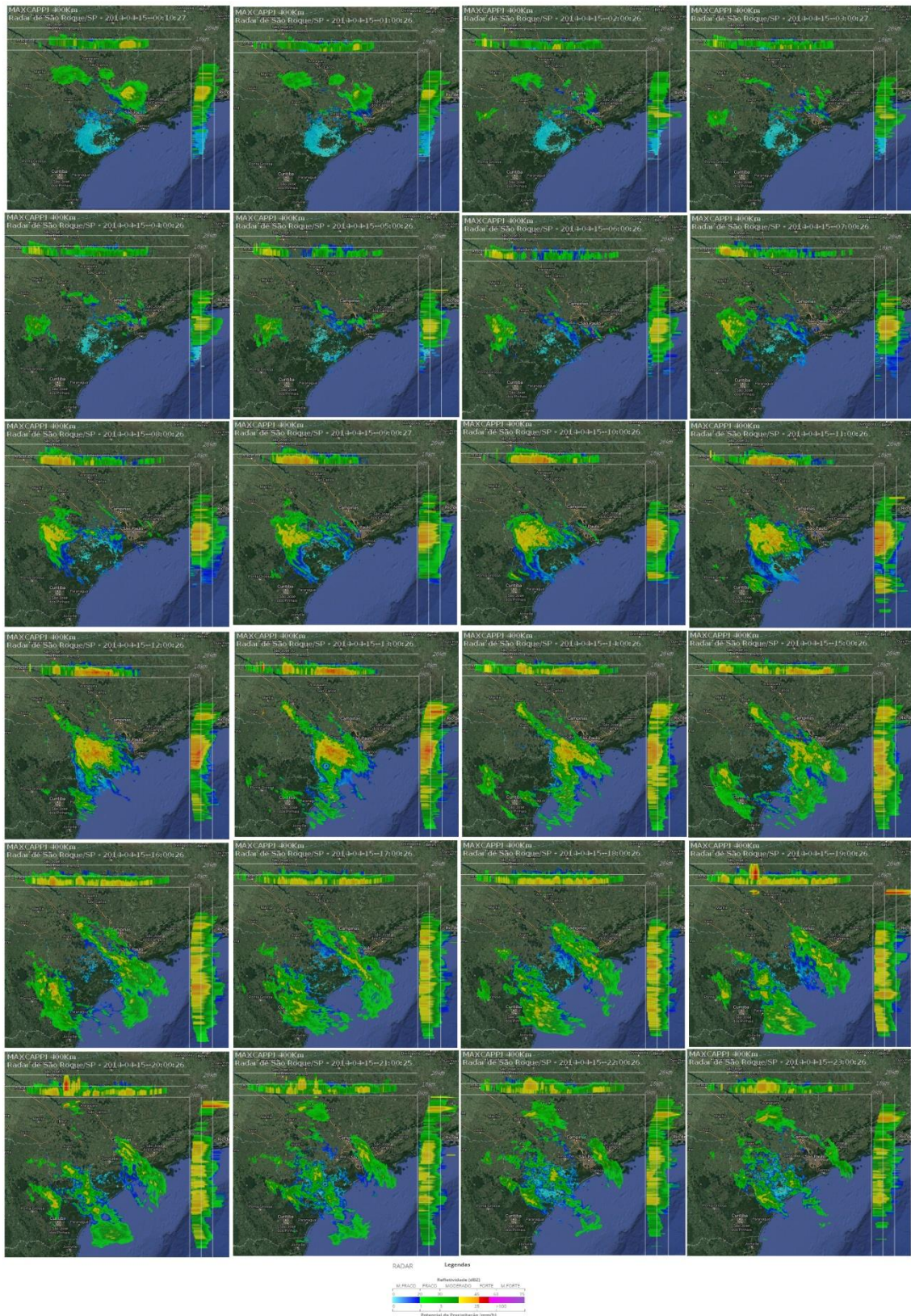


Figura A.4 – Evolução das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

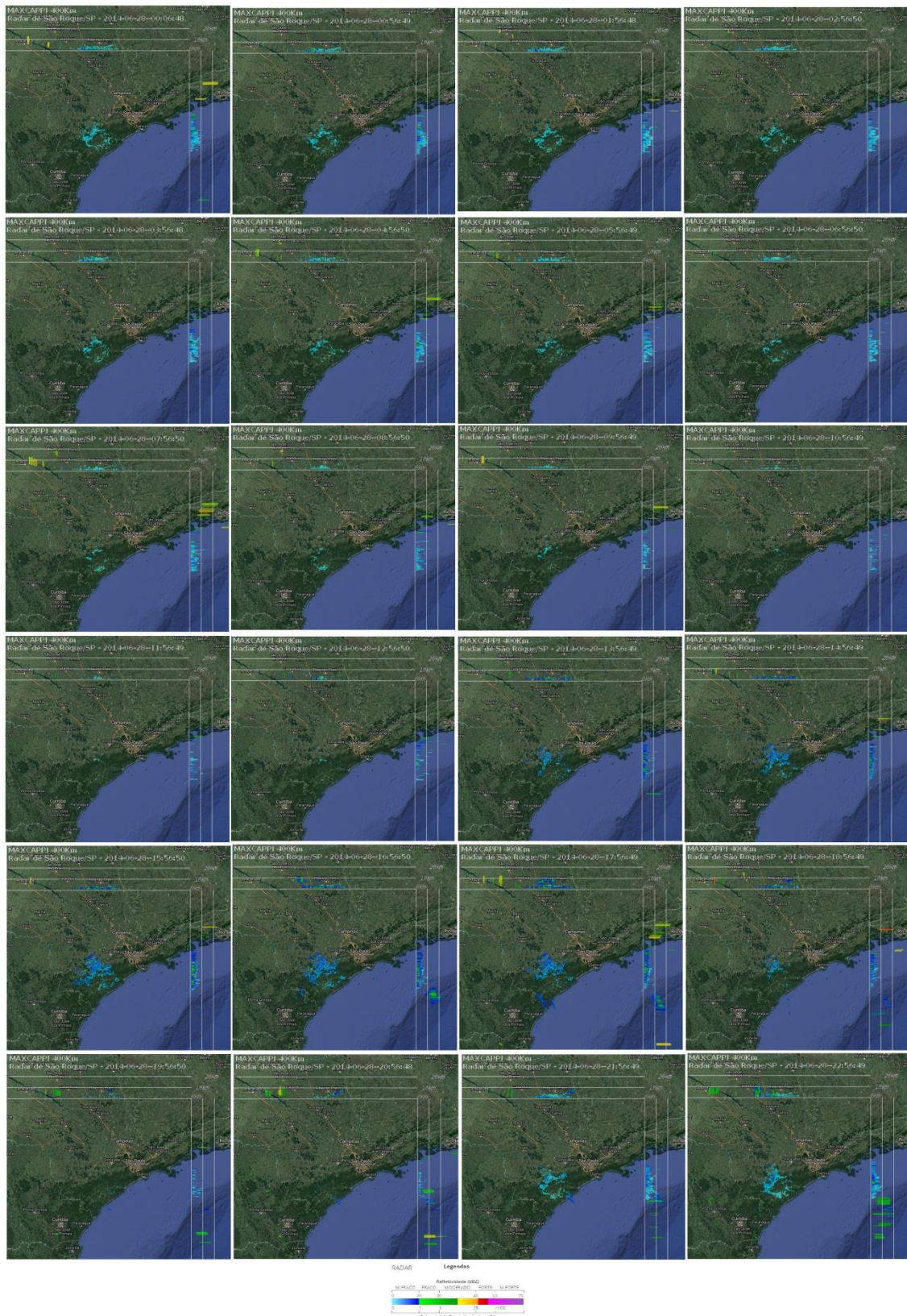


Figura A.5 – Evolução das condições de tempo do dia 28 de junho de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

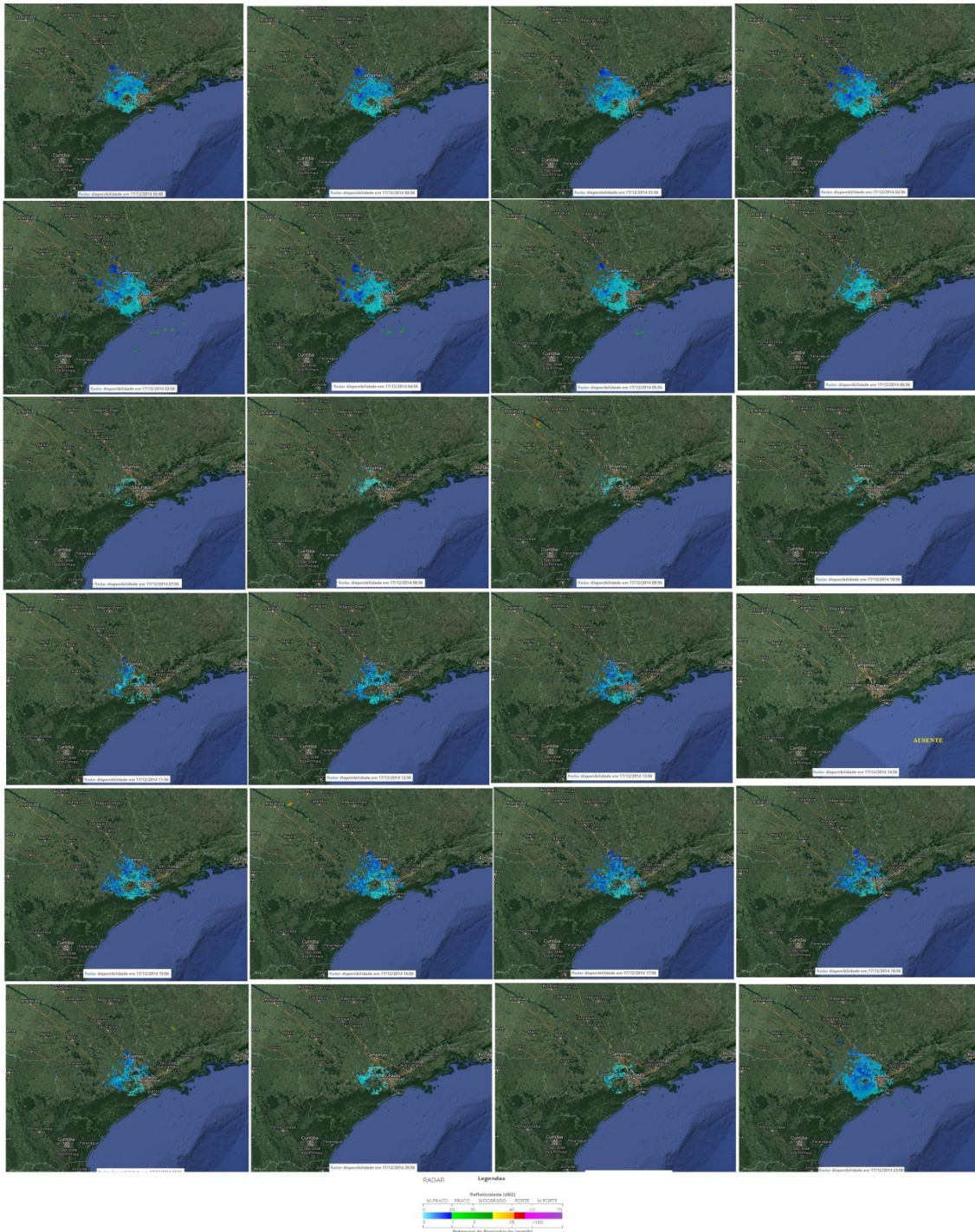


Figura A.6 – Evolução das condições de tempo do dia 17 de dezembro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

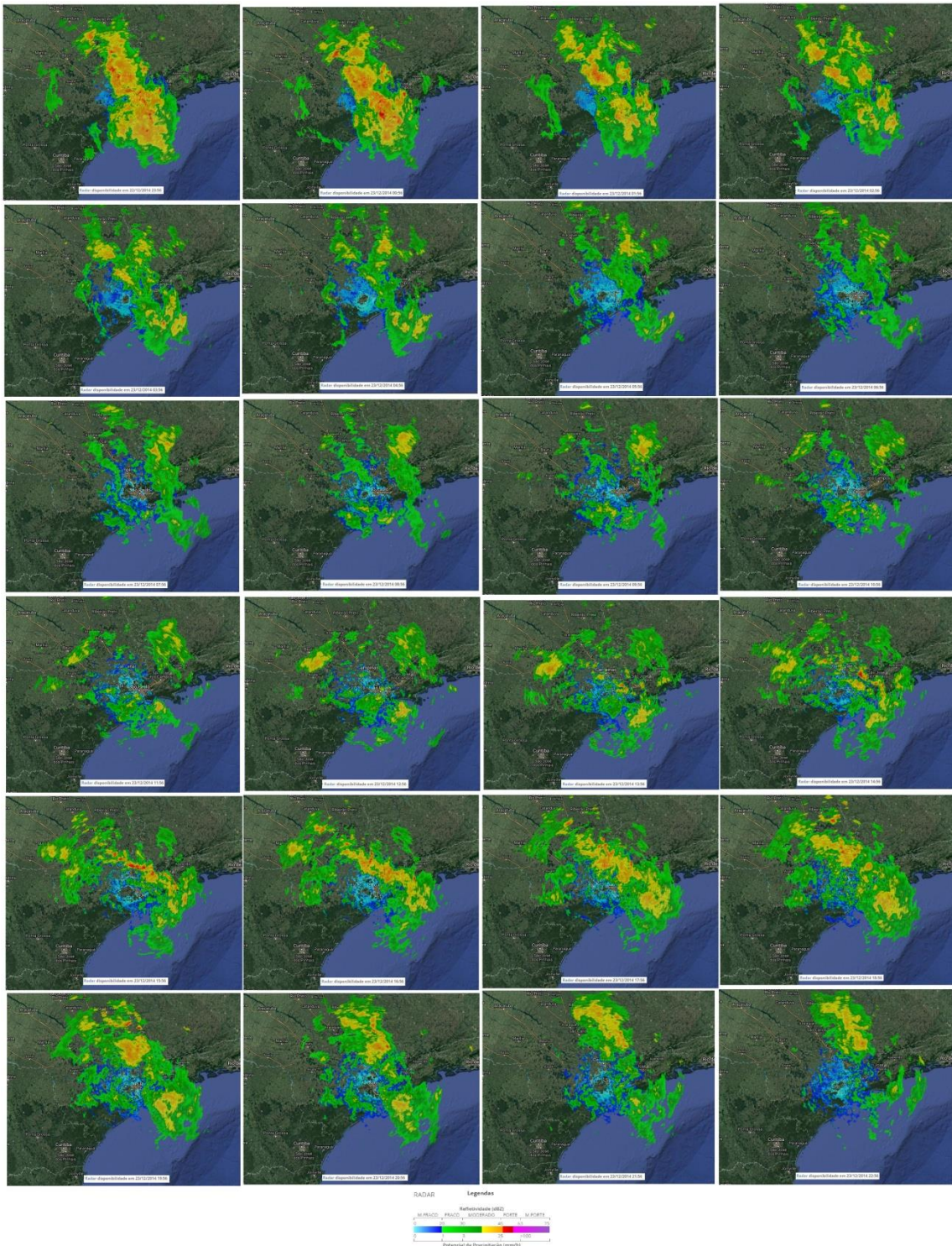


Figura A.7 – Evolução das condições de tempo do dia 23 de dezembro de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de São Roque – SP, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).

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).

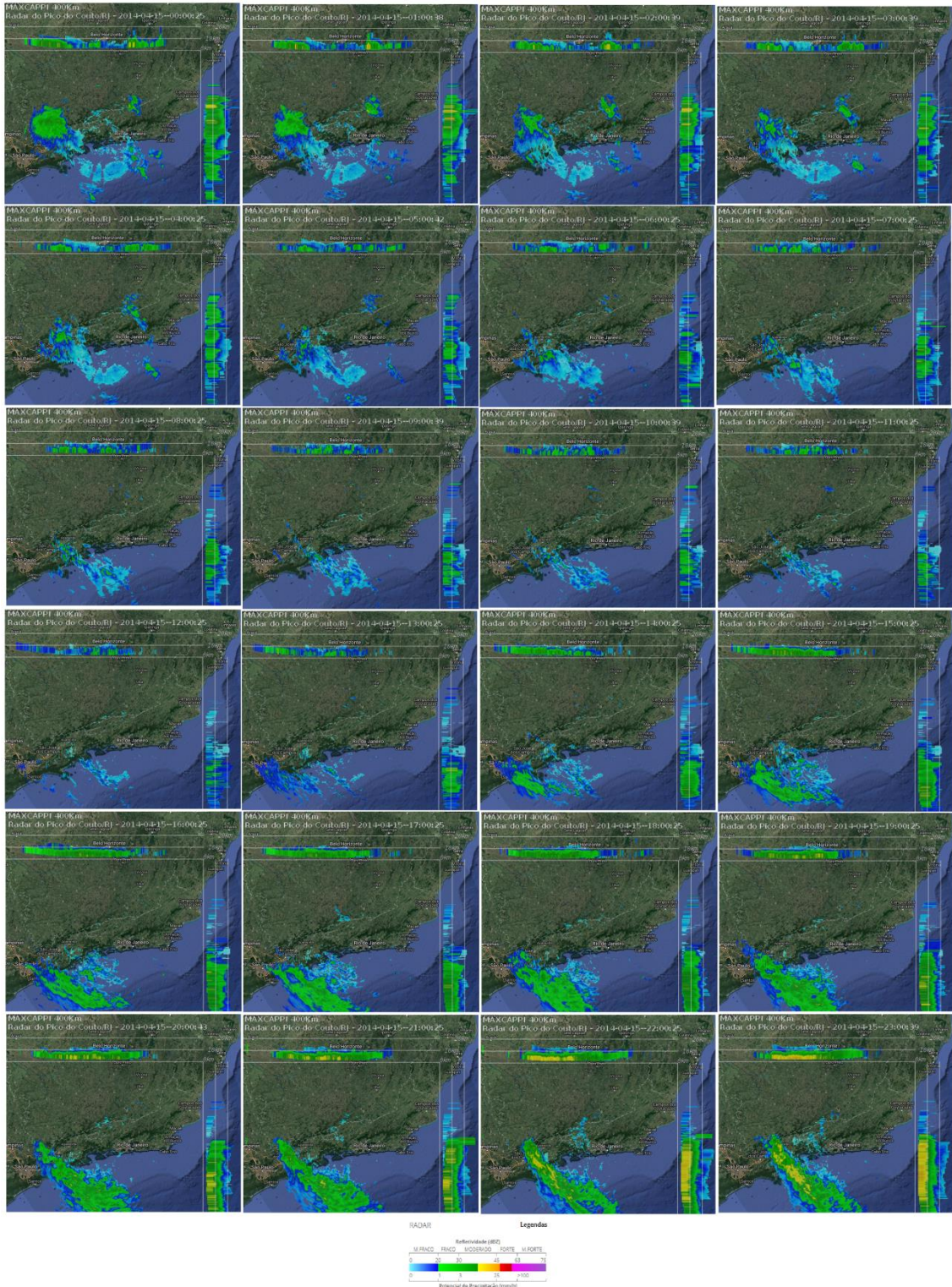


Figura B.4 – Evolução das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens horárias do Radar Meteorológico de Pico do Couto – RJ, iniciando em 00Z.
Fonte: REDEMET (2017).



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

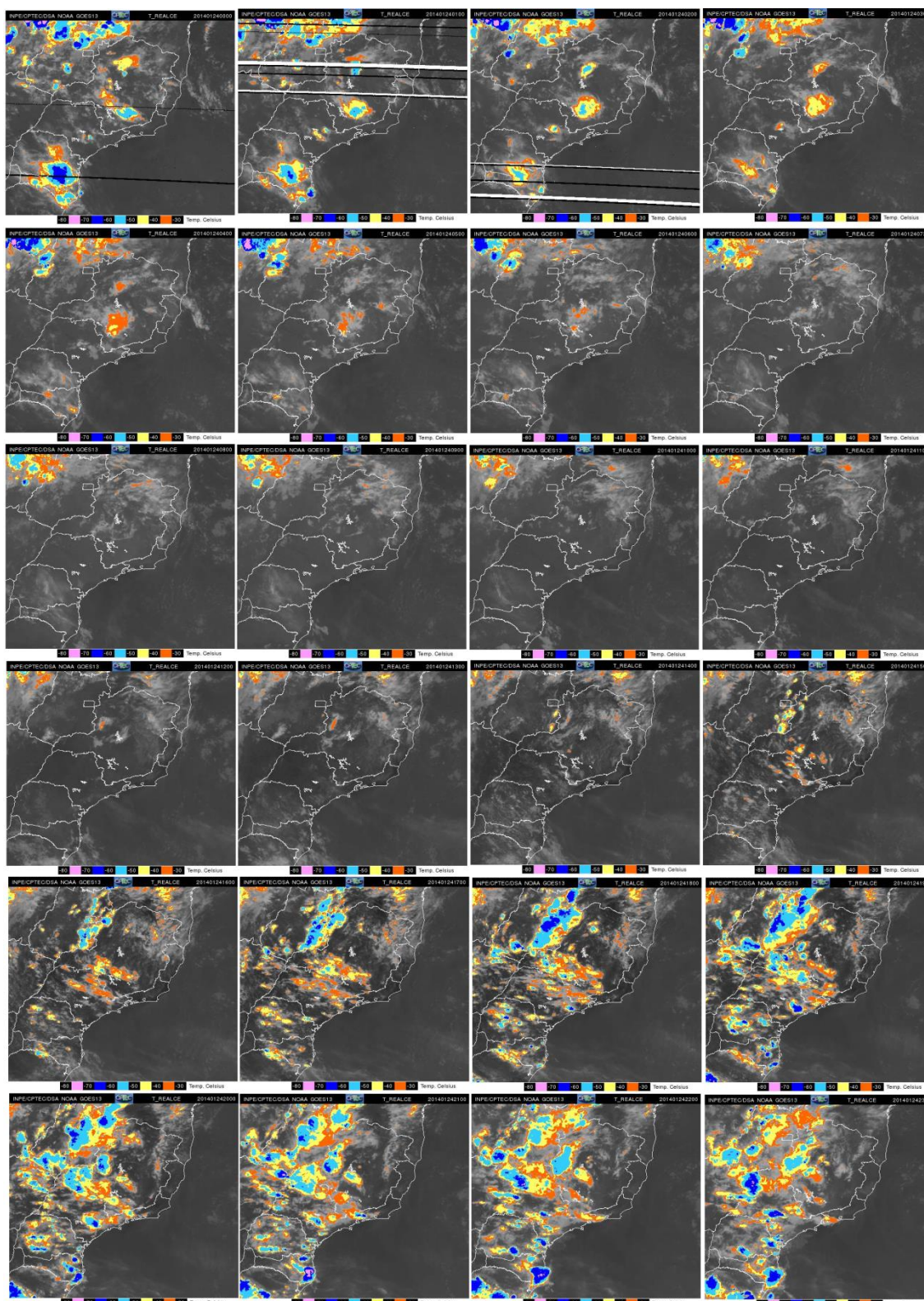


Figura C.1 – Evolução horária das condições de tempo do dia 24 de janeiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.

Fonte: INPE/CPTEC (2017).

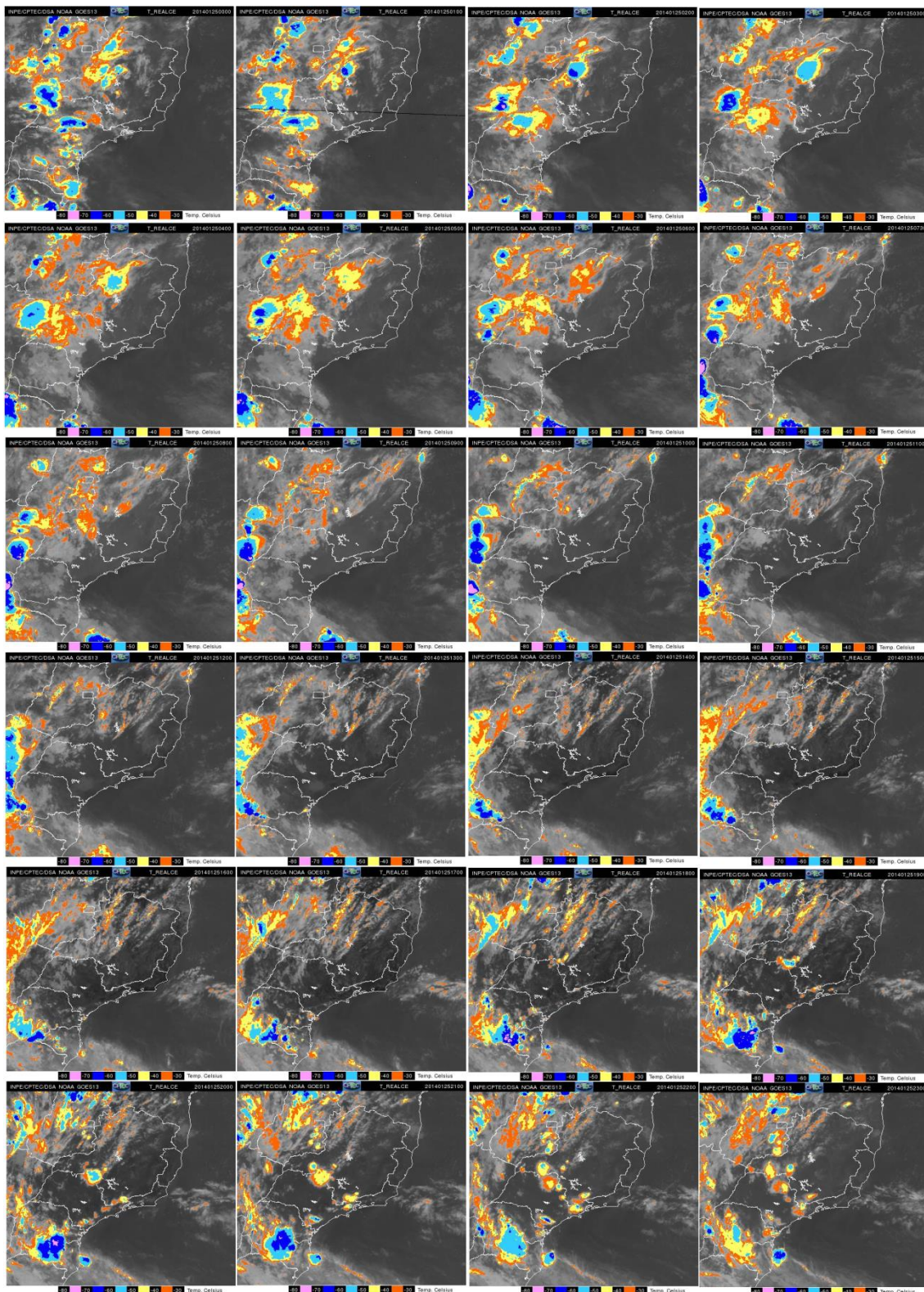


Figura C.2 – Evolução horária das condições de tempo do dia 25 de janeiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

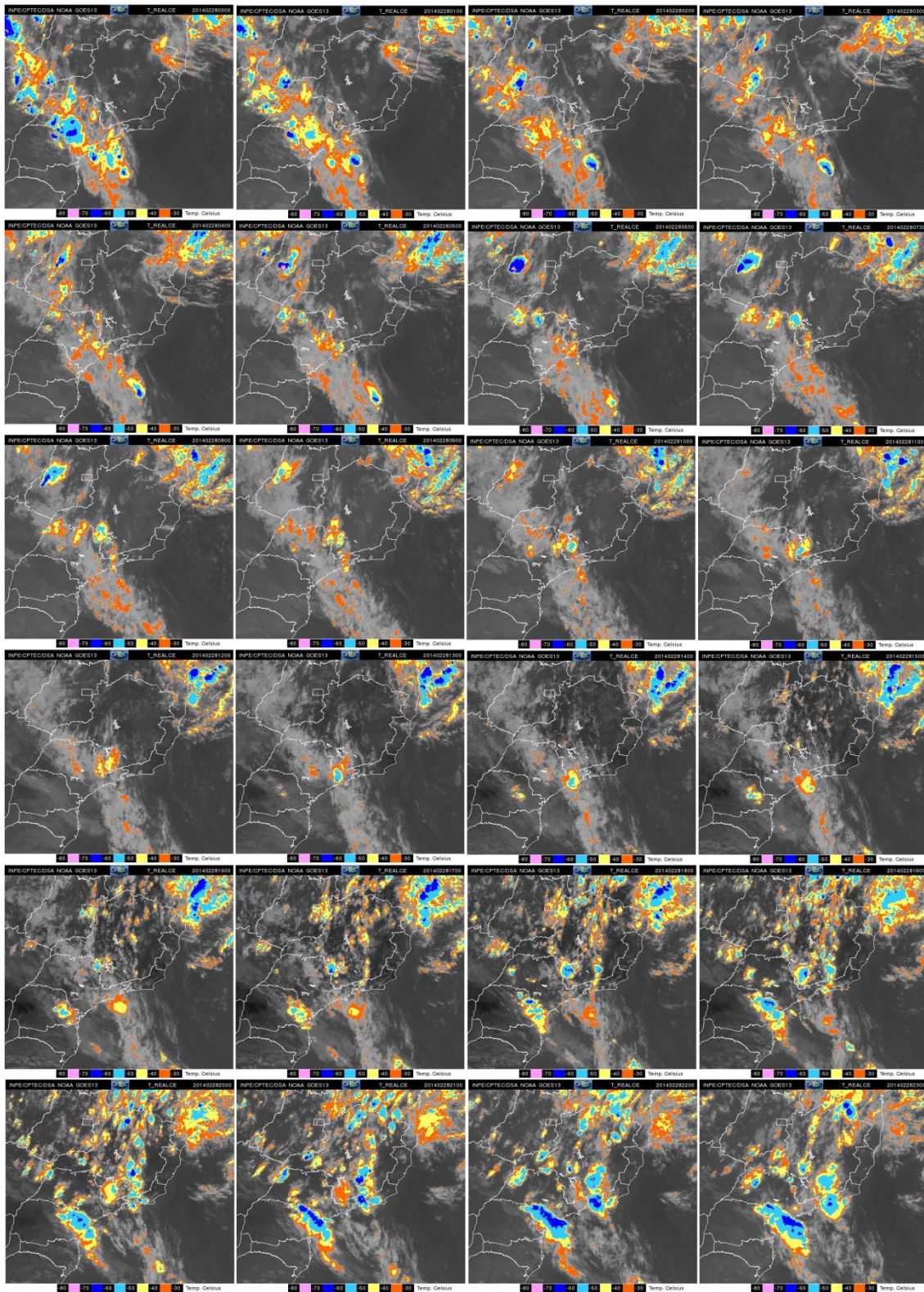


Figura C.3 – Evolução horária das condições de tempo do dia 28 de fevereiro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

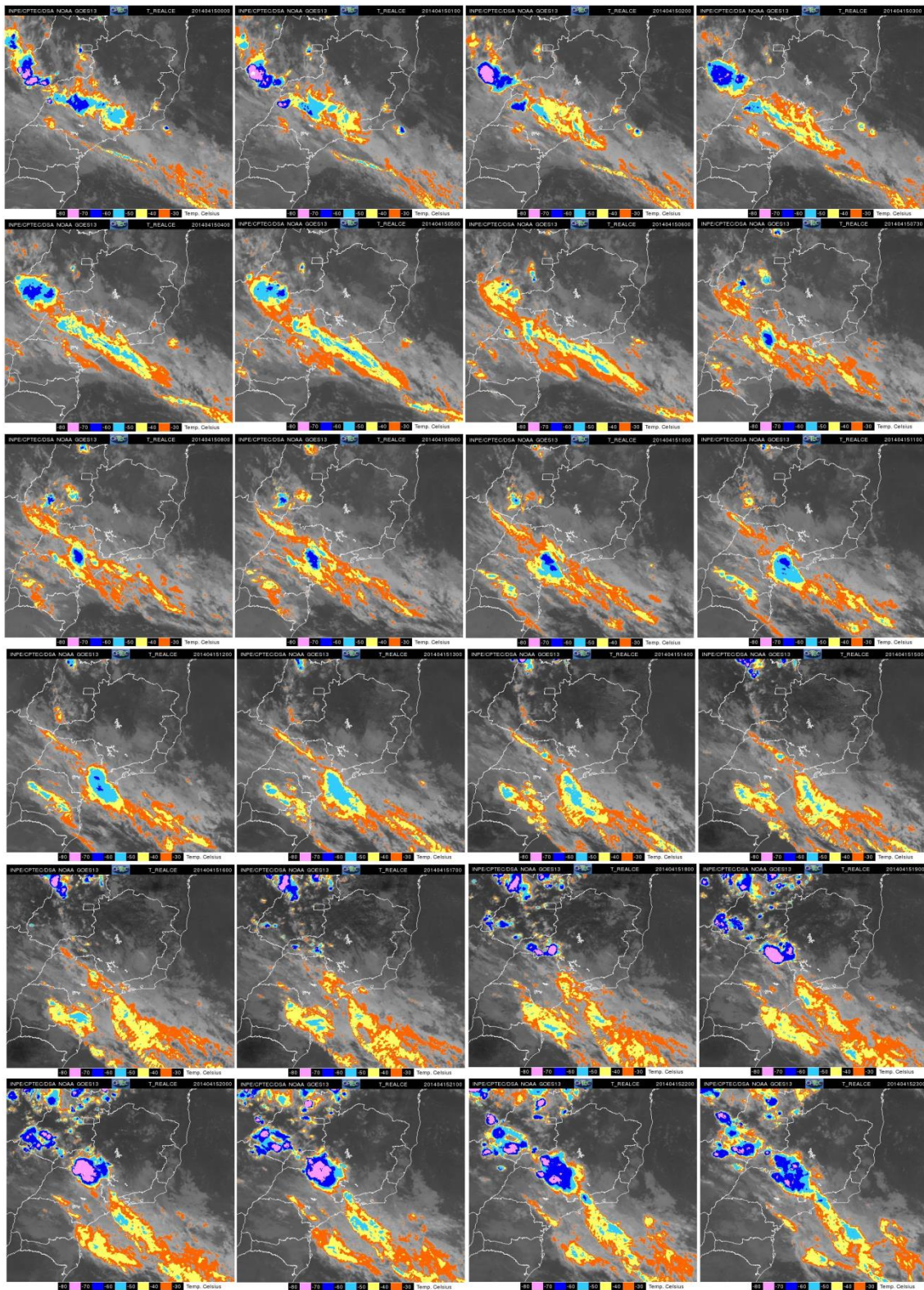


Figura C.4 – Evolução horária das condições de tempo do dia 15 de abril de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

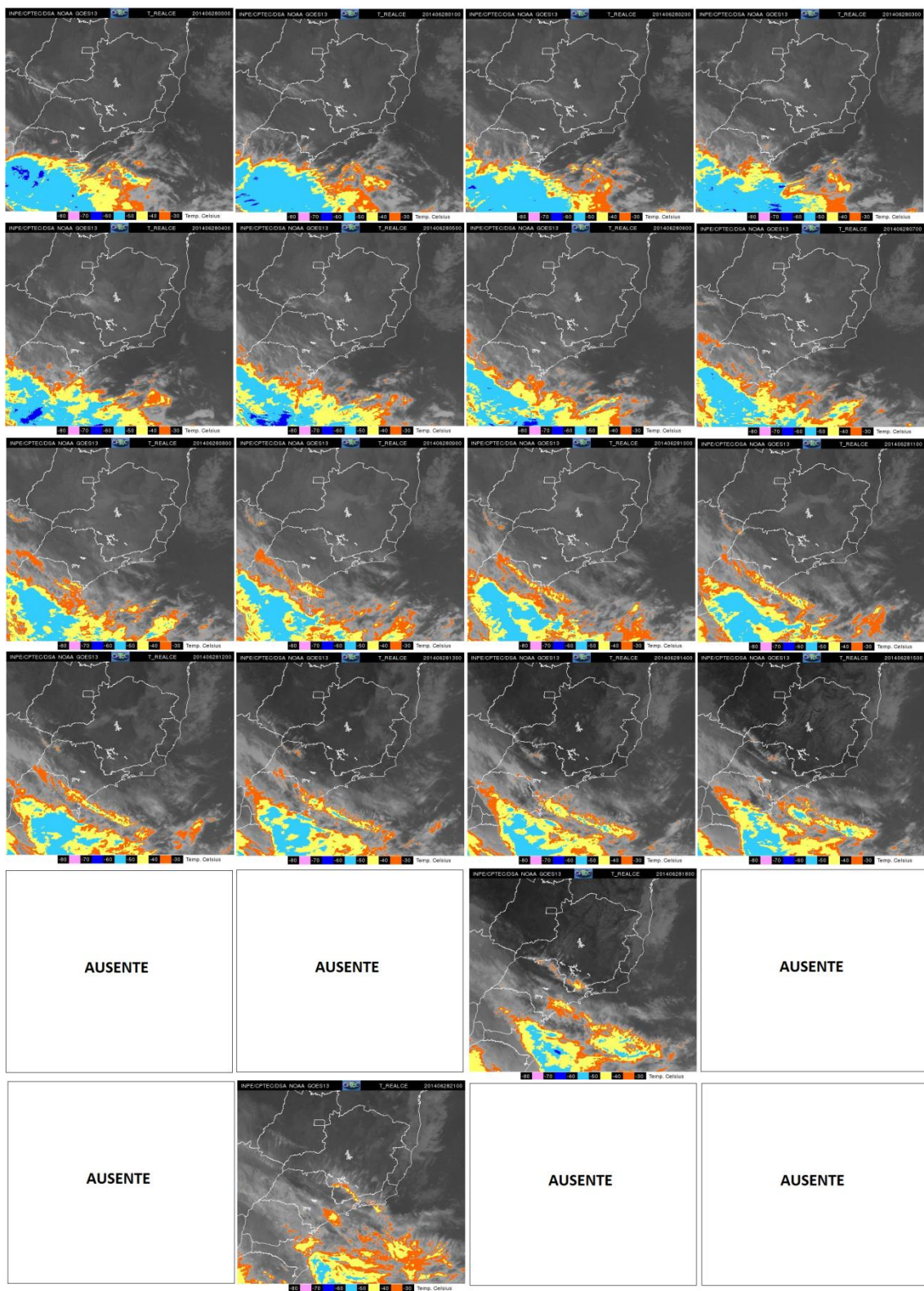


Figura C.5 – Evolução horária das condições de tempo do dia 28 de junho de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

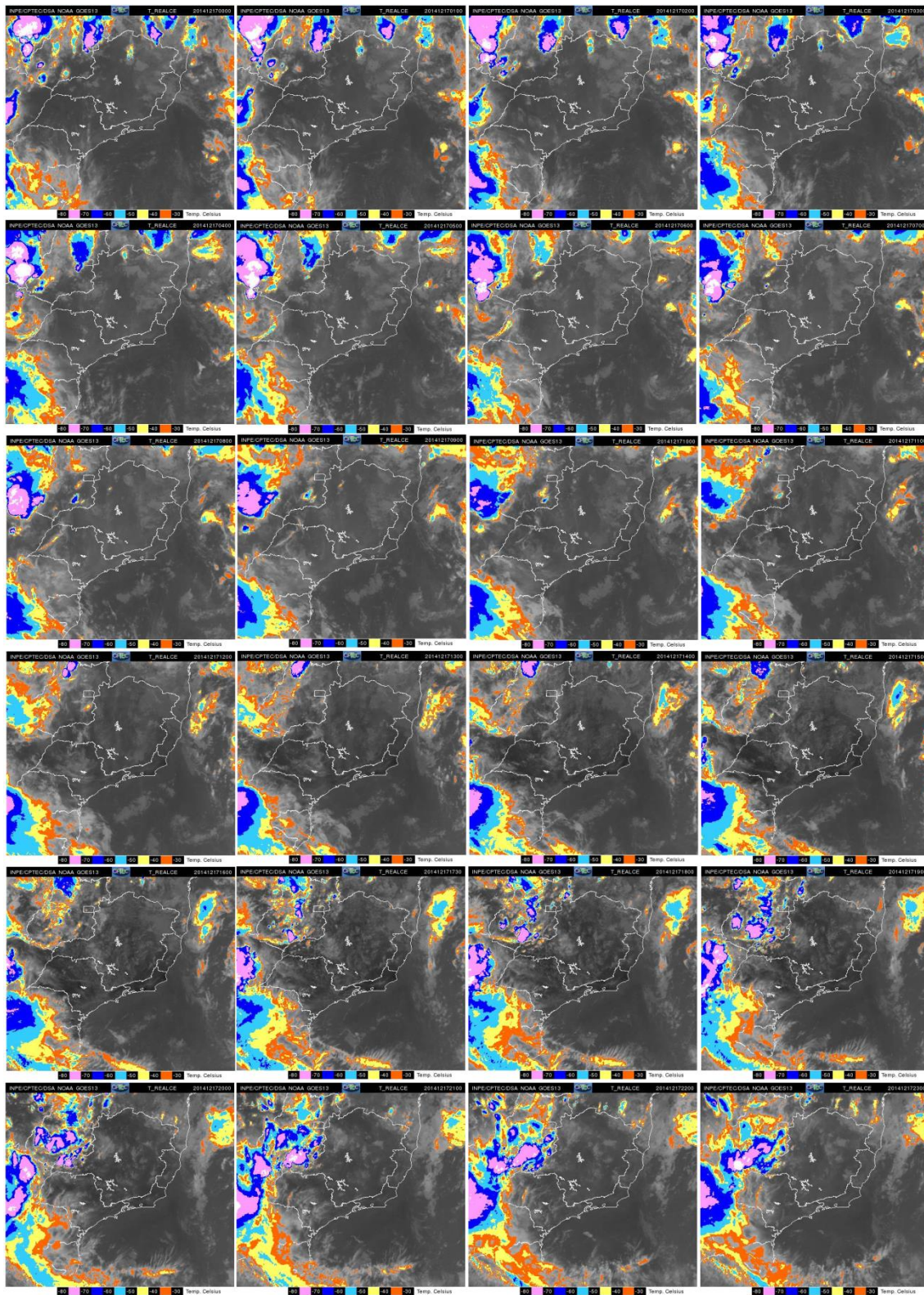


Figura C.6 – Evolução horária das condições de tempo do dia 17 de dezembro de 2014. Imagens realçadas de satélite do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

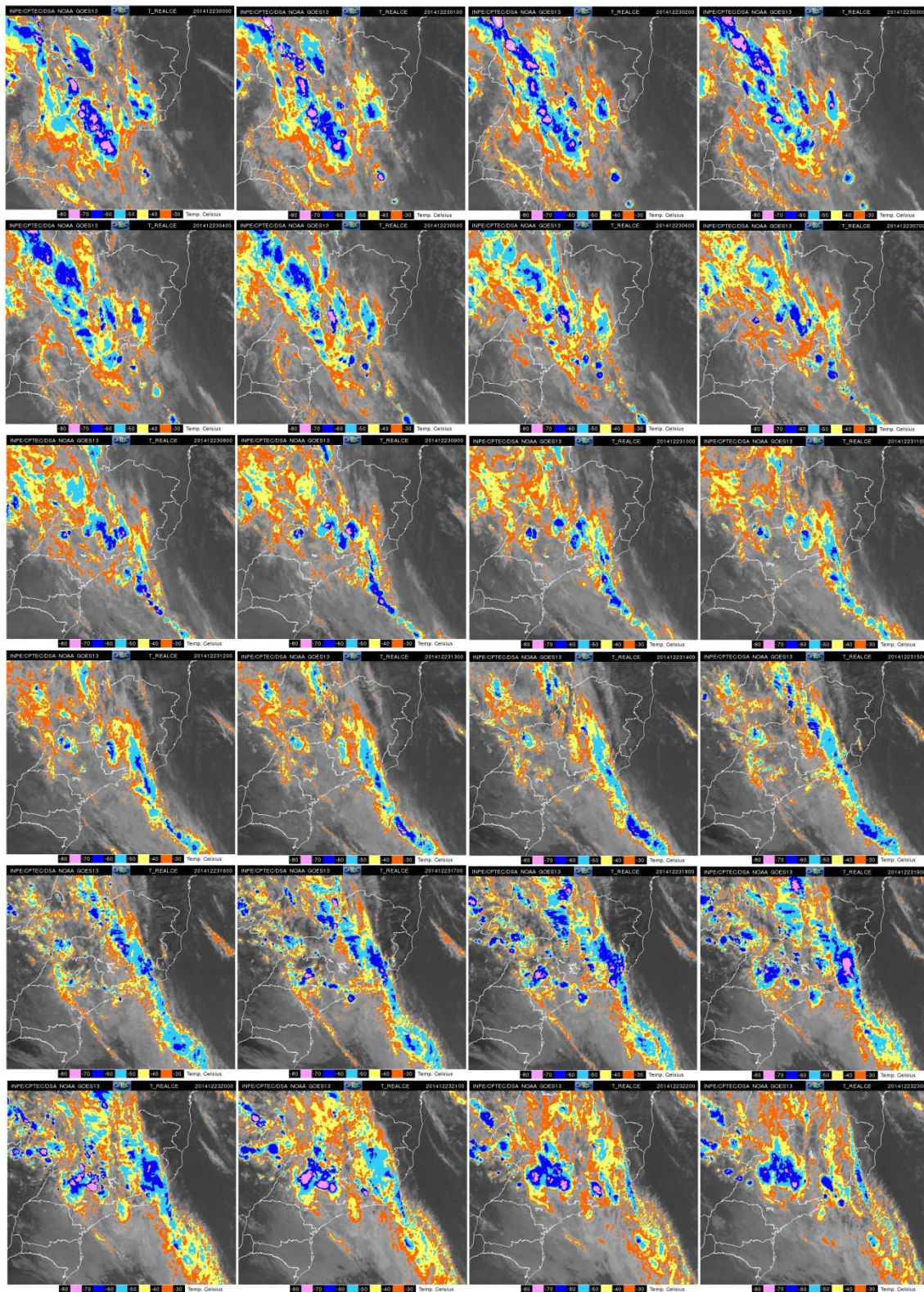


Figura C.7 – Evolução das condições de tempo do dia 23 de dezembro de 2014. Imagens de satélite, a cada 3 horas, do Sudeste do Brasil, iniciando em 00Z.
Fonte: INPE/CPTEC (2017).

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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis < 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis<10 Km	Nevoeiro Vis<1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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
	10:25	11:59								X	X
	12:00	12:29								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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis < 10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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 1000m≤Vis<10 Km	Nevoeiro Vis< 1000m	Chuva	Chuvisco	Windshear	Rajadas > 20 nós	VIS < 5000m	Teto < 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
		387.181		522.940		515.670		411.900		493.440		473.160		401.730		384.370

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
		562.921		576.610		594.760		553.480		543.700		576.260		559.350		548.150

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
		710.192		726.870		722.010		717.870		588.390		715.680		707.220		911.050

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
		639.802		716.710		714.860		663.540		691.790		692.410		627.210		879.510

Apêndice E – Continuação

Setor SP-04																
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	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
		527.920		519.110		516.880		550.150		691.240		643.220		567.810		662.580

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																
	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	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																
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	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																
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	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
		1.266.122		1.264.210		1.240.530		1.249.520		1.164.370		1.236.450		1.243.190		1.226.670

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
		531.220		683.950		688.720		546.340		485.220		753.620		533.600		507.170

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
		692.067		684.750		681.620		690.100		662.280		691.760		692.070		695.360

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
		727.921		817.100		713.950		725.810		625.480		719.050		721.060		718.030