



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Agrícola

DANIEL CATOIA QUINTILIANO

Predição de variáveis naturais que influenciam no pouso e decolagem de aeronaves a partir da técnica de “mapas auto-organizáveis”.

Campinas
2022

DANIEL CATOIA QUINTILIANO

Predição de variáveis naturais que influenciam no pouso e decolagem de aeronaves a partir da técnica de “mapas auto-organizáveis”.

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciências, na Área de Água e Solos.

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho
Coorientador: Prof. Dr. Cleyton de Carvalho Carneiro

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO/TESE DEFENDIDA PELO ALUNO DANIEL CATOIA QUINTILIANO, ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ TEIXEIRA FILHO E COORIENTADA PELO PROF. DR. CLEYTON DE CARVALHO CARNEIRO.

Campinas
2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizângela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

Q42p Quintiliano, Daniel Catoia, 1981-
Predição de variáveis naturais que influenciam no pouso e decolagem de aeronaves a partir da técnica de "mapas auto-organizáveis". / Daniel Catoia Quintiliano. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: José Teixeira Filho.

Coorientador: Cleyton de Carvalho Carneiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Mapas auto-organizáveis. 2. Meteorologia. 3. Meteorologia aeronáutica. I. Teixeira Filho, José, 1955-. II. Carneiro, Cleyton de Carvalho, 1980-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Prediction of natural variables that influence the landing and take-off of aircrafts using the technique of "self-organizing maps".

Palavras-chave em inglês:

Self-organizing maps

Meteorology

Aeronautical meteorology

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

José Teixeira Filho [Orientador]

Jurandir Zullo Junior

Priscila Pereira Coltri

Data de defesa: 22-08-2022

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-2826-8004>

- Currículo Lattes do autor: <https://lattes.cnpq.br/5956599032667107>

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Daniel Catoia Quintiliano**, aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de agosto de 2022, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAAGRI

Prof. Dr. José Teixeira Filho – Presidente e Orientador

Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior – Membro Titular

Prof. Dra. Priscila Pereira Coltri – Membro Titular

**Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, principal força resultante que sustenta meu voo na virtuosa viagem da vida. Pessoas sem as quais minhas turbulências seriam muito mais severas, minhas rotas muito mais complexas e meu rumo inexato. A todos vocês que aqui presentes, (ou em outro 'nível de voo') me mantém focado para que eu não perca o horizonte na busca dos meus objetivos. Ainda que por vezes este seja um “voo guardado”, ao final contemplamos juntos o sucesso da jornada, finalizando-a sempre com êxito e precisão.

Dedico, pois, cada página aqui escrita aos meus primeiros Comandantes e Instrutores, Luiz Antonio Quintiliano, Maria Aparecida Catoia Quintiliano e Danilo Catoia Quintiliano, cuja alternância de liderança tive o prazer de dividir ao longo desses muitos anos. Também dedico a minha amada esposa Riane Benedini Curi, que me fez entender que não há mais sentido no voo solo, uma vez que, desde que eu a conheci e a tenho como ala, percebi que juntos somos ases!

Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todas as pessoas que desde o início do trabalho acreditaram ser possível e colaboraram para que este pudesse ser executado e finalmente concluído. Dentre tantas, destaco:

A srta. Julie Miwa Itamoto, pelo incentivo e colaboração nas fases iniciais do projeto, fundamentais para sua execução.

A srta. Carolina Verbicaro Perdomo pela imensa colaboração e incentivo na retomada e conclusão do mesmo.

A srta. Vanessa Calvo Paulini, que me auxiliou na organização para que este trabalho pudesse ser apresentado em seu formato final.

A todos os meus professores que fizeram parte do meu engrandecimento científico e intelectual durante esses anos de estudos. Destaques ao Prof. Dr. Cleyton de Carvalho Carneiro que me ajudou e incentivou no início das pesquisas e ao Prof. Dr. José Teixeira Filho, com quem tive o prazer e a sorte de trabalhar nos anos finais do projeto e que aceitou o desafio de me ajudar a concluí-lo com êxito.

O Presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Deus e ao Universo, por sempre conspirarem ao meu favor!

“As pessoas são as coisas mais importantes nessa vida. Trate-as como algo precioso, porque é exatamente isso que elas são. Assim como o nosso lindo Planeta, todos nós somos, ao mesmo tempo, insignificantes perante a imensidão do Universo, e muito especiais, pois cada um de nós é o Universo. Todos somos iguais em essência. Nós não estamos sozinhos e isolados, quando você fere alguém, você fere a si mesmo. Quando você ajuda a alguém, você ajuda a si mesmo”.

(Marcos Cesar Pontes)

RESUMO

QUINTILIANO, D. C. **Predição de variáveis naturais que influenciam no pouso e decolagem de aeronaves a partir da técnica de “mapas auto-organizáveis”**. 2022. 108f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

Apesar do amplo desenvolvimento da meteorologia aeronáutica e da relevante expansão do setor aéreo desde a década de 1960, ainda hoje existem diversos aeródromos brasileiros em operação que não dispõem de estações para a coleta e transmissão das informações referentes às condições meteorológicas locais. Neste contexto, este trabalho se propôs a fazer a análise multivariada de dados meteorológicos através do Self-Organizing Maps (SOM) a partir de um banco de dados obtidos por estações meteorológicas de superfície (EMS) espalhadas pelo estado de São Paulo, possibilitando a criação de um cenário sintético de tempo próximo à realidade do local. Com isso se propôs a predição de variáveis meteorológicas, tais como: precipitação, direção e velocidade do vento, e pressão atmosférica; importantes para operações de pouso e decolagens. A partir desses dados, a possibilidade da criação de um *PROgnostic METAR* (PROMETAR), uma mensagem contendo dados sintéticos a partir dos resultados para os aeródromos desprovidos de EMS no estado. Com os resultados obtidos dos dados sintéticos e seus respectivos valores originais provenientes dos bancos de dados (fornecidos pelas EMS), se fez a correlação entre alguns desses elementos reais e sintéticos na tentativa de melhor buscar os resultados que representem o tempo de maneira próxima à real. Tendo em mãos os dados sintéticos criados a partir do SOM, para o cenário que se espera encontrar num dado local desprovido de EMS, pretende-se aumentar o nível de segurança de voo para o avião que se dirige a um determinado aeródromo que não dispõem de qualquer informação sobre o tempo ali presente.

Palavras chaves: mapas auto-organizáveis. Meteorologia aeronáutica. Predição estatística.

ABSTRACT

QUINTILIANO, D. C. **Prediction of natural variables that influence the landing and take-off of aircrafts using the technique of "self-organizing maps"**. 2017. 108f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

Despite the broad development of aeronautical meteorology and the significant expansion of the air sector since the 1960s, there are still several Brazilian aerodromes in operation that do not have stations for the collection and transmission of information regarding local meteorological conditions. In this context, this work proposes to carry out a multivariate analysis of meteorological data through the Self-Organizing Maps (SOM) from a database obtained by surface meteorological stations (EMS) spread across the state of São Paulo, enabling the creation of a synthetic weather scenario close to the reality of the place. Thereby, the prediction of meteorological variables such as: precipitation, wind direction and speed, and atmospheric pressure; important for takeoff and landing operations, was proposed. From these data, the possibility of creating a PROgnostic METAR (PROMETAR), a message containing synthetic data from the results for aerodromes without EMS in the state. With the results obtained from the synthetic data and their respective original values from the databases (provided by the EMS), a correlation was made between some of these real and synthetic elements in an attempt to better seek the results that represent the weather in a manner that is close to the real way. Having in hand the synthetic data created from the SOM, for the scenario that is expected to be found in a given location without EMS, it is intended to increase the level of flight safety for the aviator heading to a certain aerodrome that does not have any information about the ongoing weather there.

Keywords: self-organizing maps. Aeronautical meteorology. Statistical prediction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Organograma simplificado da estrutura organizacional do DECEA.	23
Figura 2 - Acidentes relacionados às condições de tempo entre 2003 e 2007.....	28
Figura 3 - Total de Ocorrências por Ano - Ocorrências Aeronáuticas nos últimos 10 anos.....	29
Figura 4 - Total de Ocorrências por categoria de aeronave nos últimos 10 anos.....	31
Figura 5 - Acidentes por fatores contribuintes em 10 anos.....	32
Figura 6 - Ocorrências aeronáuticas por localidade nos últimos 10 anos e número de Aeronaves registradas da Aviação Geral e sua distribuição por estados em 2013 ..	33
Figura 7 - Percentual de eventos de acidentes e incidentes por fase de voo, registrados entre 1959 e 1996, em voos de até 1h30 de duração.	37
Figura 8 - Acidentes aéreos X número da frota aérea.	38
Figura 9 - Acidentes Aéreos da Aviação Geral entre 2011 e 2013	39
Figura 10 - Crescimento da frota da Aviação Geral nos últimos 10 anos	41
Figura 11 - Categoria de utilização das aeronaves da região sudeste.	41
Figura 12 - Dados sobre a operação do Aeroporto de Araraquara-SP SBAQ	42
Figura 13 - Rede de EMS espalhadas pelo estado de São Paulo	48
Figura 14 - Modelo esquemático do neurônio biológico	53
Figura 15 - Modelo esquemático do neurônio artificial	53
Figura 16 - Localização das 31 estações meteorológicas do INMET na área de estudo no estado de São Paulo.....	64
Figura 17 - Espacialização dos dados no toroide	68
Figura 18 - Matriz-U e Matriz-U-WH-INMET	72
Figura 19 - Resultados do r^2 para PRP, DV e VV	74

Figura 20 - Cálculo do r^2 para dados de precipitação	75
Figura 21 - Cálculo do r^2 para dados de velocidade do vento.....	76
Figura 22 - Cálculo do r^2 para dados de direção do vento	77
Figura 23 - Setorização de quadrantes para análise do vento.....	78
Figura 24 - Matrix-U e Matrix-UWH INMET-2	82
Figura 25 - Cálculo do r^2 para dados de pressão atmosférica	83
Figura 26 - Resultados do r^2 para QNH	83
Figura 27 - Matriz-U e Matriz-UWH-METAR.....	84
Figura 28 - Resultados do r^2 para DV, VV e QNH	87
Figura 29 - Gráficos de correlação em 2D e 3D para a variável DV e outras components	89
Figura 30 - Tabela e gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas	92
Figura 31 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas	93
Figura 32 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas	94
Figura 33 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas	95
Figura 34 - Gráficos de correlação em 2D e 3D para a variável QNH e outras componentes	98
Figura 35 - Tabela de comparação para as 00:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa.....	100

Figura 36 - Tabela de comparação para as 06:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa..... 101

Figura 37 - Tabela de comparação para as 12:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa..... 102

Figura 38 - Tabela de comparação para as 18:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esses valores dada em hPa..... 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes relacionados com a condição meteorológica, por categoria de operação. Aqui o maior enfoque vale para a Aviação Geral (FAR Parte 91).....	27
Tabela 2 - Eventos por categoria de condição meteorológica para categoria de operação de Aviação Geral (FAR Parte 91).	28
Tabela 3 - Taxonomia - categoria de aeronave	30
Tabela 4 - Aeroportos administrados pela INFRAERO.....	43
Tabela 5 - Aeroportos administrados pelo DAESP	44
Tabela 6 - Aeroportos de administração pública municipal.....	45
Tabela 7 - Aeroportos de administração pública federal.....	46
Tabela 8 - Aeroporto administrado pela EMBRAER	46
Tabela 9 - Classificações corretas realizadas pelo PSOM de junho a dezembro de 1997.....	58
Tabela 10 - Identificação das EMOSCs instaladas no estado de São Paulo pelo INMET	61
Tabela 11 - Tabela de identificação dos dados observados por EMOSA do INMET	62
Tabela 12 - Identificação das EMOSAs instaladas no estado de São Paulo pelo INMET	63
Tabela 13 - Identificação das 31 Estações Meteorológicas do INMET	64
Tabela 14 - Análise temporal binária	66
Tabela 15 - Estágio de treinamento	71
Tabela 16 - Resultados das análises	73
Tabela 17 - Análise da direção dos ventos por setorização de quadrantes.....	79
Tabela 18 - Resultados das análises	84

Tabela 19 - Resultados do cálculo r^2 para as variáveis DV, VV e QHN..... 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAG	Associação Brasileira de Aviação Geral
AD	Aeródromo
ADE	Administração Direta Estadual
AFIS	Aerodrome Flight Information Service
AFTN	Rede de Telecomunicações Fixas Aeronáuticas
AIF	Administração Indireta Estadual
AIS	Aeronautical Information Service (Serviço de Informações Aeronáuticas)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APPA	Associação de Pilotos e Proprietários de Aeronaves do Brasil
ASIAS	Aviation Safety Information Analysis and Sharing
BMU	Best Matching Units
CAMAN	Commition for the Application of Meteorology to Air Navigation
CAeM	Commission for Aeronautical Meteorology
CAT	Clear air Turbulence (Turbulência de Céu Claro)
CGG	Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CMV	Centros Meteorológicos de Vigilância
COMAER	Comando da Aeronáutica
CTIA	Aeroporto Internacional da Cidade do Cabo na África do Sul
DAESP	Departamento Aeroviário do estado de São Paulo
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DIPAA	Divisão de Investigação de Acidentes Aeronáuticos
DOV	Despachante Operacional de Voo
DV	Direção do Vento
EMA	Estação Meteorológica de Altitude
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
EMOSA	Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática
EMOSC	Estações Meteorológicas de Observação de Superfície Convencional
EMS	Estações Meteorológicas de Superfície
EMS-A	Estação Meteorológica de Superfície Automática
ERM	Estações de Radar Meteorológico
ESS	Estações de Sondagem Superior
FAA	Federal Aviation Administration

FAR	False Alarm Rate
IA	Inteligência Artificial
IAG	Instituto Astronômico e Geofísico da USP
ICAeM	International Commission for Aeronautical Meteorology
ICAN	International Commission for Air Navigation
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMO	Instituto Nacional de Meteorologia
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LVQ	Learning Vector Quantization
MCA	Manual de Cursos da ANAC
NAS	National Academy of Sciences
NASDAC	National Aviation Safety Data Analysis Center
NTSB	National Transport Safety Board
NV	Node Vectors
OMN	Organização Meteorológica Mundial
PA	Pressão Atmosférica
PRI	Privada-Instrução
PIN	Pública Instrução
POD	Probability Of Detection
PROMETAR	Prognostic METAR
PSOM	Mapas Auto-Organizáveis Não-Paramétricos de Kohonen
QNH	Pressão Atmosférica Local
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RBHA	Regulação Brasileira de Habilitação Aeronáutica-141
REDEMET	Rede de Centros Meteorológicos
REM	Rede de Estações Meteorológicas
RN	Rede Neural
RNAs	Redes Neurais Artificiais
ROTAER	Manual Auxiliar de Rotas Aéreas
SAE	Serviço Aéreo Especializado Público

SDOP	Subdepartamento de Operações
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIPAER	Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
S05	Privada Serviço Aéreo Especializado Público Aeroagrícola
SOM	Self Organizing Maps
TPP	Transporte Aéreo Público Regular
TPR	Transporte Aéreo Público Regular
TPX	Transporte Público Não Regular
VFR	Condições Visuais de Voo
VV	Velocidade do Vento
WMO	World Meteorology Organization

SUMÁRIO

1	ASPECTOS INTRODUTÓRIOS.....	19
1.2	BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA METEOROLOGIA AERONÁUTICA NO BRASIL	21
1.3	REDE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E O CÓDIGO METAR... ..	24
1.4	A METEOROLOGIA E A SEGURANÇA DE VOO	26
1.5	EVENTOS OCASIONADOS POR FATORES METEOROLÓGICOS	27
1.6	FENÔMENOS METEOROLÓGICOS SIGNIFICATIVOS QUE MAIS CAUSAM OCORRÊNCIAS (ACIDENTES/ INCIDENTES) AERONÁUTICOS NO MUNDO.....	34
1.7	O PLANEJAMENTO DA ATIVIDADE AÉREA.....	35
1.8	FORMAÇÃO BÁSICA METEOROLÓGICA PARA PILOTOS AVIADORES NO BRASIL	39
1.9	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	40
1.9.1	JUSTIFICATIVA PARA A RELEVÂNCIA DO ESTUDO	49
2	OBJETIVOS	51
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	51
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	51
3	SOM E CONCEITOS DE REDES NEURAIS	51
3.1	INTRODUÇÃO AS REDES NEURAIS	51
3.2	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	52
3.3	SOM – MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS.....	54
3.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E APLICAÇÕES DO SOM	56
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1	DADOS INMET.....	59
4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS	65
4.3	PROCESSAMENTO E PREDIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
5.1	ANÁLISE INMET	71
5.2	ANÁLISE METAR.....	84
5.2.1	ANÁLISE DA DIREÇÃO DO VENTO	90
5.2.2	ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO.....	96
5.2.3	ANÁLISE DO QNH.....	97
6	CONCLUSÕES	105
	REFERÊNCIAS	108

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA METEOROLOGIA AERONÁUTICA MUNDIAL

A Meteorologia é um campo de estudos das ciências, sendo desenvolvida com mais afinco na Europa e Estados Unidos, onde primeiramente deu mostras significativas do quanto pode contribuir para a compreensão dos processos sociais subjacentes ao desenvolvimento das atividades científicas nesses países (BARBOZA, 2006).

É interessante notar que a previsão de tempo e informações meteorológicas rotineiras para o público geral das populações europeias e norte americanas, especialmente dos Estados Unidos e Canadá, é bastante difundida, com informações de tempo rotineiras em canais televisivos e de rádio, que divulgam as condições de tempo 24 horas por dia (há canais de divulgação sobre a Meteorologia que funcionam 24 horas). Estes países sofrem com variações meteorológicas significativas e algumas adversidades severas, como furacões, tornados e grandes nevascas que muitas vezes limitam a capacidade de trânsito e atividades em geral de toda a população. Apesar do fato da população brasileira e latino-americanas não sofrer com fenômenos meteorológicos tão severos quanto os supracitados, há diversos fenômenos de outra ordem que assolam o país, como fortes trovoadas, chuvas torrenciais, alagamentos e geadas, por exemplo. De uma maneira geral, aparentemente, há no Brasil um aumento da preocupação da população com tais fenômenos e seus efeitos imediatos e colaterais sobre uma determinada localidade.

A Meteorologia ainda está em constante desenvolvimento como ciência, no entanto, mais recente ainda é seu campo específico voltado aos estudos dos fenômenos direcionados para fins aeronáuticos. Esta ramificação da Meteorologia, conhecida especificamente como “meteorologia aeronáutica”, é um ramo da Meteorologia aplicada, específica para estudos destinados à atividade aérea (ICA 105-2, 2011).

A Meteorologia aeronáutica apresentou notável evolução de técnicas e abordagens após a Segunda Guerra Mundial como resultado do desenvolvimento de novas tecnologias impulsionadas principalmente pelos laboratórios militares durante a Guerra Fria, em específico o desenvolvimento e lançamento de satélites, que posteriormente também seriam utilizados em observações ambientais e meteorológicas. A multiplicação das plataformas de coleta e difusão de dados temporais (tempo atmosférico) também evoluiu com o avanço tecnológico, bem como a necessidade operacional de novas plataformas para a divulgação desses dados, devido ao aumento da atividade aérea e dos voos comerciais em todo o mundo. Este avanço tecnológico contribuiu para que essa se tornasse uma atividade essencial e indispensável em todo o mundo.

De acordo com a *World Meteorology Organization* (WMO), a primeira reunião mundial sobre assuntos relacionados à Meteorologia aeronáutica aconteceu em Paris no ano de 1919 e foi denominada de *Comission for the Application of Meteorology to Air Navigation* (CAMAN).

Ainda segundo informações da WMO, o rápido desenvolvimento da aviação no cenário internacional para o uso civil fez com que houvesse a necessidade de se criar métodos e procedimentos para coleta, análise e divulgação de dados meteorológicos destinados a esta finalidade, pois durante o ano de 1920 existam serviços aéreos regulares entre cidades europeias como Londres, Paris, Bruxelas e Amsterdã. Como resultado deste rápido avanço, em meados das décadas de 1920 e 1930, o desenvolvimento de centros nacionais de Meteorologia e a criação de redes integradas de comunicação para este propósito trabalhavam com a finalidade de promover a segurança da navegação aérea, criando, inclusive, novas e melhores rotas internacionais para os voos já existentes (WMO, 2015).

De início, o recém-criado CAMAN foi coordenado pelo *International Commission for Air Navigation* (ICAN), que, apesar do nome, não era parte de uma organização intergovernamental. Porém, logo após a Conferência de Varsóvia realizada em 1935, o CAMAN foi substituído pelo *International Commission for Aeronautical Meteorology* (ICAeM) que tinha como membros países signatários interessados no desenvolvimento da atividade aérea em âmbito mundial, tornando-se em meados da década de 1930 o primeiro órgão intergovernamental específico para debater assuntos relacionados à Meteorologia aeronáutica.

Sua atuação internacional para tal finalidade foi tão importante que logo após a Segunda Guerra Mundial sua experiência resultou na transformação do *International Meteorological Organization* (IMO) em WMO, que teve seu primeiro congresso internacional realizado em 1951 na cidade de Genebra na Suíça e estabeleceu os alicerces para o que hoje se conhece por *Commission for Aeronautical Meteorology* (CAeM). Neste mesmo período, a WMO formalizou junto à *Internacional Civil Aviation Organization* (ICAO) acordos que entraram em vigor a partir de 1º de janeiro de 1954.

De 1986 até os dias de hoje, a WMO e a CAeM têm estabelecido acordos multilaterais e vêm realizando encontros regulares a cada quatro anos em conjunto com a ICAO, a fim de promover o desenvolvimento destas instituições e apresentar estudos técnicos (WMO, 2015).

1.2 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA METEOROLOGIA AERONÁUTICA NO BRASIL

No Brasil, o início de estudos de cunho meteorológico aconteceu a partir da tragédia do navio de passageiros Rio-Ápá, que transportava cerca de 160 pessoas durante seu trajeto entre o Rio de Janeiro e Montevidéu, no dia 11 de julho de 1887. A embarcação foi surpreendida por uma forte tempestade no litoral do Rio Grande do Sul e não resistiu. Este evento causou uma grande comoção nacional, pois além de ceifar mais de uma centena de vidas, nesse período na Europa e Estados Unidos, alguns cientistas diziam já ser possível prever algumas tempestades através dos estudos de dados nas localidades (como linhas isóbaras) e, conseqüentemente, prevenir que tragédias desse porte ocorressem, com transmissões de previsão via telégrafo (FLEMING, 1990; NEBEKER, 1995; BARBOZA, 2005).

O Brasil já possuía nessa época instituições para observações meteorológicas, como a Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (CGG), a Repartição dos Telégrafos, a Repartição Hidrográfica e o Imperial Observatório do Rio de Janeiro – hoje Observatório Nacional. Porém, apenas a Repartição Hidrográfica e o Imperial Observatório do Rio de Janeiro haviam iniciados estudos a fim de estabelecer uma rede de estações meteorológicas e a criação de um serviço de previsão do tempo no país (Id., 2006).

Ainda segundo Barboza (op. cit.), o Sr. Henrique Morize (1860-1930), na época estudante de Engenharia, foi um dos pioneiros do estudo da Meteorologia brasileira e por isso considerado um de seus patronos. Funcionário do Observatório do Rio de Janeiro teve a iniciativa de realizar estudos sobre os registros da pressão atmosférica e direção dos ventos que contribuíam para o desenvolvimento de tempestades e suas previsões que, a exemplo do acidente 1887, afundaram o navio Rio-Apá.

Especificamente no Brasil, o desenvolvimento da Meteorologia Aeronáutica ocorreu mais tardiamente, já em meados do século XX, e está diretamente ligado com a história dos extintos Ministério da Aeronáutica e Departamento de Aviação Civil. Em 1960 ocorreu a expansão da atividade de proteção ao voo no país em inúmeras e diferentes especializações e serviços, como Meteorologia Aeronáutica, Comunicações Aeronáuticas (Telecomunicações e Informações Aeronáuticas), Controle de Tráfego Aéreo, Auxílios à Navegação Aérea e Busca e Salvamento (RIBEIRO, 2002).

Ainda segundo Ribeiro (op. cit.), o Curso de Proteção ao Voo criado pela portaria de 04 de janeiro de 1962 do então Ministério da Aeronáutica passou a formar oficiais especialistas da Força Aérea Brasileira em Comunicações, Controle de Tráfego Aéreo e Meteorologia. Com isto, a Meteorologia Aeronáutica e os conhecimentos e materiais divulgados para os estudos dos futuros aviadores (militares e civis) tornaram-se mais adequados.

Hoje, as atividades relacionadas à Meteorologia Aeronáutica no Brasil são de responsabilidade do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e executadas pelo Subdepartamento de Operações (SDOP) (ICA 105-2, 2011), ambos subordinados ao Comando da Aeronáutica (COMAER). Estes órgãos, por sua vez, são responsáveis pela coleta, produção e divulgação das informações meteorológicas necessárias aos aero navegantes através de uma Rede de Centros Meteorológicos (REDEMET) (ICA 105-1, 2012). O organograma da Figura 1 mostra o fluxo de desenvolvimento e as responsabilidades de cada órgão pelas informações meteorológicas no COMAER.

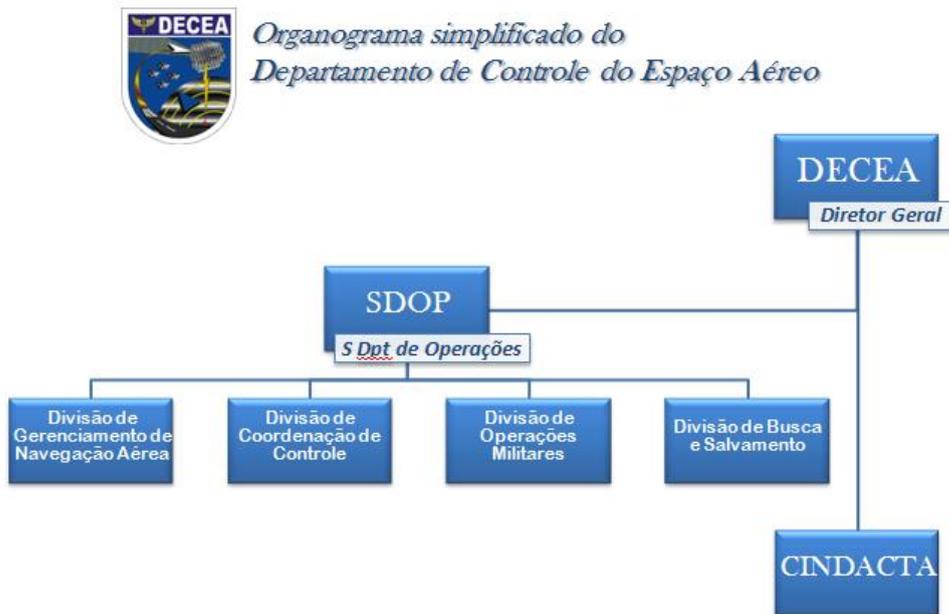


Figura 1 - Organograma simplificado da estrutura organizacional do DECEA.

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Estas informações meteorológicas são divulgadas através de canais oficiais do COMAER, como Rede de Telecomunicações Fixas Aeronáuticas (AFTN), salas de divulgação de informação aeronáutica, conhecidas como Sala AIS e pela sua página de Meteorologia Aeronáutica REDEMET na internet¹ que, por sua vez, é o canal mais utilizado.

O Serviço de Meteorologia Aeronáutica trabalha com um banco de dados denominado OPMET (ICA 105-2, 2011), que atende às necessidades imediatas da navegação aérea, fornecendo boletins meteorológicos rotineiros, tais como METAR, TAF, SPECI e SIGMET nacionais e internacionais.

¹ Disponível no endereço <<http://www.redemet.aer.mil.br>>.

1.3 REDE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E O CÓDIGO METAR

A Rede de Estações Meteorológicas (REM) é uma rede formada por elementos de coleta e difusão de dados direcionados aos respectivos órgãos operacionais e meteorológicos espalhados pelo Brasil e o mundo. Esta rede e seu sistema de transmissão de dados têm como principal objetivo o fornecimento de elementos confiáveis aos aero navegantes quanto às condições de tempo observadas numa dada localidade, ou das condições de tempo que poderão ser encontradas em outras localidades às quais se pretenda chegar. São, portanto, a base do serviço prestado à navegação aérea e, de acordo com Henriques e Matschinske (2005), estas informações coletadas, processadas e difundidas pelos órgãos operacionais e climatológicos são de grande utilidade para monitoramento contínuo da atmosfera.

Segundo o DECEA, em sua página oficial na internet, as estações meteorológicas que compõem e integram a REM são classificadas conforme suas características e basicamente subdividem-se em três tipos: Estações Meteorológicas de Superfície (EMS), Estações Meteorológicas de Altitude (EMA) e Estações de Radar Meteorológico (ERM), sendo:

a) Estações Meteorológicas de Superfície (EMS): são estações instaladas nos aeródromos (AD) que coletam os dados meteorológicos do campo e, conseqüentemente, da pista de uma dada localidade. São equipadas com sensores que obtêm dados de maneira automática ou convencional sobre direção e velocidade do vento, altura da base das nuvens, alcance visual da pista, pressão atmosférica, temperatura do ar e do ponto de orvalho. Podem ser de Classe I, Classe II e Classe III. Estes dados coletados são codificados nas mensagens METAR, SPECI e SYNOP, e transmitidos aos bancos de dados para uso dos serviços de meteorologia, navegação aéreas e demais interessados;

b) Estações Meteorológicas de Altitude (EMA): este tipo de estação coleta informações a fim de traçar um perfil vertical da atmosfera com dados de temperatura, pressão, umidade, direção e velocidade do vento, especialmente para aeronaves que voam acima do FL100 (10.000 pés). As sondagens para obtenção destes dados são feitas por balões meteorológicos de hidrogênio dotados de uma sonda com sensores e sistema GPS;

c) Estações de Radar Meteorológico (ERM): os radares complementam a

vigilância meteorológica em regiões de grande volume de tráfego aéreo e onde ocorrem condições meteorológicas adversas a estas atividades. Sua principal importância está na detecção, análise e exposição dos fenômenos meteorológicos georreferenciados, facilitando o apoio às operações aéreas.

As estações mencionadas são operadas pelos Centros Meteorológicos de Vigilância (CMV) e sua maior vantagem está em representar as condições meteorológicas em tempo real, úteis para as previsões de curto prazo de fenômenos significativos, como grandes tempestades.

O METAR é uma mensagem (denominada de “reporte” em termos aeronáuticos) das condições meteorológicas de tempo presente e rotineira para a aviação, transmitidas através de um sistema internacional de códigos estabelecidos pela ICAO. Esses reportes são confeccionados e transmitidos de hora em hora e, a cada nova mensagem (reporte), a anterior perde sua validade (FCA 105-3, 2012). Estas mensagens são destinadas principalmente aos pilotos e têm como objetivo informar as condições de tempo presente e que possam vir a influenciar no pouso e decolagem.

O código METAR é elaborado após a análise dos dados coletados por um observador em uma das EMS presentes nos aeródromos brasileiros, ou confeccionado automaticamente por meio de uma Estação Meteorológica de Superfície Automática (EMS-A) (ICA-105-2, 2011). Assim, é possível obter uma informação elementar sobre quais são as condições de tempo presente e, conseqüentemente, a operabilidade naquele momento no local.

No entanto, devido à grande extensão do país, somado à necessidade de manutenção constante das estações e, ainda, à necessidade de haver um observador responsável por coletar as informações das EMS (o que torna onerosa constante instalação das estações), não são todas as localidades onde ocorre a atividade aérea que dispõem destes recursos e, conseqüentemente, das informações sobre as condições de tempo presente nos aeródromos.

1.4 A METEOROLOGIA E A SEGURANÇA DE VOO

Uma das grandes premissas para a segurança de voo consiste basicamente em o avião planejar e prosseguir seu voo desde a partida até o seu destino, cumprindo todas as fases previstas, de modo que não ocorram fenômenos que coloquem em risco a operação aérea. Portanto, a falta de um bom planejamento e, conseqüentemente, de um voo bem-sucedido poderá acarretar algum tipo de acidente ou incidente aeronáutico.

Segundo Moscati (2014, p. 31), “um dos mais importantes instrumentos para aumentar a segurança do transporte aéreo é a análise e entendimento de seus acidentes e incidentes”. No Brasil, o órgão responsável pela investigação destes eventos (acidentes ou incidentes) é o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), nos Estados Unidos esta responsabilidade cabe ao *National Transport Safety Board* (NTSB), uma agência federal independente subordinada ao Congresso.

De acordo com o CENIPA (2015?), podemos distinguir um acidente de um incidente aeronáutico da seguinte maneira:

ACIDENTE Aeronáutico²: Toda ocorrência relacionada com a operação de uma aeronave, entre o período em que uma pessoa nela embarca com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado e, durante o qual, pelo menos uma das situações ocorra: qualquer pessoa sofra lesão grave, ou morra; a aeronave sofra dano ou falha estrutural comprometendo seu desempenho; ou quando esta for considerada desaparecida.

INCIDENTE Aeronáutico: Toda ocorrência, inclusive de tráfego aéreo, associada a operação de uma aeronave, havendo intenção de voo, que não chegue a se caracterizar como um acidente, mas que afete ou possa afetar a segurança da operação.

² Mais detalhes sobre as classificações podem ser encontrados na Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica (NCSA 3-13).

1.5 EVENTOS OCACIONADOS POR FATORES METEOROLÓGICOS

Eventos (acidentes, ou incidentes) ligados a fatores meteorológicos, ocorridos devido ao desconhecimento ou mau planejamento de voo, mostram que há uma necessidade de divulgação deste tipo de dado devido ao constante crescimento da atividade aérea. Os dados da Tabela 1 e Tabela 2 ilustram esses números.

Nos Estados Unidos, a *Federal Aviation Administration* (FAA), órgão que regula a aviação civil do país, criou o *National Aviation Safety Data Analysis Center* (NASDAC) visando uma melhoria contínua da segurança na aviação, divulgando dados de acidentes coletados pela FAA. Hoje, este papel está a cargo da *Aviation Safety Information Analysis and Sharing* (ASIAS).

Segundo Moscati (2005), estudos realizados pela NASDAC com dados da NTSB no período de 1994 até 2003, por exemplo, apontaram que:

- 21,3% dos acidentes têm como causa ou contribuição decisiva as condições meteorológicas, como vento, teto (a altura da camada de nuvens), visibilidade, turbulência, gelo, altitude barométrica, precipitação, tempestade e *windshear* (também conhecida como cortante de vento).
- 41,2% de todos os acidentes relacionados às condições meteorológicas não mostram registro de conhecimento prévio do piloto das condições meteorológicas presentes.

Tabela 1 - Acidentes relacionados com a condição meteorológica, por categoria de operação. Aqui o maior enfoque vale para a Aviação Geral (FAR Parte 91).

CATEGORIA DE OPERAÇÃO	TOTAL DE EVENTOS
Aviação Geral (FAR Parte 91)	3.617
Operações Complementares e por Demanda (FAR Parte 135)	257
Operação de Aviação Agrícola (FAR Parte 137)	141
Operações Domésticas, de Bandeira e Suplementares (FAR Parte 121)	116
Uso Público	19
Operação de Aeronaves de Asas Rotativas com Cargas Externas (FAR Parte 133)	7
Operações de Empresas Estrangeiras (FAR Parte 129)	7
Outros (não nos EUA, Comercial e Veículos Ultraleve (FAR Parte 103))	3
Total	4.167

Fonte: Moscati (2005).

Tabela 2 - Eventos por categoria de condição meteorológica para categoria de operação de Aviação Geral (FAR Parte 91).

CATEGORIA DE CONDIÇÃO METEOROLÓGICA	TOTAL DE EVENTOS
Vento	2.514
Visibilidade/ Altura da camada de nuvens	977
Turbulência	371
Gelo	350
Altitude barométrica	347
Precipitação	208
Tempestade	94
Windshear	59
Outros (não nos EUA, Comercial e Veículos Ultraleve (FAR Parte 103))	7
Total	4.927

Fonte: Moscati (op.cit.).

Segundo o relatório da ASIAS (2010), com relação aos acidentes envolvendo condições meteorológicas, um único acidente pode ter várias causas e/ou fatores contribuintes, resultados de múltiplos elementos que não são necessariamente excludentes e podem ocorrer de forma concomitante, como vento, visibilidade, entre outros. Neste estudo, de um total de 1.740 acidentes, houve 2.223 citações de referências relacionadas ao tempo.

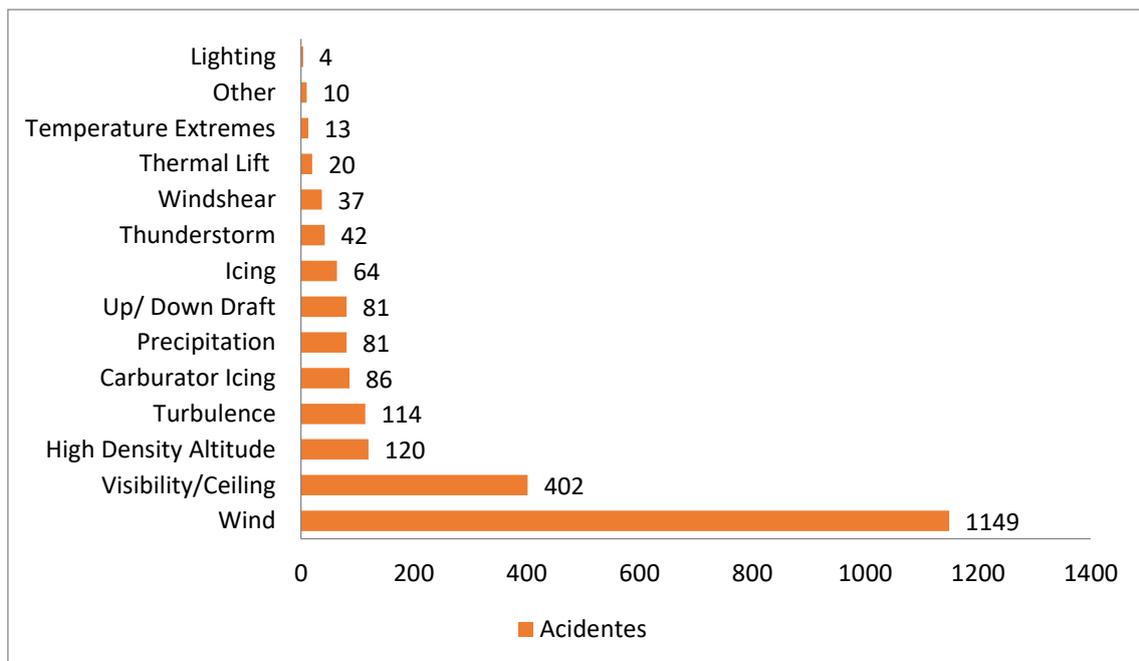


Figura 2 - Acidentes relacionados às condições de tempo entre 2003 e 2007.

Fonte: ASIAS (2010).

A partir da observação dos dados da Figura 2, notamos que a maior causa de acidentes relacionados às condições meteorológicas nos Estados Unidos entre 2003 e 2010 na Aviação Geral são devidos ao: vento, teto, visibilidade e altitude barométrica, somando um total de 1.671 ocorrências. Estas são variáveis disponíveis nas observações meteorológicas de superfície e transmitidas pelo METAR aos aeronautas.

No Brasil, o Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira (FCA 58-1) é o documento que complementa as orientações do CENIPA para a aviação civil no âmbito das competências de prevenção de acidentes aeronáuticos do Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER). O Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira-2015 lança o histórico de acidentes e incidentes graves ocorridos no decênio de 2005 até 2014 quanto às suas ocorrências, tipos de aeronaves, lesões e fatores contribuintes. A Figura 3 remete aos dados desses dez anos.

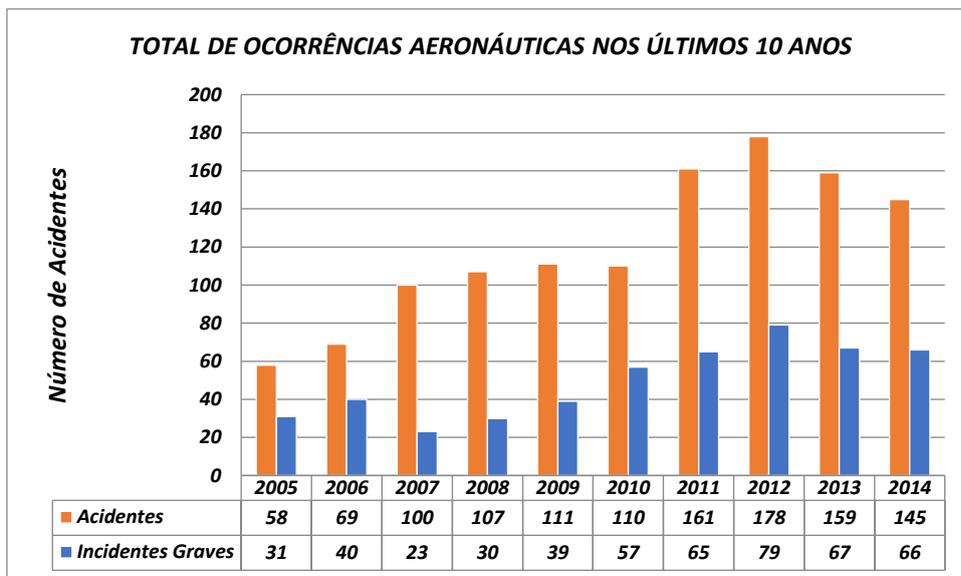


Figura 3 - Total de Ocorrências por Ano - Ocorrências Aeronáuticas nos últimos 10 anos
Fonte: CENIPA (2014)

O relatório apresenta dados de todas as categorias de operação de aeronaves, conforme descrito na Tabela 3. Nota-se que houve um número crescente e considerável de acidentes e incidentes graves³ no último decênio, independentemente do tipo de operação. De 2005 para 2012, o número de acidentes mais que triplicou, crescendo de 58 para 178, um aumento de cerca de 306%. Já o número de incidentes graves, que apresentou queda em 2007, também aumentou cerca de 343%, mais que o triplo de ocorrências registradas em 2012.

Tabela 3 - Taxonomia - categoria de aeronave

SIGLA	FORMA DE ADMINISTRAÇÃO
AIF	Administração Indireta Estadual
PIN	Pública Instrução
TPR	Transporte Aéreo Público Regular
ADE	Administração Direta Estadual
SAE	Serviço Aéreo Especializado Público
S05	Privada Serviço Aéreo Especializado Público Aeroagrícola
TPX	Transporte Público Não Regular
PRI	Privada-Instrução
TPP	Serviço Aéreo Privado
Outros	Demais serviços

Fonte: CENIPA (2014).

Observando os quesitos separadamente, nota-se que no subitem *Categorias de Aeronaves*, o percentual de acidentes da categoria Serviço Aéreo Privado (TPP) representa a maior parte dos acidentes no período entre 2005 e 2014 na Aviação Geral⁴ com um percentual de 44,10%, sendo também o maior responsável pelo número de incidentes graves, com 29,80% de ocorrência (Figura 4), constituindo mais de 82% das ocorrências envolvendo aeronaves de asa fixa.

³ **Incidentes graves** - São incidentes aeronáuticos envolvendo circunstâncias que indiquem que houve elevado potencial de risco de acidente relacionado à operação de uma aeronave tripulada. Assim como as definições de Acidente e Incidente Aeronáutico, maiores detalhes podem ser encontrados no NSCA 3-13 Protocolo de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Civil, expedido pela portaria Nº 166/GC3, de 12 de Fevereiro de 2014, aprovada pelo Comando da Aeronáutica (CENIPA, 2014).

⁴ Aviação Geral – Segundo Wells (2003 apud DE PAULA, 2008, p. 13) o termo aviação geral é comumente descrito por exclusão, como “toda a aviação civil exceto as efetuadas pelas linhas aéreas comerciais”. Portanto, seria aquela que compreende todos os serviços aéreos como voos de negócios, turismo, serviços de procura e resgate (particulares), treinamento, recreação, desportiva, aerolevanteamento, serviço aéreo ambulatorial e uma variedade de outros usos.

Pode-se supor que a elevação do número de acidentes está ligada a uma maior demanda por voos em decorrência do maior volume de tráfego, também consequência do maior número de licenças emitidas.

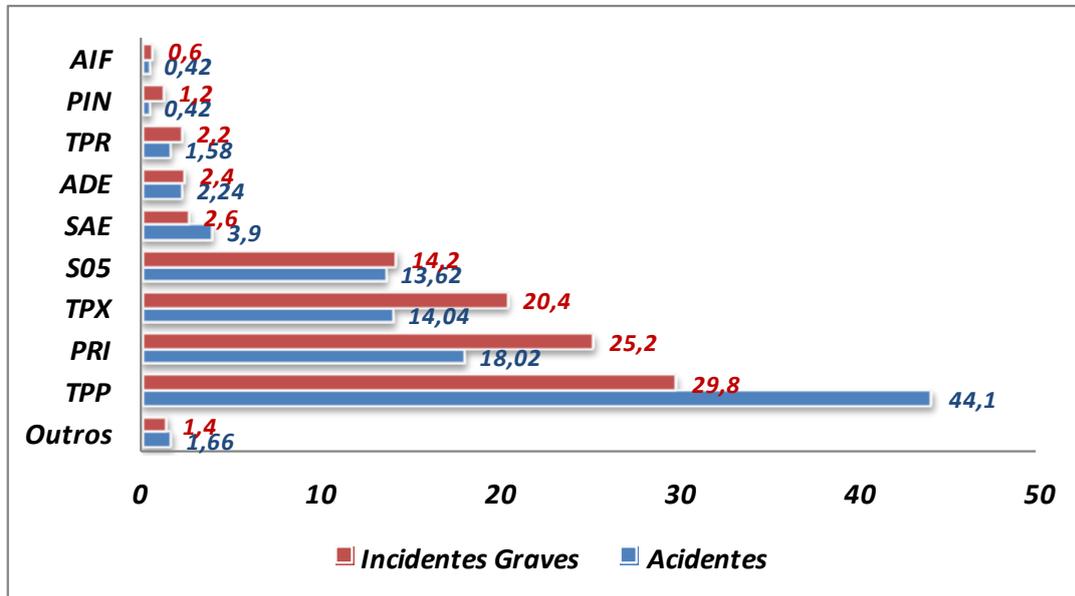


Figura 4 - Total de Ocorrências por categoria de aeronave nos últimos 10 anos.
Fonte: CENIPA (2014).

É possível observar que aproximadamente três quartos das ocorrências envolvidas na aviação civil estão associadas às categorias TPP (73,9% dos eventos), sendo 44,1% associados a acidentes e 29,8% a incidentes graves. Na categoria PRI, o total de eventos chega a 55%, sendo 29,8% de acidentes e 25,2% de incidentes graves.

Dos tipos de equipamentos empregados (Experimental, Ultraleve, Anfíbio, Planador, Helicóptero e Avião), a maioria absoluta dos eventos está relacionada ao uso do avião, com 81,43% e, na sequência, aos helicópteros, com 17,41%. (CENIPA, 2015).

O supracitado Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira-2015 também traz à reflexão que as “condições meteorológicas adversas” foram responsáveis por 3,37% dos acidentes causados no decênio apresentado. No entanto, pode-se também atribuir os fatores "Influência do Meio Ambiente", "Planejamento de Voo" e "Planejamento" a alguma ocorrência de caráter meteorológico, como por exemplo a falha do planejamento em analisar as condições meteorológicas da rota antes de iniciar o voo, condições do(s) aeroporto(s) de alternativa ou mesmo a interpretação incorreta dos dados disponibilizados. A falta de dados meteorológicos também se torna um problema, uma vez que estes fatores não são mutuamente excludentes, ou seja, podem ocorrer concomitantemente.

Aproximadamente 90% dos acidentes aeronáuticos estão associados a 23 fatores contribuintes não excludentes, conforme descrição na Figura 5.

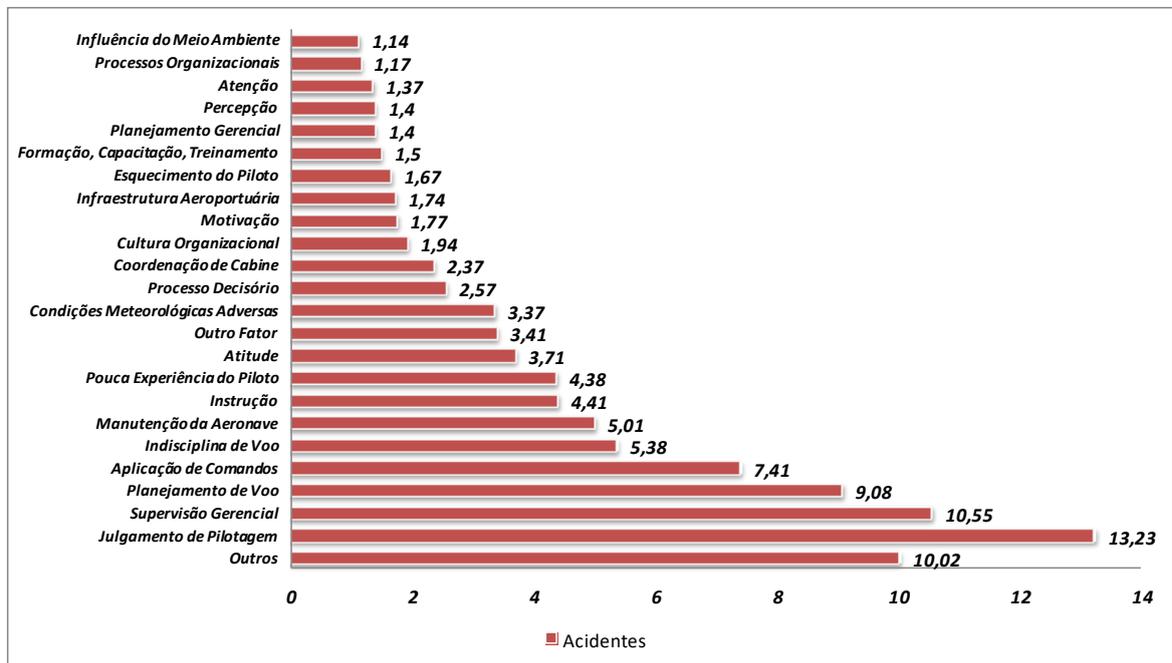


Figura 5 - Acidentes por fatores contribuintes em 10 anos.
Fonte: CENIPA (2014).

Portanto, ao se analisarem os fatores como Influência do Meio Ambiente (1,14%), Condições Meteorológicas Adversas (3,37%) e Planejamento de Voo (9,08%), observa-se a somatória de 13,59% dos fatores necessários causadores de risco e acidentes à aviação, um número bastante considerável para fins aeronáuticos e de segurança.

O estado de São Paulo, escopo deste trabalho, teve o maior índice de acidentes no decênio analisado, compreendido pelo período de 2005 a 2014. Porém, isto está diretamente associado à maior quantidade de aeronaves em operação no estado e aos seus significativos números operacionais, uma vez que o estado detém a maior frota de aviação geral do país (Figura 6).



Figura 6 - Ocorrências aeronáuticas por localidade nos últimos 10 anos e número de Aeronaves registradas da Aviação Geral e sua distribuição por estados em 2013⁵

Fonte: ABAG (2014), adaptado pelo autor.

A pesquisa de Araújo e Bezerra (2007) evidencia também a diminuição dos acidentes aeronáuticos no decorrer dos anos, possivelmente ligado aos avanços no setor, como uma melhor rede de infraestrutura, melhores e mais precisos equipamentos de navegação embarcados e maior precisão dos equipamentos de navegação (utilizados pelos controles de voo em solo). O percentual absoluto de acidentes causados por fatores meteorológicos manteve-se em torno dos 23% nos anos de 1989 a 1998.

Os números mostram que por menores que sejam os acidentes ou incidentes graves (quando comparados aos grandes volumes de tráfego), ocorrem perdas de vidas, pois a probabilidade de sobrevivência é baixa, além dos efeitos psicológicos negativos causados nos familiares (pois as perdas são insubstituíveis) e os grandes e dispendiosos prejuízos financeiros.

⁵ O Brasil possui registrado um total de 14.639 aeronaves, sendo 3.979 concentradas no estado de São Paulo, ou seja, 27,18% da frota nacional.

Ainda segundo Araújo e Bezerra (2007), a Comissão Europeia da ICAO traz números interessantes sobre a segurança do transporte aéreo. Estudos apontam que o voo quando realizado dentro das normas e padrões de segurança é 300 vezes mais seguro do que viajar de motocicleta, 176 vezes mais seguro que caminhar e 15 vezes mais seguro que viajar de carro, considerando-se os padrões europeus de trânsito. Contudo, quando estes números são adaptados para número de viagens, eles se alteram, sendo uma caminhada 5 vezes mais segura que o voo e o carro 12 vezes mais seguro.

Sabe-se que fatores meteorológicos que interferem na aviação tornam-se críticos principalmente nos momentos de pouso e arremetidas de aeronaves, mas isso não significa que nas demais fases do voo estes possam ser ignorados. Durante a operação de cruzeiro (fase na qual se gasta a maior parte do tempo), fatores meteorológicos podem influenciar na economia do voo (em tempo e dinheiro) e durante a fase de decolagem, em que a operação pode até mesmo ser cancelada devido às condições atmosféricas do momento.

A aviação geral brasileira opera, em sua maioria, em condições visuais de voo (VFR), pois se trata de operações voltadas principalmente para o desporto, instrução e/ou traslados de proprietários de aeronaves particulares.

1.6 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS SIGNIFICATIVOS QUE MAIS CAUSAM OCORRÊNCIAS (ACIDENTES/ INCIDENTES) AERONÁUTICOS NO MUNDO

Araújo e Bezerra (2007) descrevem um estudo feito pela *National Academy of Sciences* revelando quais foram os fenômenos meteorológicos que mais se relacionam com acidentes/incidentes aeronáuticos para os períodos compreendidos entre março de 1964 e julho de 1982. Nesse estudo, os pesquisadores conseguiram correlacionar os seguintes eventos como sendo os mais significativos: a turbulência de céu claro (CAT), efeito orográfico, formação de nevoeiro, frentes de rajada, trovoadas e *windshear*.

Em outra pesquisa realizada de 1943 até 2007 pelo *Aviation Safety Network* em que foram identificadas as causas reais ou prováveis de cerca de 12.200 acidentes durante estes 54 anos, os autores apontam que 23% estão associados diretamente a fatores meteorológicos que estavam presentes durante os acidentes, que em vários casos o piloto necessitou ser informado antecipadamente e com maior rapidez sobre sua existência ou, ainda, que o desenvolvimento de condições meteorológicas adversas culminou no acidente. Por outro lado, em casos ligados principalmente às fases de pouso e decolagem, as decisões tomadas pelos pilotos envolvidos foram audaciosas, mostrando um enfrentamento (por motivos desconhecidos) de condições meteorológicas adversas ao voo não investigadas ou mesmo não registradas.

Não é intuito deste trabalho julgar as atitudes tomadas pela tripulação ao decidir decolar ou pousar uma aeronave em determinado local, mas sim contribuir para o aumento da segurança de voo explorando uma ferramenta que possa futuramente contribuir para as tomadas de decisões de tripulantes, a fim de que estes possam aumentar a margem de segurança de voo e também a de terceiros, diminuindo o risco de acidentes e, conseqüentemente, contribuindo positivamente para o progresso da atividade aeronáutica no país.

1.7 O PLANEJAMENTO DA ATIVIDADE AÉREA

No planejamento do voo, o piloto deve consultar as condições meteorológicas que encontrará nos aeródromos de destino e alternativa(s), principalmente se presumir que haverá degradação meteorológica para o horário de chegada previsto. O problema, no entanto, é que muitos dos aeródromos brasileiros não dispõem destas facilidades para consulta como fora apontado anteriormente, ficando a cargo do aviador assumir a parcela do risco para operar nos aeródromos que não dispõem de informações sobre o tempo.

Não são raros os casos em que aeronaves comerciais, equipadas com modernos instrumentos de navegação e radares meteorológicos, inadvertidamente encontraram situações adversas causadas por fatores meteorológicos e que resultaram em incidentes e até mesmo acidentes com grande número de vítimas. Sendo assim, o risco para as aeronaves de pequeno porte que não dispõem de radar meteorológico embarcado é ainda maior.

O planejamento do voo é fundamental para que tudo ocorra como o requerido e, portanto, esta é uma das mais importantes fases do voo. Em se tratando da aviação geral, onde não há um Despachante Operacional de Voo (DOV) apoiando a operação aérea, o piloto é o único responsável por executá-la inteiramente, conforme os critérios estabelecidos e ensinados no decorrer da sua formação técnica-profissional.

Basicamente os procedimentos são similares àqueles adotados pelas companhias que voam regularmente, porém com menor sofisticação e auxílios, mas sempre buscando o mesmo resultado: a segurança da operação aérea.

O planejamento meteorológico que precede o voo pode ser dividido em duas fases:

1 - Fase Preliminar: nesta fase o piloto (ou responsável) adquire todas as informações possíveis sobre o voo para que possa estudá-las cuidadosamente. Quando possível, recomenda-se um questionário específico para cada voo, considerando as condições meteorológicas do aeródromo de partida, da rota, do aeródromo de destino e alternativa(s). Este pré-planejamento visa eliminar o elemento surpresa, partindo-se da premissa de que, na aviação, *o imprevisto deve ser previsto*, aumentando sempre a capacidade de reação do tripulante e minimizando ao máximo o risco de acidentes ou incidentes (METPREV, 2010).

2 - Fase complementar: Fase na qual são inseridos novos dados que complementem as informações já obtidas e estudadas pelo aviador. Conforme descrito, as informações servirão de complemento às anteriormente obtidas e já planejadas, ficando descartada a possibilidade de tomadas de decisões a revelia ou improvisadas. É crítica, pois ocorre durante a execução do voo e exige atenção total e constante estado de alerta do aviador. Pode variar, por exemplo, através da

degradação ou da melhoria das condições atmosféricas e, portanto, tem uma natureza dinâmica e só termina com o pouso final da aeronave (METPREV, op.cit.)

Estudo realizado por Mattheus (1998 apud ARAÚJO; BEZERRA, 2007, p. 4) para eventos ocorridos durante um período de 37 anos, revelou que

[...] os riscos que as aeronaves estão sujeitas durante os procedimentos operacionais são maiores nas fases de aproximação inicial, aproximação final e pouso, e estes correspondem respectivamente a 11,6%, 22,9% e 21,7% do total de eventos. (MATTHEUS, 1998)

Os resultados de tal estudo são expressos na Figura 7 a seguir:

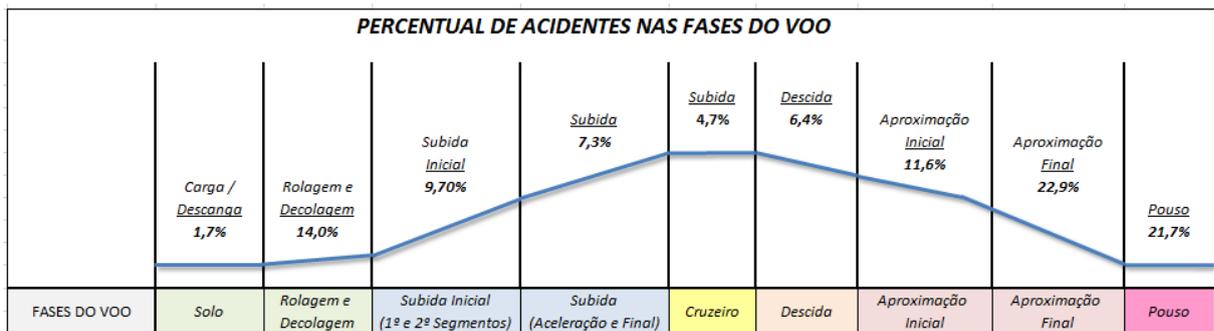


Figura 7 - Percentual de eventos de acidentes e incidentes por fase de voo, registrados entre 1959 e 1996, em voos de até 1h30 de duração.
Fonte: Araújo e Bezerra (2007).

Os dados apresentados na Figura 7 são de interesse particular pela duração de voos, que não excedem 01 hora e 30 minutos, característica de voos da Aviação Geral, de caráter local e regional.

Segundo Araújo e Bezerra (2007), por nestas etapas a aeronave encontrar-se ainda no meio atmosférico, pode-se considerar que elas estariam sujeitas a alguma condição meteorológica adversa ao voo.

Outra pesquisa realizada pelo CENIPA (2006), com dados da Divisão de Investigação de Acidentes Aeronáuticos (DIPAA) e do Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB), com dados coletados entre os anos de 1979 e 2006, mostra um decréscimo no número total de acidentes no decorrer dos anos, associado à maior tecnologia embarcada e rigidez no controle dos voos. Ainda segundo o CENIPA, com o aumento

do número de aeronaves e conseqüentemente da demanda de voos, felizmente houve um aprimoramento na cultura de segurança de voo, uma vez que este aumento foi da ordem aproximada de 48% em toda a frota nacional (Figura 8).

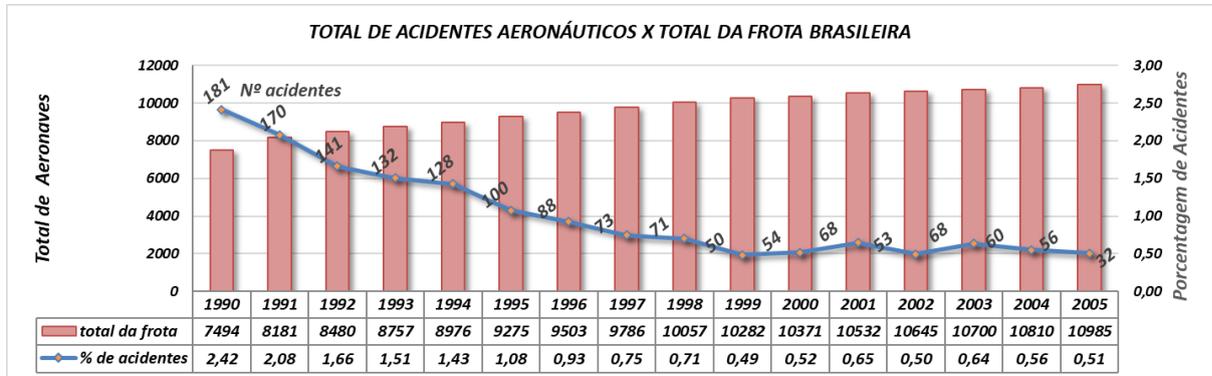


Figura 8 - Acidentes aéreos X número da frota aérea.
Fonte: DIPAA, RAB (2006 apud ARAÚJO; BEZERRA, 2006).

A Figura 8, mostra que, apesar da significativa diminuição no número de acidentes entre os anos de 1990 e 2006 no país, aproximadamente da ordem de seis vezes, o líder de ocorrências ainda é a aviação geral.

Dados mais recentes revelam ainda que, segundo o CENIPA (2014), dentre os 163 acidentes registrados no país entre os anos de 2011 e 2013, 145 deles foram da aviação geral, mostrando uma queda de 8,4% durante este período.

Assim, diante de todos os dados apresentados, a questão que se propõe é: por que a aviação geral lidera estes índices de eventos? Dentre os fatores associados que podem descrever este elevado número de eventos para o setor está a hipótese da aviação geral, além de ser a frota de maior número voando no país, ser também a menos fiscalizada e, portanto, sujeita a maiores desvios dos padrões e normas de segurança que podem resultar em acidentes. Podemos vincular também a falta de infraestrutura adequada em alguns aeródromos, como pistas esburacadas (pouso e táxi) ou em más condições, ausência de balizamentos, ausência de birutas, ausência de controle de tráfego em regiões onde se demanda rígida comunicação entre aeronaves, despadronização de procedimentos para pousos e decolagens, ausência de estações meteorológicas para reportes de tempo, dentre outros. A Figura 9 evidencia o número elevado de acidentes na aviação geral, quando comparados aos demais tipos de operação aérea.

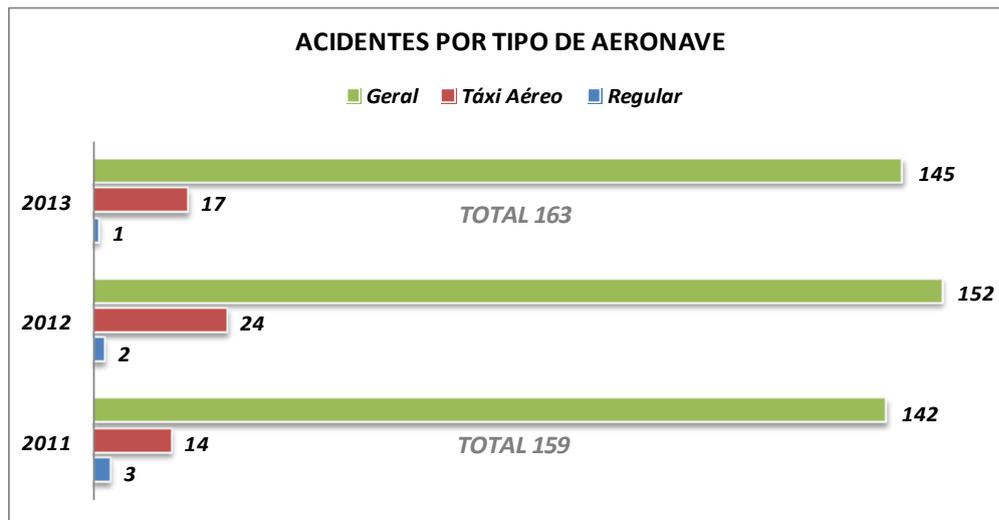


Figura 9 - Acidentes Aéreos da Aviação Geral entre 2011 e 2013
 Fonte: CENIPA (2014), adaptado pelo autor.

1.8 FORMAÇÃO BÁSICA METEOROLÓGICA PARA PILOTOS AVIADORES NO BRASIL

Especialista no ensino em Meteorologia Aeronáutica, Sonnemaker (2009) destaca a necessidade de que os membros de uma tripulação possuam conhecimento básico das condições do tempo a fim de conhecerem e utilizarem de modo mais útil as informações do briefing (apronto) meteorológico. Este conhecimento básico é adquirido nos cursos de formação e são aprimorados ao longo da carreira.

A formação básica de pilotos aviadores atualmente é regulada e de responsabilidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Em seu sítio de buscas e consultas na internet a Agência diz que:

tem por atribuição institucional o trato dos diversos aspectos da segurança de voo e esta depende diretamente dos níveis relativos à formação, ao aperfeiçoamento e à especialização dos tripulantes (ANAC, 2013, online).

A instrução teórica de pilotos é baseada no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil-61 e 67 (RBAC-61 e RBAC-67). Estes fornecem os currículos mínimos pré-estabelecidos para a concessão de licenças e habilitações técnicas.

Segundo a Regulação Brasileira de Habilitação Aeronáutica-141 (RBHA-141) (ou àquela que venha a substituí-la), e o Manual de Cursos da ANAC (MCA), que discorrem sobre os requisitos básicos para obter a licença de pilotos e da grade curricular necessária para obtenção do diploma teórico necessários à formação dos pilotos privados e comerciais (avião e helicóptero), pontua-se que dentre inúmeras outras disciplinas necessárias está a Meteorologia, com carga mínima obrigatória de 42 horas/aulas e uma grade curricular mínima elencada⁶.

Os conceitos de Meteorologia básica estudados nos cursos para a concessão de licenças para Pilotos Privados são indispensáveis para todos os futuros cursos na carreira do aviador, uma vez que as formações subsequentes retomam alguns conceitos fundamentais anteriormente vistos e os complementam, aprofundando o conhecimento do aero navegante à medida de sua evolução profissional. O conhecimento dos agentes meteorológicos é fator decisivo para a atividade aérea e sua realização.

1.9 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

1.9.1 AS REDES DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS AERÓDROMOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Os dados dos relatórios anuais da Associação Brasileira de Aviação Geral (ABAG) mostram o quão significativo é o mercado e a operação de aeronaves da aviação geral no Brasil, em particular na região sudeste, sobretudo no estado de São Paulo. No entanto, os números mostram que o número de aeronaves da aviação geral no país cresce a cada ano, como mostram as Figuras 10 e 11.

⁶ Para maiores detalhes sobre cada um dos tópicos apresentados, consultar MCA-58-3 Piloto Privado.

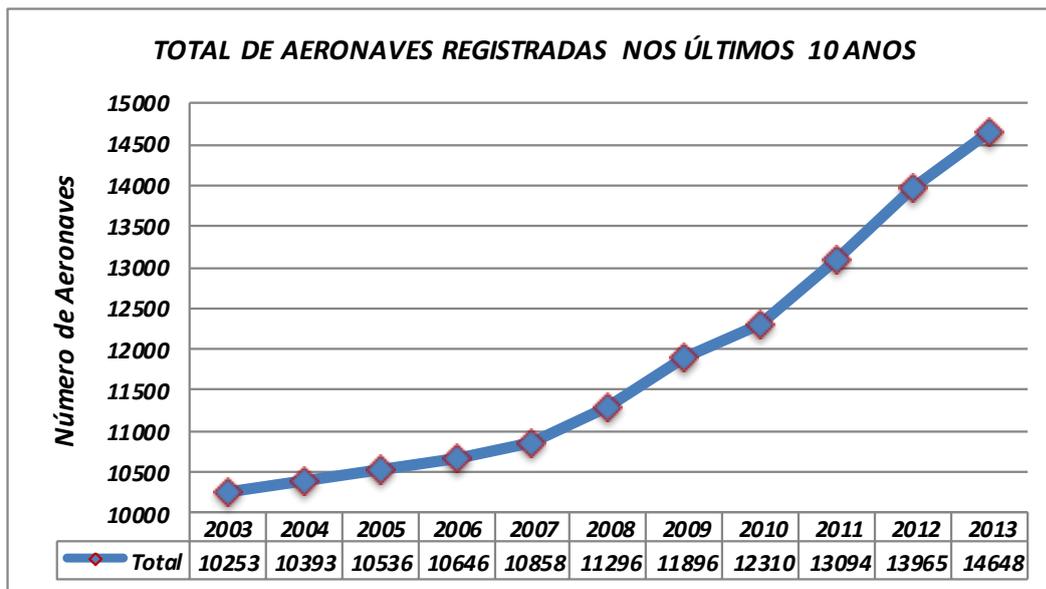


Figura 10 - Crescimento da frota da Aviação Geral nos últimos 10 anos
Fonte: ABAG (2014).

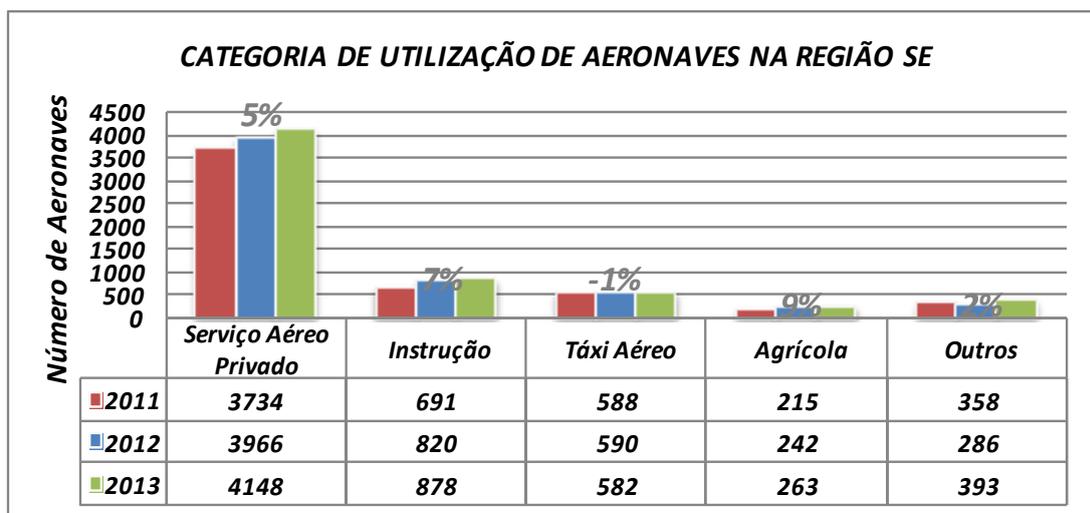


Figura 11 - Categoria de utilização das aeronaves da região sudeste.
Fonte: ABAG (2014).

O estado de São Paulo, escopo deste estudo, conta com um total de 82 aeródromos públicos homologados para operações de pouso e decolagem, mas apenas um total de 22 destes está dotado de facilidades (estações meteorológicas) para coleta e divulgação de dados para os aeronavegantes. Leva-se em conta também que alguns destes aeródromos não funcionam 24 horas por dia, tendo suas operações suspensas em horários pré-determinados, como é o caso, por exemplo, do aeroporto Bartolomeu de Gusmão, no município de Araraquara, onde segundo a

publicação do Manual Auxiliar de Rotas Aéreas (ROTAER, 2015), o serviço de rádio comunicação denominado *Aerodrome Flight Information Service* (AFIS) prestado pela estação instalada na localidade transmite os dados da estação meteorológica apenas nos horários em que a mesma encontra-se em funcionamento. No caso deste município em específico, de segunda à sexta-feira, das 17h às 23h do horário de Brasília (MON TIL SAT 2000-0200) – (Figura 12).

ARARAQUARA, SP	
RDODIF-	CULTURA ZYK-546 790 MORADA DO SOL ZYK-547 640
<hr/>	
ARARAQUARA / Araraquara, SP SBAQ	21 48 16S/048 08 25W
PUB 6SE UTC-3 VFR IFR L21, 26 DAESP	711 (2333)
17 - L12- (1800x30 ASPH 40/F/A/X/T L14, 15) -L12 - 35	
COM -	RÁDIO ARARAQUARA (2)(3) 131.600
RDONAV -	NDB AAQ (3) 205 2148.78S/04808.37W
CMB -	(1) PF, TF SER - S1
MET -	(2) (16) 233-4040 CMA (1 a 4)
AIS -	(16) 222-3441
RMK -	(*) a. OBS TFC ultraleve no aeródromo. b. OBS torre NDB, ELEV 2514FT, DIST 620M à direita RCL e a 663M da THR 17. c. OBS OBST (antena), não balizada, AZM 157DEG DIST 3567M THR 17 ELEV 2585FT. d. OBS OBST (antena), não balizada, AZM 190DEG DIST 5216M THR 17 ELEV 2598FT. e. OBS OBST (rede de alta tensão), não balizada, AZM 335DEG DIST 1000M THR 35 ELEV 2397FT. f. Cartas ver AIP MAP. (1) MON TIL SAT 1100-2030. (2) MON TIL FRI 2000-0200. Demais HR O/R pelo TEL: (16) 3322-9955 e 3322-3441. (3) OPR DAESP.

Figura 12 - Dados sobre a operação do Aeroporto de Araraquara-SP SBAQ⁷
Fonte: ROTAER (2015).

Estes aeródromos podem ser de administração pública federal pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), pública estadual, pelo Departamento Aeroviário do estado de São Paulo (DAESP), pública municipal (Prefeituras), ou privada.

⁷ Nota-se que, segundo o Manual Auxiliar de Rotas Aéreas, o horário de funcionamento da Rádio para coordenação local e para operação da estação meteorológica que confecciona os METAR para aquela localidade restringe-se a apenas 6 horas totais de funcionamento.

No Brasil, todos os aeródromos identificados pelo prefixo SB (conforme designação da ICAO) possuem uma EMS e, conseqüentemente, informes METAR regulares, mesmo estes não sendo disponibilizados 24 horas por dia. Os demais aeródromos brasileiros cujos designativos iniciam com SD, SI, SJ, SN, SS e SW carecem destas informações, tendo os pilotos que recorrer aos aeródromos circunvizinhos dotados desta facilidade ou então analisar e avaliar as condições meteorológicas de tempo presente a partir do uso assistemático de informações disponíveis, tais como imagens de satélites, previsões de tempo em jornais, da observação atmosférica local e sua interpretação pessoal.

Na Tabela 4 estão listados todos os aeroportos públicos do estado de São Paulo e seus responsáveis administradores. Segundo dados da INFRAERO (2015), a empresa administrava cinco aeroportos no estado de São Paulo:

Tabela 4 - Aeroportos administrados pela INFRAERO

ADMINISTRADOR	SIGLA	NOME
INFRAERO	SBKP	Campinas-SP / Viracopos - Aeroporto Internacional de Viracopos
	SBSJ	São José dos Campos-SP - Aeroporto Internacional Prof. Urbano Ernesto Stumpf
	SBMT	São Paulo-SP / Campo de Marte - Aeroporto de São Paulo Campo de Marte
	SBSP	São Paulo-SP / Congonhas - Aeroporto de Congonhas
	SBGR	Guarulhos-SP/ Guarulhos - Governador André Franco Montoro ⁸

Fonte: INFRAERO (2015), elaborado pelo autor.

O DAESP administra atualmente um total de 26 aeroportos no estado de São Paulo, divididos em seis regiões, conforme a Tabela 5 a seguir:

⁸ GRU Airport - o terminal do aeroporto de Guarulhos foi concedido à iniciativa privada em fevereiro de 2012 através do consórcio INVEPAR/ACSA (Airports Company South Africa) por um período de 20 anos. Deste então, este passou a utilizar a marca GRU Airport em todos os serviços antes prestados aos usuários (passageiros e tripulantes). A INFRAERO permanece como administradora e é acionista com 49% do capital social, participando da governança na proporção de sua participação acionária, com poder de decisão em temas relevantes, previamente estabelecidos.

Tabela 5 - Aeroportos administrados pelo DAESP

ADMINISTRADOR	REGIÃO	SIGLA	NOME
DAESP	Bauru	SBAE	Bauru-SP / Arealva - Aeroporto Estadual Moussa Nakhal Tobias
		SDRR	Avaré-SP / Arandu - Aeroporto Regional Cmte. Luiz Gonzaga Luth
		SBML	Marília-SP - Aeroporto Estadual Frank Miloye Milenkowichi
		SDOU	Ourinhos-SP - Aeroporto Estadual Jornalista Benedito Pimentel
		SDNO	São Manuel-SP - Aeroporto Estadual Nelson Garófalo
	Itanhaém	SDIM	Itanhaém-SP - Aeroporto Estadual Antonio Ribeiro Nogueira Junior
		SSRG	Registro-SP - Aeroporto Estadual Antonio de Registro;
		SDUB	Ubatuba-SP - Aeroporto Estadual Gastão Madeira
		SBDN	Presidente Prudente-SP - Aeroporto Estadual de Presidente Prudente
		SDDN	Andradina-SP - Aeroporto Estadual Paulino Ribeiro de Andrade
	Presidente Prudente	SNAX	Assis-SP - Aeroporto Estadual Marcelo Pires Halzhausen
		SDDR	Dracena-SP - Aeroporto Estadual Moliterno de Dracena;
		SDEP	Presidente Epitácio-SP - Aeroporto Estadual Geraldo Moacir Bordon
		SDTP	Tupã-SP - Aeroporto Estadual José Vicente Faria Lima.
		SBRP	Ribeirão Preto-SP - Aeroporto Estadual Dr. Leite Lopes
	Ribeirão Preto	SBAQ	Araraquara-SP - Aeroporto Estadual Bartolomeu de Gusmão
		SIMK	Franca-SP - Aeroporto Estadual Ten. Lund Presotto;
		SDSC	São Carlos-SP - Aeroporto Estadual Mario Pereira Lopes.
		SBSR	São José do Rio Preto-SP - Aeroporto Estadual Eribelto Manoel Reino
		São José do Rio Preto	SBAU	Araçatuba-SP - Aeroporto Estadual Dário Guarita
	SDPN		Penápolis-SP - Aeroporto Estadual Dr. Ramalho Franco
	SDVG		Votuporanga-SP - Aeroporto Estadual Domingos Pignatari
Sorocaba	SDCO	Sorocaba-SP - Aeroporto Estadual Bertram Luiz Leupolz	
	SBBP	Bragança Paulista-SP - Aeroporto Estadual Artur Siqueira	
	SDAM	Campinas-SP / Amarais - Aeródromo Estadual de Campinas/ Amarais	
	SBJD	Jundiaí-SP - Aeroporto Estadual Cmte. Rolim Adolfo Amaro.	

Fonte: DAESP (2015?), elaborado pelo autor.

São 46 os AD de responsabilidade da administração pública municipal, conforme descrito na Tabela 6:

Tabela 6 - Aeroportos de administração pública municipal.

ADMINISTRADOR	SIGLA	NOME (Continua)
	SDAA	Araras-SP - Aeroporto Municipal Armando Américo Fachini
	SDAD	Adamantina-SP - Aeroporto Municipal Everaldo Moraes Barreto
	SDAE	São Pedro-SP - Aeroporto Municipal de São Pedro
	SDAI	Americana-SP - Aeroporto Municipal de Americana
	SDBA	Batatais-SP - Aeroporto Municipal de Batatais
	SDBB	Bebedouro-SP - Aeroporto Municipal de Bebedouro
	SDBK	Botucatu-SP - Aeroporto Municipal Tancredo de Almeida Neves
	SDBY	Bariri-SP - Aeroporto Municipal Aparecido O. Silva
	SDCA	Capão Bonito-SP - Aeroporto Municipal de Capão Bonito
	SDET	Tietê-SP - Aeroporto Municipal de Tietê
	SDFD	Fernandópolis-SP - Aeroporto Municipal Coronel Aviador Carlos Orleans Guimarães
	SDGC	Garça-SP - Aeroporto Municipal de Garça
	SDGR	Guararapes-SP - Aeroporto Municipal de Guararapes
	SDID	Itararé-SP - Aeroporto Municipal de Itararé
	SDIG	Ibitinga-SP - Aeroporto Municipal de Ibitinga
	SDIU	Itú-SP - Aeroporto Municipal de Itú
	SDIV	Ituverava-SP - Aeroporto Municipal de Ituverava
	SDJC	Jaboticabal-SP - Aeroporto Municipal de Jaboticabal
	SDJL	Jales-SP - Aeroporto Municipal de Jales
Administração Pública Municipal	SDJO	São Joaquim da Barra-SP - Aeroporto Municipal de São Joaquim da Barra
	SDJV	São João da Boa Vista-SP - Aeroporto Municipal de São João da Boa Vista
	SDKB	Casa Branca-SP - Aeroporto Municipal de Casa Branca
	SDKK	Mocóca-SP - Aeroporto Municipal de Mococa
	SDLC	Lucélia-SP - Aeroporto Municipal de Lucélia
	SDLL	Leme-SP - Aeroporto Municipal de Leme
	SDLP	Lençóis Paulista-SP - Aeroporto Municipal de Lençóis Paulista
	SDLY	Matão-SP - Aeroporto Municipal Armando Natali
	SDMH	Mirassol-SP - Aeroporto Municipal de Mirassol
	SDMJ	Moji Mirim-SP - Aeroporto Municipal Moji Mirim
	SDMO	Monte Alto-SP - Aeroporto Municipal Monte Alto
	SDNH	Novo Horizonte - Aeroporto Municipal Novo Horizonte
	SDPD	Pindamonhangaba-SP - Aeroporto Municipal de Pindamonhangaba
	SDPN	Penápolis-SP - Aeroporto Municipal de Penápolis
	SDPV	Presidente Venceslau-SP - Aeroporto Municipal de Presidente Venceslau
	SDPW	Piracicaba-SP - Aeroporto Municipal Pedro Morganti
	SDPY	Pirassununga-SP - Aeroporto Municipal de Pirassununga
Administração Pública Municipal	SDRK	Rio Claro-SP - Aeroporto Municipal de Rio Claro
	SDTB	Atibaia-SP - Aeroporto Municipal de Atibaia
	SDTF	Tatuí-SP - Aeroporto Municipal de Tatuí
	SDTI	Tupi Paulista-SP - Aeroporto Municipal de Tupi Paulista
	SDUQ	Paraguaçu Paulista-SP - Aeroporto Municipal de Paraguaçu Paulista
	SDVE	Vera Cruz-SP - Aeroporto Municipal Vera Cruz
	SDYW	Itapeva-SP - Aeroporto Municipal de Itapeva
	SNBA	Barretos-SP - Aeroporto Municipal Chafei Amsei

SSOI Pederneiras-SP - Aeroporto Municipal de Pederneiras		
ADMINISTRADOR	SIGLA	NOME (Conclusão)
	SSRG	Registro-SP - Aeroporto Estadual de Registro
	SWXQ	Lins-SP - Aeroporto Municipal Lucas Nogueira Garcez

Fonte: ROTAER (2015?), elaborado pelo autor.

Existem, ainda, quatro aeródromos de administração pública federal que não estão listados nas tabelas anteriores por serem bases militares e, portanto, pertencentes à União. Tabela 7:

Tabela 7 - Aeroportos de administração pública federal

ADMINISTRADOR	SIGLA	NOME
Administração Federal	SBGW	Guaratinguetá-SP - Guaratinguetá (Força Aérea Brasileira)
	SBST	Guarujá-SP - Base Aérea de Santos - (Força Aérea Brasileira)
	SBYS	Pirassununga-SP - Academia da Força Aérea - (Força Aérea Brasileira)
	SBTA	Taubaté-SP - Base de Aviação de Taubaté - (Exército Brasileiro)

Fonte: ROTAER (2015?), elaborado pelo autor.

O aeródromo localizado no município de Gavião Peixoto e pertencente à Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) é administrado com recursos próprios, sendo este de uso exclusivo da fábrica no município. No entanto, o local conta com uma EMS e, conseqüentemente, com reportes METAR expedidos em horários preestabelecidos.

Tabela 8 - Aeroporto administrado pela EMBRAER

ADMINISTRADOR	SIGLA	NOME
EMBRAER	SBGP	Gavião Peixoto-SP - Embraer Unidade Gavião Peixoto - operação restrita

Fonte: ROTAER (2015), elaborado pelo autor.

Dos 83 AD listados anteriormente (82 de administração pública e um de administração totalmente privada), segundo o REDEMET (2015), apenas 20 estão dotados de EMS para confecção e publicação de METAR. São eles:

- a) EMS2-DN - SBDN – Presidente Prudente;
- b) EMS3-AU - ABAU –Araçatuba;
- c) EMS3-AU - SBML –Marília;

- d) EMS3-SR - SBSR – São José do Rio Preto;
- e) EMS2-BU - SBBU –Bauru;
- f) EMS3-AE - SBAE –Bauru/Arealva;
- g) EMS3-GP - SBGP – Gavião Peixoto;
- h) EMS3-AQ - SBAQ –Araraquara;
- i) EMS2-RP - SBRP – Ribeirão Preto;
- j) EMS1-YS - SBYS –Pirassununga;
- k) EMS1-KP - SBKP –Campinas/Viracopos;
- l) EMS2-JD - SBJD –Jundiaí;
- m) EMS3-BP - SBBP – Bragança Paulista;
- n) EMS1-SP - SBSP – São Paulo;
- o) EMS2-MT - SBMT – São Paulo/ Campo de Marte;
- p) EMS1-GR - SBGR –Guarulhos;
- q) EMS3-ST - SBST – Guarujá;
- r) EMS1-SJ - SBSJ – São José dos Campos;
- s) EMS2-TA - SBTA - Taubaté;
- t) EMS2-GW - SBGW –Guaratinguetá.

Apenas 24,09% desses 83 AD dispõem de EMS, deixando uma lacuna de informações em grandes áreas do estado, visto que os AD que dispõem de EMS não estão homoganeamente espalhados por todo o território, mas concentrados apenas nos locais de maior movimentação e tráfego aéreo, conforme mostra a Figura 13.

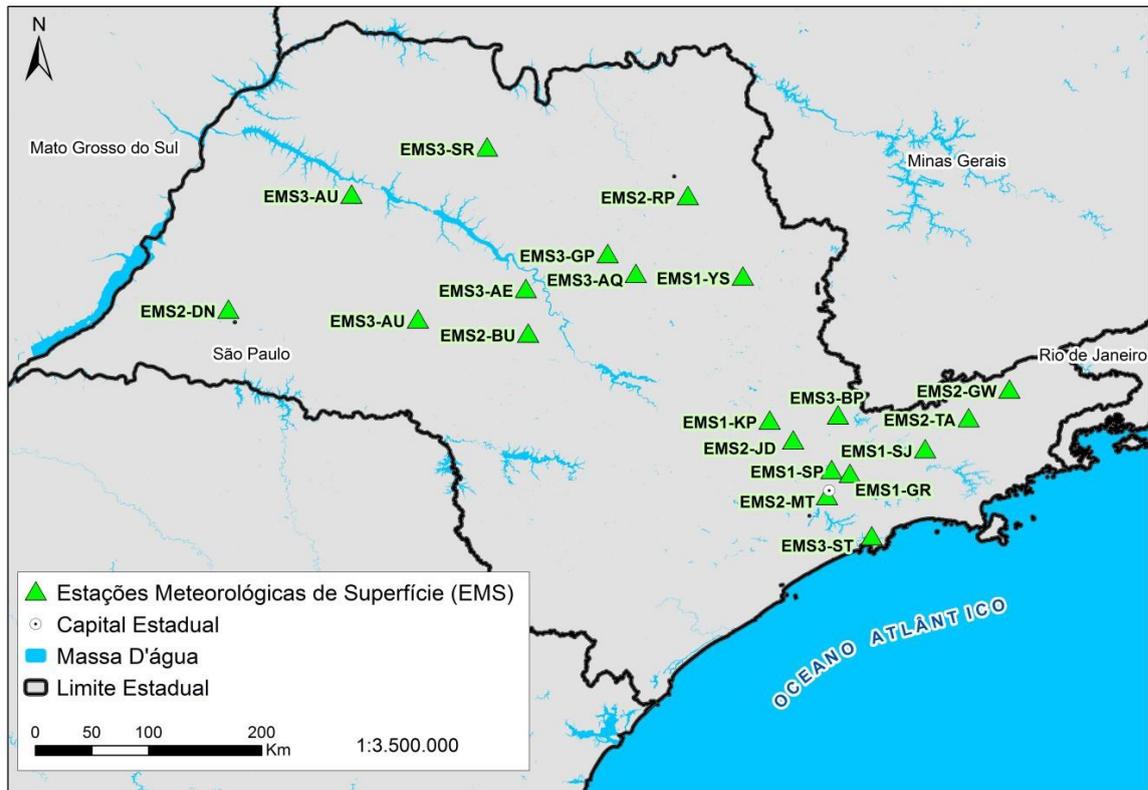


Figura 13 - Rede de EMS espalhadas pelo estado de São Paulo⁹
 Fonte: REDEMET (2014), elaborado pelo autor.

Ainda que as autoridades estejam empenhadas em fazer o trabalho de divulgação dos dados disponíveis em diversas plataformas, como meios digital, radiotelefônico e impresso, ainda há a necessidade de ampliar a rede de coleta de dados para maior abrangência dos aeródromos não só do estado, mas em todo o Brasil.

Em publicação oficial, a Associação de Pilotos e Proprietários de Aeronaves do Brasil (APPA) afirmou que:

⁹ Chama a atenção a grande concentração na região leste do estado com 10 estações entre Campinas e Taubaté e o grande vazio da região sul.

[...] espera-se que todos os aplicativos que hoje captam e distribuem informações meteorológicas baseados em informações da REDEMET não só permaneçam estáveis como possam ser aprimorados, assim como gostaria de contar com a REDEMET para ampliar a rede de captação e distribuição de informações meteorológicas no país, através do uso de estações ADS-B portáteis e automáticas, oferecendo a nós, brasileiros, facilidades semelhantes a que nossos companheiros pilotos e proprietários norte-americanos, canadenses, chilenos, mexicanos e europeus já contam. (APPA, 2015, p.1).

Isso evidencia a lacuna de dados e informações que infelizmente ainda é parte da rotina de aeronautas e que auxiliariam sobremaneira a navegação aérea e incrementariam a segurança de voo em todas as regiões do país.

1.9.1 JUSTIFICATIVA PARA A RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O crescimento da atividade aérea no Brasil e o conseqüente aumento do número de habilitações concedidas para pilotos aviadores mostra a necessidade real de crescimento da infraestrutura aeronáutica para acompanhar a evolução do setor.

Os Aeroclubes ainda são as principais entidades formadoras de pilotos aviadores civis no Brasil, seguido das Escolas de Aviação, sendo que estes se encontram espalhados pela capital e interior, operando aeronaves de instrução primária de pequeno porte.

Aeródromos de cidades que dispõem de boa infraestrutura aeroportuária e com razoável fluxo de tráfego aéreo, como é o caso do Aeroclub de São Paulo sediado no Campo de Marte, dispõem de uma ampla infraestrutura de dados pertinentes à atividade aérea, principalmente no que diz respeito ao acesso a informações de dados meteorológicos. Como segunda opção, os operadores do aeródromo do Campo de Marte ainda podem usufruir de dados do Aeroporto de Congonhas ou, ainda, do Aeroporto Internacional de Guarulhos. Isso vale para os aeroclubes das cidades de Campinas, Jundiaí, Ribeirão Preto, dentre outras. No entanto, existem algumas lacunas ou vazios de informação que são encontrados em locais onde há atividade aérea, decorrentes da falta de infraestrutura. Por vezes ainda em muitos lugares, quando há equipamentos e pessoal que ofereça o serviço de informação meteorológica, este não funciona em tempo integral.

A criação e divulgação de elementos meteorológicos sintéticos e elementares para a aviação e que são muito úteis principalmente nas operações de pouso e decolagem, auxiliaria na operação segura dos tripulantes, principalmente da aviação geral, como instrutores e instruendos dos aeroclubes e escolas de aviação civil, pilotos privados, desportivos e demais atividades em locais desprovidos dessas facilidades.

O conhecimento da existência de um extenso banco de dados originado a partir de amostras reais coletadas e medidas de variáveis naturais, e a aquisição destas informações disponíveis nos METAR de aeródromos com EMS instaladas, associados aos dados coletados de EMS do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) espalhadas por inúmeras cidades do interior do estado de São Paulo, contêm os elementos necessários e significativos para a elaboração de amostras sintéticas destas variáveis.

Com a análise destas informações e utilizando técnicas robustas de mineração de dados, cria-se a hipótese de que seria possível gerar dados que comporiam uma nova informação denominada PROMETAR (Prognostic METAR), beneficiando usuários sem elevado custo com material e mão de obra da instalação de uma nova EMS. Os testes analíticos e probabilísticos dos referidos resultados trariam segurança e confiança para a utilização da ferramenta como fator de referência em tais localidades desprovidas de EMS.

Uma vez que a análise exploratória de dados é possível com o uso de softwares que utilizam técnicas de Mapas Auto-organizáveis, é plausível a hipótese de se prever o tempo num dado local utilizando-se apenas de suas referências geográficas, a saber (coordenadas UTM) e dados circunvizinhos para a montagem do cenário que comporia a real condição do tempo no ponto desejado.

A exemplo disso, trabalhos semelhantes em outras áreas de estudo já mostraram que o *Self Organizing Map* (SOM), ou Mapas Auto-organizáveis, é uma ferramenta poderosa para predição de dados inexistentes quando munido de um rico banco de dados para alimentar o programa. A aplicação em inúmeras áreas da ciência faz dos Mapas Auto-Organizáveis uma ferramenta de amplo leque exploratório e, como exemplo, pode-se citar trabalhos utilizando tal ferramenta nas áreas de

computação para a recuperação de informação de dados (ZUCHINI, 2006), em Geologia, (CARNEIRO, 2010) ou mesmo ainda aplicados à Ecologia (XIMENES et al., 2007).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal deste trabalho é o de prever amostras sintéticas de elementos significativos do tempo, tais quais precipitação, direção e velocidade do vento, e pressão atmosférica, encontrados em códigos meteorológicos para aeródromos (METAR), onde não há sistemas de medição destas variáveis. Tal previsão se daria a partir de variáveis naturais medidas e coletadas em estações meteorológicas já existentes em outras localidades.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Como objetivo secundário este trabalho visa à composição de um prognóstico meteorológico no formato METAR, denominado PROMETAR, a partir da quantificação de variáveis naturais sintéticas obtidas para os aeródromos analisados e desprovidos de EMS.

Objetiva, também, uma nova metodologia a partir da aplicação do SOM para uso em novas plataformas que facilite o prognóstico de dados meteorológicos a partir de outros dados já preexistentes que auxiliem aeronaves em regiões desprovidas de auxílios meteorológicos.

3 SOM E CONCEITOS DE REDES NEURAIS

3.1 INTRODUÇÃO AS REDES NEURAIS

O conceito de redes neurais é mais antigo do que parece. Quando imaginamos ou ouvimos falar em redes neurais e, conseqüentemente, em inteligência artificial, imaginamos a princípio robôs e computadores dotados de capacidade de análise e/ou tomada de decisão tal qual um organismo inteligente, como apresentado constantemente em artigos, filmes e livros sobre ficção científica futurista. O conceito

nascido na década de 1940, no entanto, é uma releitura de ideias muito antes já apresentadas, como propôs o filósofo Platão em sua “Teoria das Ideias (Formas)”, em que já discute que o conceito de inteligência é uma (re)lembrança de um conhecimento já existente, através de uma essência comum a muitos exemplos de elementos associados (NASH, 2012?).

Os neurônios biológicos são parte do sistema nervoso, adaptados há milhares de anos de evolução e organizados em constelações funcionais de acordo com contatos sinápticos que fazem uns com os outros (YANEZ, 2015). Como se sabe, seu funcionamento químico é complexo e dinâmico, estimulado por pulsos elétricos e moléculas transmissoras desses sinais que são convertidos em mensagens no cérebro. Assim, a biologia inspira a criação de algoritmos que tentam, na medida do possível, copiar essas ligações e associações feitas pelos neurônios para um dado estímulo.

3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Em 1943, os matemáticos Walter Pitts e McCulloch iniciaram os trabalhos para desenvolver uma associação entre um modelo de neurônio biológico e circuitos eletrônicos que, tempos depois, foram associados a modelos computacionais.

Segundo Badin (2011), o neurônio artificial é um modelo matemático representativo de um neurônio biológico, portanto encontramos estruturas semelhantes a ambos. Através das Figuras 16 e 17 podemos verificar suas semelhanças.

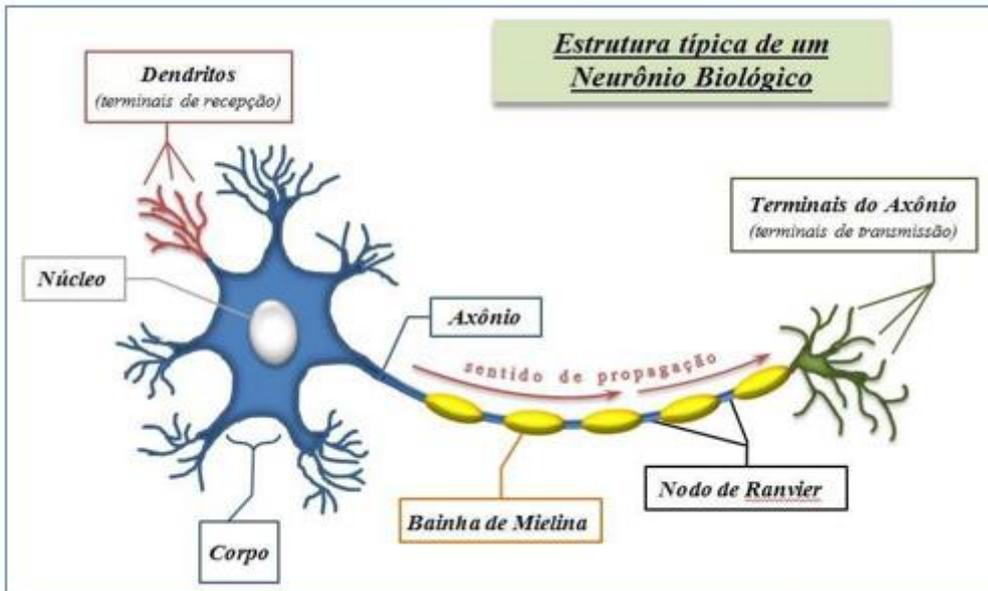


Figura 14 - Modelo esquemático do neurônio biológico
 Fonte: elaborado pelo autor.

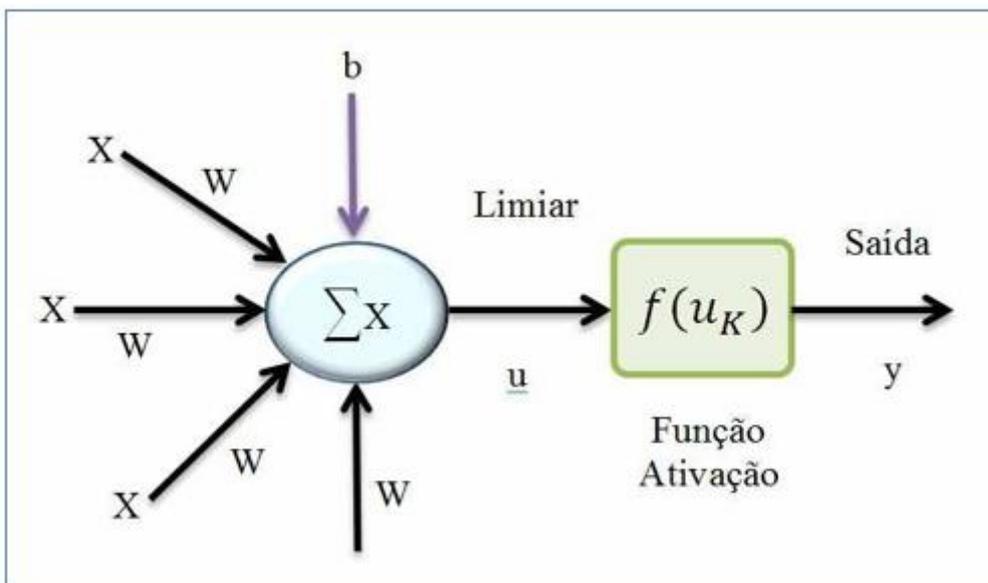


Figura 15 - Modelo esquemático do neurônio artificial
 Fonte: Affonso (2011), adaptado pelo autor.

Uma RN (Rede Neural) possui três características principais:

- 1 – Possui Neurônios (processadores de informação);
- 2 – É organizada em uma arquitetura;
- 3 – Possui um algoritmo de aprendizado (que faz a rede “aprender” novos conceitos).

A principal finalidade dos estudos relacionados às redes neurais artificiais (RNAs) é a tentativa de criação de uma inteligência artificial (IA) autônoma, para que assim essas RNAs possam, de modo independente, deter a capacidade de aprender de maneira autônoma (de preferência não supervisionada), elaborando resultados complexos similares ao aprendizado desenvolvido pelo cérebro humano.

3.3 SOM – MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS

O professor e cientista finlandês Tuevo Kohonen desenvolveu, em 1984, um trabalho intitulado "Auto-Organização e Memória Associativa", em que abordou conceitos sobre as RNs que despertou a atenção de cientistas em outras partes do mundo, contribuindo para que outros colaboradores trabalhassem com o conceito de RNAs e desenvolvessem algoritmos para sistemas que efetuassem a auto-análise de dados, impulsionando as pesquisas em auto-organização não supervisionada.

As RNAs *Self-Organizing Maps* e *Learning Vector Quantization* (LVQ) tornaram-se mais populares nos anos 90 e o crescente uso dessa técnica tornou necessários mais estudos e abordagens mais detalhadas sobre a análise dos padrões estatísticos utilizados, bem como maiores detalhes sobre a técnica SOM (YANEZ, 2015). Como consequência desses estudos mais aprofundados, em 1998, Kohonen publicou o artigo científico *The Self-Organizing Maps* e três edições do livro com o mesmo nome.

O modelo de Mapas Auto-organizáveis é um modelo de desenvolvimento não supervisionado, ou seja, não se faz necessário apresentar caminhos na entrada para uma saída de dados correta ou ideal, induzindo a rede para que esta aprenda como se adaptar. A rede funciona de modo que seus algoritmos de correlação trabalhem de forma independente. O desenvolvimento dessa ideia surgiu a partir do modelo de aprendizagem do nosso cérebro, onde em muitas atividades tal processo não é supervisionado, como exemplo, ao sabermos que o fogo queima, ou que ao pularmos de certa altura corremos risco de morte ou, ainda, quando sentimos sede é necessário que tomemos água. Tais conclusões foram internalizadas pelo nosso cérebro de modo que não há a necessidade de recebermos instruções para isso.

As RNs (biológicas e artificiais) trabalham em um campo complexo e com muitas inter-relações e são livres para fazer conexões distintas. Quando as RNAs dispõem de um espaço n-dimensional, suas possibilidades de correlação aumentam, facilitando a comunicação entre os dados inseridos de modo que não haja necessidade de supervisão na análise destes dados. Estas RNAs não supervisionadas mostram-se como soluções emergentes para problemas complexos onde a mineração de dados é exigida em grandes quantidades.

Segundo Kohonen (2001), o SOM é uma técnica eficaz para a visualização de dados de elevada dimensionalidade. Os princípios do SOM envolvem o mapeamento ordenado de uma distribuição de alta dimensão em uma rede regular de baixa dimensão. Deste modo, o SOM é capaz de converter relações estatísticas complexas, não lineares entre os itens de dados de altas dimensões em relações geométricas simples apresentadas via *display* de baixa dimensão.

Esta é uma ferramenta de extrema utilidade aplicada em pesquisas que envolvam grandes quantidades de dados, quando estes são complexos e quando são múltiplas variáveis a serem analisadas. Aqui, os neurônios são auto-organizáveis, ou seja, com o passar do tempo cada neurônio vai criando grupos de neurônios especializados em certas entradas, tal qual o cérebro humano que detém grupos de neurônios responsáveis por eventos como a fala, visão, raciocínio, atividade motora, por exemplo. Portanto, mostra-se o SOM extremamente eficiente em áreas da ciência que envolvam complexidade na organização dos seus bancos de dados, tal qual a Geologia, Neurociência, Biologia, e no caso deste estudo, a Meteorologia.

No processo de aprendizagem do SOM, é inserido o banco de dados e a rede após ser alimentada e treinada apresentará os *node vectors* (NV), também denominados de vetores em nó, baseados em um treinamento descrito em dois passos por Kohonen (2001) e citados/aplicados por Fraser e Dickson (2007): (i) competitivo; e (ii) comparativo. Esses dois processos aplicam-se às amostras de entrada, fornecida pelo banco de dados e, através da comparação e peso que cada uma dessas entradas representa para o programa, é montada uma estrutura a partir da similaridade que cada entrada possui com seus vizinhos.

Na primeira etapa, os dados de entrada tomam a representação de vetores, com base na distância entre estes vetores em um espaço n-dimensional, é feita uma comparação entre amostras dentro de um raio (YANEZ, 2015). Quando identificado o vetor vencedor (*winning*), ou seja, aquele que possui maior semelhança com os demais, suas características são modificadas buscando semelhança com a amostra de entrada.

Na segunda etapa, os demais vetores próximos ao vetor vencedor também são reajustados de maneira que busquem melhor descrever sua relação com o vetor principal, procurando assemelhar-se às suas características de entrada, mantendo sua conservação topológica.

Como o método não necessita de supervisão ou parametrização, este buscará se adaptar de forma automática e auto-organizada à representação da estrutura original do banco e dados de maneira mais uniforme. Assim, os *seed-vectors*, conhecidos como “*Best Matching Units*” (BMUs), geram um mapa auto-organizado em duas dimensões feito a partir de dados multivariados complexos (YANEZ, op. cit.).

Os BMUs são projetados em um plano 2D buscando a melhor representação da nova organização que foi produzida. A visualização dos resultados pode ser feita de inúmeras maneiras, ficando a critério do usuário a melhor maneira de fazê-lo.

3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E APLICAÇÕES DO SOM

As áreas de pesquisa que demandam bancos de dados robustos e que utilizam o SOM como ferramenta para análise de tais são inúmeras e têm demonstrado que esta é uma excelente opção para integração de diferentes bancos de dados em diversos setores.

Fraser e Dickinson (2007) exemplificam a extensa área de atuação e utilização do SOM em campos de trabalho como finanças, controle industrial, análise de discurso (KAKSI et al., 1998 apud FRASER e DICKINSON, op. cit.) e Astronomia (GARCIA-BERRO et. al, 2003 apud FRASER, DICKSON, op. cit.). Nesse mesmo trabalho, os autores abordam o SOM como uma ferramenta multivariada com o

“objetivo de conscientizar e encorajar os leitores a considerar o SOM como uma ferramenta de análise metodológica para exploração de dados espacialmente localizados” (FRASER, DICKSON, 2007, p. 1).

Cavazos (1999) fez uso do SOM para realizar análises de padrão dos climas nos Balcãs. A utilização de RNAs se deu como ferramenta para o diagnóstico das precipitações diárias na região dos Balcãs a fim de compreender os mecanismos físicos atmosféricos que desencadeiam eventos extremos de precipitação (ou secas) no sudeste da Europa. A autora conclui que a utilização do SOM como ferramenta para análises de anomalias climáticas de condições extremas é um meio viável e fisicamente consistente comparado a controles remotos locais, além de a técnica de utilização de RNAs oferecer a vantagem de utilização de várias fontes distintas e em diferentes escalas de tempo.

Lima, de Castro e Ohishi (1999) realizaram um estudo sobre a influência climática em curvas de cargas em sistemas elétricos para os operadores do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) utilizando Mapas Auto-Organizáveis Não-Paramétricos de Kohonen (PSOM). O bom funcionamento de um sistema de previsão de carga satisfatório e com operação on-line precisa se adaptar às variações climáticas não previstas anteriormente de maneira automática, com sua predição de alguns minutos à frente. As variáveis que mais influenciam nas variações de carga desses sistemas são:

- a) conjugação da insolação (número de horas do brilho solar direto);
- b) pluviosidade (presença ou ausência de chuva no período);
- c) nebulosidade (dias nublados e parcialmente nublados).

Estes dados foram coletados pela estação meteorológica Fontes do Ipiranga, pertencente ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG).

O trabalho analisou apenas os dados climáticos disponíveis para insolação e pluviosidade, cujo horário de coleta se refere ao período das 16h às 00h, subdividindo-os em três porções de horas chamadas de Pré-Ponta, Ponta e Pós-Ponta. Concluiu-se que a análise feita com os dados para o estado de São Paulo pode ter sido prejudicada pela escassez de informações que poderiam ter melhor alimentado o banco de dados. No entanto, os resultados foram muito significativos,

pois, conforme indicado na Tabela 4, a precisão das classificações corretas pelo PSOM para os dias nos períodos indicados e suas reais condições (ensolarado, claro, nublado, chuvoso) não foi inferior a 81%, tendo uma média de 89,66%. Devido à escassez de informações climáticas mais precisas e um histórico mais detalhado com informações contínuas e mais focadas (o banco de dados fora feito com análises entre setembro e dezembro de 1997) não foi possível avaliar outros períodos do dia, mas, apesar das dificuldades, as condições climáticas geradas pelo PSOM validaram a importância dessa ferramenta na utilização de previsões temporais, instigando outros a aprofundar os estudos a respeito.

Tabela 9 - Classificações corretas realizadas pelo PSOM de junho a dezembro de 1997

MÊS	TRECHO		
	PRÉ-PONTA	PONTA	PÓS-PONTA
Junho	97%	90%	87%
Julho	94%	94%	94%
Agosto	90%	94%	87%
Setembro	87%	93%	93%
Outubro	93%	81%	100%
Novembro	83%	87%	93%
Dezembro	100%	87%	94%

Fonte: Lima, de Castro e Ohishi (1999), elaborado pelo autor.

Em estudo realizado por Schalkwyk e Dyson (2013) para o Aeroporto Internacional da Cidade do Cabo na África do Sul (CTIA), os pesquisadores utilizaram o SOM como ferramenta para previsão de condições de formação de neblina naquela localidade. Foi observada uma probabilidade de detecção, do inglês *Probability Of Detection* (POD) com apenas 17% de acerto para os dias de nevoeiro, com uma taxa de alarme falso, do inglês *False Alarm Rate* (FAR) de 0,67 para neblinas abaixo de 1000m de visibilidade. Quando eram previstos e não ocorriam, a POD atingiu as mesmas marcas de apenas 17%, o que indicou a necessidade de melhorias nesse tipo de previsão.

Para os dados de investigação foram utilizados dados METAR de 14 anos (1997 a 2010) referente aos meses de inverno do aeroporto CTIA. Através dos elementos contidos nos dados METAR (direção e intensidade dos ventos, temperatura e temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, etc.) associados ao padrão

de circulação da pressão atmosférica do local e à influência marítima, bem como à geografia do local, os pesquisadores com o uso do SOM concluíram que, diferentemente do que se imaginava, o nevoeiro de radiação é o mais frequente na localidade, o que não foi observado nos métodos anteriormente utilizados na classificação. Neste estudo, o SOM foi escolhido como ferramenta para a digitação sinóptica da área do aeroporto CTIA para reproduzir a climatologia sinóptica de circulação.

Observou-se que a radiação e os processos advectivos muitas vezes se combinam para formar o nevoeiro de radiação no CTIA. A interação do litoral da costa sudoeste e a geografia ao norte do interior sul-africano são importantes fatores contribuintes para o fenômeno quando as temperaturas diminuem nas noites de vento calmo.

Os resultados desta pesquisa podem ser aplicados para estimular novas maneiras de previsão desses eventos no aeroporto CTIA, além de auxiliar analistas de aviação dessa localidade a considerarem cuidadosamente a possibilidade de formação de nevoeiro entre os meses de março e agosto, especialmente nas noites onde não há fatores limitantes para a formação de nevoeiro, como chuva e ventos fortes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DADOS INMET

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é um órgão com sede em Brasília-DF, subordinado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, cujo objetivo principal é prover e disponibilizar à sociedade em geral informações meteorológicas que possam influenciar nos processos de tomada de decisão em diferentes escalas, contribuindo para o desenvolvimento do país. Foi criado pelo então presidente Nilo Peçanha através do Decreto nº 7.672, de 18 de novembro de 1909, com o nome de Diretoria de Meteorologia e Astronomia, órgão do Observatório Nacional, à época vinculado ao Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. Sua denominação atual foi concebida em 19 de novembro de 1992 através do Decreto nº 8.490 na gestão do então presidente Fernando Collor.

O INMET dispõe de monitoramentos constantes, medições, registros, fornecimento e compartilhamento de dados sobre o tempo e clima de maneira confiável. Também representa o Brasil junto à Organização Meteorológica Mundial (OMM, ou WMO em inglês) e é o responsável pela divulgação das mensagens coletadas e pela rede de observação meteorológica do país e de toda a América do Sul. Uma das principais atribuições do órgão é

[...] elaborar e divulgar, diariamente, em nível nacional, a previsão do tempo, avisos e boletins meteorológicos especiais; promover a execução de estudos e levantamentos meteorológicos e climatológicos aplicados à agricultura e outras atividades correlatas (INMET, 2016, on-line).

O INMET dispõe de um banco de dados de informações diárias para consulta, registrados desde 1961 e provenientes de suas estações de coletas, sendo que este sistema de coleta e distribuição de dados é formado por Estações de Sondagem Superior (ESS, ou Estação de Radiosondagem), Estações Meteorológicas de Observação de Superfície Convencional (EMOSC) operadas manualmente e Estações de Observação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (EMOSA), operadas de maneira autônoma e com tecnologia de medição e coleta de informações independentes. As estações EMOSC e EMOSAS são descritas sucintamente a seguir:

EMOSC – é composta de vários sensores isolados que registram continuamente parâmetros meteorológicos como: pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento. Estes dados são lidos e anotados por um observador meteorológico em intervalos regulares, sendo enviados a um centro coletor que os processará e armazenará, disponibilizando-os para consulta.

São 11 as EMOSC instaladas no estado de São Paulo, listadas na Tabela 10, em ordem alfabética.

Tabela 10 - Identificação das EMOSCs instaladas no estado de São Paulo pelo INMET

Nº de Identificação	Nome
1	Campos do Jordão - SP
2	EMOSC Catanduva - SP
3	EMOSC Franca - SP
4	EMOSC Guarulhos - SP
5	EMOSC São Carlos - SP
6	EMOSC São Paulo (IAG)
7	EMOSC São Paulo (Mirante de Santana)
8	EMOSC São Simão - SP
9	EMOSC Sorocaba - SP
10	EMOSC Taubaté - SP
11	EMOSC Votuporanga - SP

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

EMOSA – é composta de um *datalogger* (memória central) ligada a sensores de parâmetros meteorológicos que registram os seguintes dados: temperatura instantânea do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa instantânea do ar, umidade relativa máxima do ar, umidade relativa mínima do ar, temperatura instantânea do ponto de orvalho, temperatura máxima do ponto de orvalho, temperatura mínima do ponto de orvalho, pressão atmosférica instantânea do ar, pressão atmosférica máxima do ar, pressão atmosférica mínima do ar, velocidade instantânea do vento, direção do vento, intensidade da rajada do vento, radiação solar e precipitação acumulada no período.

Estes dados são captados pelos sensores das EMOSAs e enviados via satélite ou telefonia celular para a central de armazenamento, onde são registrados e transportados para um banco de dados que pode ser solicitado em forma de tabela. Estas estações integram todos os valores observados minuto a minuto e os disponibilizam automaticamente a cada hora, num total de 24 amostras diárias para cada uma das estações. Tabela 11.

Tabela 11 - Tabela de identificação dos dados observados por EMOSA do INMET

Estação	Data			Hora		Tens Temp			Temp. Ar			UMID. RELATIVA			TEMP. PT. ORVALHO			PRESSÃO			Vento			Nebulosidade			
	ANO	Mês	Dia	OBS	BAT	CPU	INST.	MAX	MIN	INST.	MAX	MIN	INST.	MAX	MIN	INST.	MAX	MIN	Vel	Dir	RAJ.	RAD	PREC	TOT	COD	BASE	VISIB
	UTC			V	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	hPa	hPa	hPa	m/s	°	m/s	kJ/m2	mm				
A001	2000	7	1	0	12,5	22	19,6	20,7	19,5	45	45	40	7,2	7,5	6,6	889,1	889,1	888,8	1,6	113	4,0	-4	0,0	/	////	////	////
A001	2000	7	1	1	12,5	21	20,1	20,2	19,7	39	47	39	5,8	8,1	5,8	889,4	889,4	889,1	2,2	71	4,5	-4	0,1	/	////	////	////
A001	2000	7	1	2	12,5	21	19,6	20,2	19,6	36	39	36	4,3	5,8	4,3	889,4	889,4	889,3	2,3	75	4,0	-4	0,2	/	////	////	////
A001	2000	7	1	3	12,5	21	18,3	19,7	18,3	43	43	36	5,5	5,5	4,2	889,3	889,3	889,0	1,5	78	4,1	-4	0,3	/	////	////	////

Estação = Axnn xnn = sequencial

Primeiro dígito x= distrito, nn= sequencial de instalação em cada distrito

Ano Mês Dia Hora (HORA UTC)

Tensão da bateria

Temperatura da CPU Instantânea, máxima e mínima

Temperatura do Ar Instantânea, máxima e mínima

Umidade Relativa Instantânea, máxima e mínima

Temp. do ponto de orvalho

Pressão atmosférica

Vento Direção, velocidade e rajada

Radiação solar

Precipitação

Nebulosidade Total, código e base da nuvem

Visibilidade

Fonte: INMET (2015).

Maiores informações técnicas sobre o funcionamento das estações automáticas podem ser adquiridas através da Nota Técnica nº.

001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INME, disponível no site do INMET¹⁰.

O estado de São Paulo possui um total de 31 EMOSAs instaladas, listadas na Tabela 12 em ordem alfabética.

¹⁰ Disponível no endereço eletrônico
<http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>.

Tabela 12 - Identificação das EMOSAs instaladas no estado de São Paulo pelo INMET

ESTAÇÃO	IDENTIFICAÇÃO
1	EMOSA Ariranha – SP
2	EMOSA Avaré - SP
3	EMOSA Barra Bonita - SP
4	EMOSA Barra do Turvo - SP
5	EMOSA Barretos - SP
6	EMOSA Barueri - SP
7	EMOSA Bauru - SP
8	EMOSA Campos do Jordão - SP
9	EMOSA Casa Branca - SP
10	EMOSA Franca - SP
11	EMOSA Ibitinga - SP
12	EMOSA Iguape - SP (fora do ar)
13	EMOSA Itapeva - SP
14	EMOSA Itapira - SP
15	EMOSA Ituverava - SP
16	EMOSA Jales - SP
17	EMOSA José Bonifácio - SP
18	EMOSA Lins - SP
19	EMOSA Ilha da Moela (Guarujá) - SP
20	EMOSA Ourinhos - SP
21	EMOSA Piracicaba - SP
22	EMOSA Pradópolis - SP
23	EMOSA Presidente Prudente - SP
24	EMOSA Rancharia - SP
25	EMOSA São Carlos - SP
26	EMOSA São Luiz do Paraitinga - SP
27	EMOSA São Miguel Arcanjo - SP
28	EMOSA São Paulo (Mirante Santana) - SP
29	EMOSA Sorocaba - SP
30	EMOSA Taubaté - SP
31	EMOSA Valparaíso - SP

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

A Figura 16 e a Tabela 13 apresentam a espacialização das 31 Estações Meteorológicas do INMET na área de estudo.

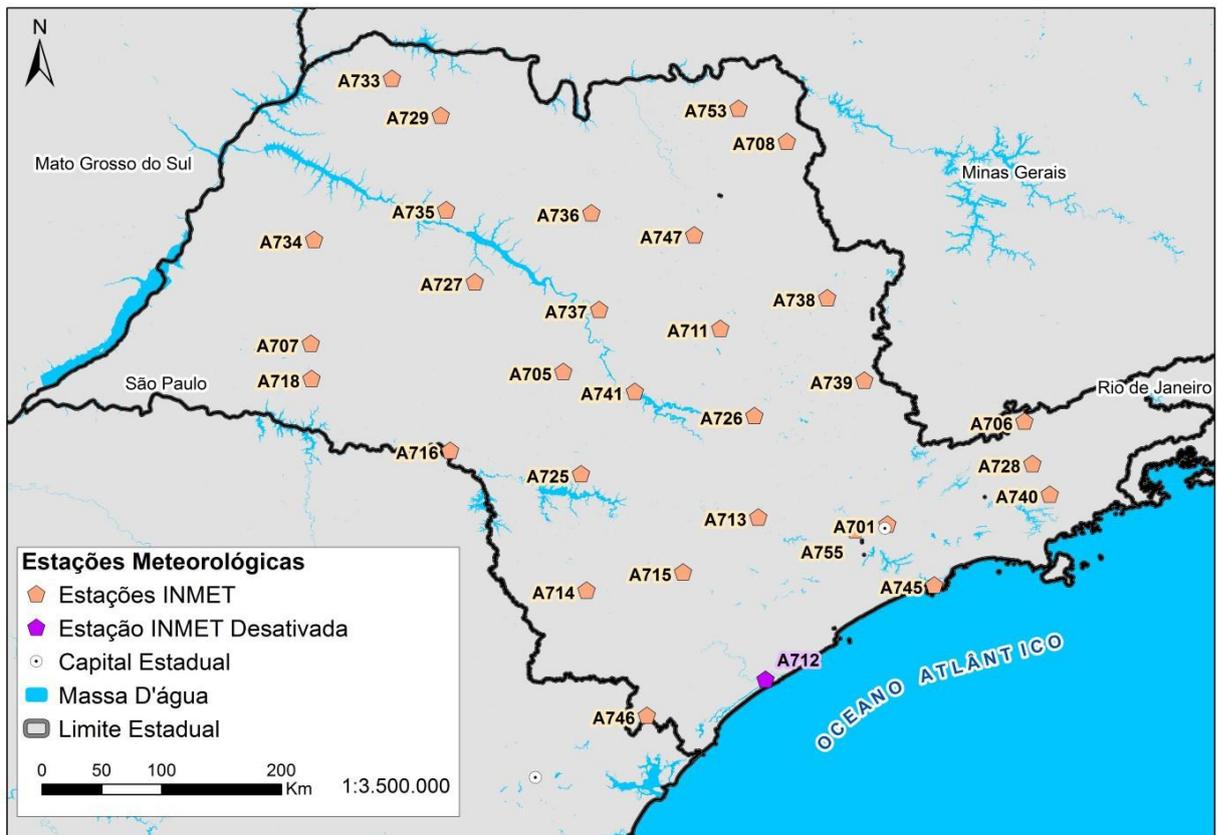


Figura 16 - Localização das 31 estações meteorológicas do INMET na área de estudo no estado de São Paulo

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Tabela 13 - Identificação das 31 Estações Meteorológicas do INMET

IDENTIFICAÇÃO	NOME	IDENTIFICAÇÃO	NOME
A701A705	São Paulo - Mirante Santana	A736	Ariranha
	Bauru	A737	Ibitinga
A706	Campos do Jordão	A738	Casa Branca
A707	Presidente Prudente	A739	Itapira
A708	Franca	A740	São Luís do Paraitinga
A711	São Carlos	A741	Barra Bonita
A712	Iguape (fora do ar)	A745	Moela
A713	Sorocaba	A746	Barra do Turvo
A714	Itapeva	A747	Pradópolis
A715	São Miguel Arcanjo	A748	Barretos
A716	Ourinhos	A753	Ituverava
A718	Rancharia		
A725	Avaré		
A726	Piracicaba		
A727	Lins		
A728	Taubaté		

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Primeiramente, foram levantados os dados meteorológicos das 11 EMOSCse das 31 EMOSAs disponíveis e que se encontram distribuídas pelo interior do estado de São Paulo e mantidas pelo INMET. Tais dados são referentes ao período de seis meses, sendo de 21/12/2013 a 30/06/2014, que abrangeu as estações de verão e outono. Aqui vale ressaltar que estes períodos foram atipicamente secos em comparação aos anos anteriores.

Como grande parte dos dados provenientes das EMOSCs estava incompleta, ou continha erros no seu banco de dados, optou-se por trabalhar apenas com os dados obtidos das 30 EMOSAs cujos dados estavam disponíveis, pois a estação do município de Iguape-SP está fora do ar e não dispõem de dados. Estas possuíam um banco de dados mais denso e preciso, com um número muito mais significativo de informações a serem utilizadas. Estes dados foram organizados numa tabela, respeitando os dias e horas da coleta para cada um dos 30 municípios disponibilizados.

Assim, através da coleta do banco de dados referente ao período supracitado, foi criada uma tabela que comportasse todos os dados adquiridos, de modo que fosse apresentada em um formato de fácil compreensão.

Para cada coluna foi designada uma variável distinta, num total de 25. Foram estas: (i) município, (ii) código da estação, (iii) altitude, (iv) latitude, (v) longitude, (vi) dia, (vii) mês, (viii) ano, (ix) precipitação, (x) pressão atmosférica máxima, (xi) pressão atmosférica mínima, (xii) pressão atmosférica na hora, (xiii) radiação, (xiv) ponto de orvalho máximo, (xv) ponto de orvalho mínimo, (xvi) ponto de orvalho, (xvii) temperatura máxima, (xviii) temperatura mínima, (xix) temperatura, (xx) umidade relativa do ar máxima, (xxi) umidade relativa do ar mínima, (xxii) umidade relativa do ar, (xxiii) direção do vento, (xxiv) velocidade de rajada máxima do vento e (xxv) velocidade do vento.

Uma primeira incerteza no preenchimento da tabela ocorreu quando se deparou com o fato de como trabalhar com os dados temporais (dia, mês, ano e hora), uma vez que se pensou que este seria, num primeiro momento, importante para o resultado e que necessitaria considerá-lo, de alguma maneira, como uma variável a ser analisada pelo SOM.

Optou-se, então, por trabalhar estes dados temporais através do método binário, onde o algarismo **0** representaria sua **não ocorrência** e o algarismo **1** representaria sua **ocorrência**. Assim, os dados temporais relacionados aos dias, meses e anos foram dispostos de tal modo que entrassem como variáveis pertinentes às demais variáveis. Exemplo na Tabela 14:

Tabela 14 - Análise temporal binária

CÓD	ALT	LAT	UTM	.ONG UTM	ÉS	ÉS	ÉS	ÉS	MÊS 11	MÊS 12	ANO 2011	ANO 2012
376	525	7662215.616	733523.267	0	0	0	0	.....	0	1	1	0
376	525	7662215.616	733523.267	0	0	0	0	.....	0	1	1	0

Fonte: elaborado pelo autor (2015).

A tabela foi preenchida de modo que apresentasse um total de 2.413.440 de dados disponíveis. No entanto, algumas informações não foram possíveis de coletar por falha nos registros das estações e conseqüentemente do banco de dados. Estes dados faltantes, ou corrompidos, permaneceram em branco, esperando-se que o próprio programa criasse um elemento que suprimisse o dado ausente. Esta tabela completa foi denominada de TAB-Completa.

Após a finalização dessa tabela completa com todos os dados coletados e distribuídos corretamente e que, por sua vez, servirá de referência, foi gerada uma nova tabela, denominada TAB-Completa Modificada, com a omissão de três variáveis nas primeiras linhas de cada município, para que o SOM pudesse, através de sua análise matemática, calcular os valores faltantes. Essas variáveis escolhidas para a omissão na tabela e possível cálculo foram:

- I – PRP (precipitação)
- II – VV (velocidade do vento)
- III – DV (direção do vento)

A escolha destas três variáveis se deu, inicialmente, por apresentarem elementos importantes na operação de um AD, uma vez que a determinação desses elementos influencia diretamente na tomada de decisão para qual cabeceira o piloto programará sua operação na aproximação e pouso. Para a precipitação, a importância está na possibilidade de se prever se há ou não a probabilidade da ocorrência de hidrometeoros que possam restringir a visibilidade. Já a direção e velocidade do vento, que mesmo sofrendo diretamente influências do meio físico geográfico e rugosidades existentes no seu entorno, seguem uma certa dinâmica de acordo com as leis da física, influenciadas pela diferença de pressão e temperatura e que faz com que, de maneira geral, apresente um deslocamento padrão.

A tabela original (referência) utilizada para esta primeira etapa apresentou um total de 419 variáveis para as 24 horas do dia coletadas para os 29 municípios da EMOSA, com um total de 2.413.440 dados finais. Desse total, 95.951 (3,97%) não estavam preenchidos por algum problema da coleta e/ou distribuição. Foram 229 linhas filtradas como “vazias” das 419 colunas e, ao se multiplicarem as linhas pelas colunas, obtêm o total de não preenchidos ($229 * 419 = 95.951$).

Em seguida, foram inseridos os dados da tabela modificada (com a omissão dos dados I, II e III) no ambiente SOM e executou-se o software (SiroSOM) para análise das amostras. Para dados de precipitação, em particular, foi usada uma função de logaritmo, possibilitada previamente como opção para análise dos dados, para que assim o programa pudesse prover uma melhor distribuição desses dados. Neste caso, optou-se em utilizá-la porque quando as precipitações ocorriam, estas eram bastante esparsas e próximas a zero.

O mapa obtido como resultado da análise dos dados pelo SOM pode ser dimensionado (calculado) a partir da regra heurística (VESANTO et al., 2000; PARK et al., 2006; CÉRÉGHINO; PARK, 2009) evidenciado no trabalho de Carneiro et al. (2012), no qual se utiliza a equação $5 \cdot \sqrt{n} = 400$, onde n é igual ao número de variáveis e 400 a constante da qual o resultado da equação deverá se aproximar.

Para o total de 5.760 amostras analisadas (omitidas), onde n é igual ao número de variáveis, ou seja, $n = 419$:

$$5. \sqrt{419} = 379,473$$

Conforme citado por Carneiro et al. (2012), os parâmetros de configuração e processamento SOM foram escolhidos para este estudo da seguinte forma: o espaço de dados foi iniciado ou semeado aleatoriamente e foi escolhida uma rede hexagonal para sua exposição. Junto, também foi escolhida uma superfície para a projeção da BMU, de modo que esta possa ser visualizada em forma toroidal. Assim, é possível observar os resultados obtidos no plano de 2D em 3D, pois do ponto de vista geométrico, esta forma geométrica tenta preservar o máximo possível a informação de distâncias dentro do conjunto de dados original.

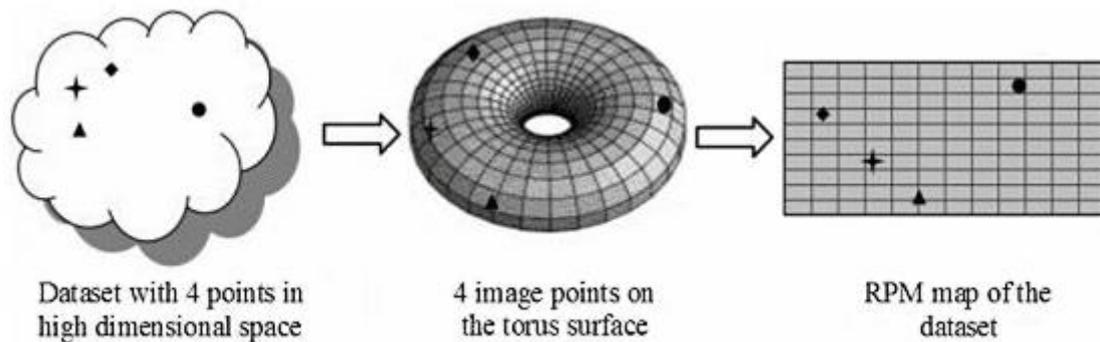


Figura 17 - Espacialização dos dados no toroide

Fonte: Li (2004).

Após a experimentação, um tamanho de mapa de 46 linhas \times 40 colunas foi escolhido, assim como também foi de sete o número de grupos utilizados como os dados de saída finais SOM.

Para a visualização da distribuição espacial dos dados de saída do SOM, os valores de saída dos grupos, foram em grade, utilizando o método do "vizinho mais próximo".

4.3 PROCESSAMENTO E PREDIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Feito o primeiro processamento dos dados denominado de Análise-A (An-A) pelo SiroSOM, coube a comparação e análise dos resultados obtidos pelo programa. Este primeiro teste obteve resultados preliminares para que, posteriormente, fossem feitas novas combinações de dados e arranjos na tabela com a finalidade de se buscar resultados mais eficientes.

Como o tempo cronológico é uma variável cíclica e a inserção das ocorrências em forma de binários para os dias, meses e anos geraram uma informação extremamente extensa, sua inserção como binário aparentemente influenciado pelos dados temporais geraram um ruído grande às bases de dados. A escolha da binarização de dados temporais aumentou muito a dimensão dos dados, gerando maior dificuldade de convergência dos resultados devido à baixa quantidade de amostras. O erro topográfico médio apresentado nos resultados está diretamente correlacionado à quantidade de amostras e ao número de grupos, pois é medido como a proporção dos dados em que os BMUs são adjacentes ao longo das interações. Houve também um erro de quantização, representado pela distância média entre os dados e os BMUs, que mede a resolução do mapa.

Em uma segunda análise, denominada de Análise-B (An-B), os mesmos dados foram analisados, porém desta vez sem a influência da variável temporal binária.

Desse modo, o programa respondeu gerando as previsões esperadas e obteve-se uma Matriz-U (matriz de distância unificada). Esta é uma das possíveis representações de um mapa auto-organizado, onde a distância euclidiana entre os vetores e seus vizinhos é representada em uma imagem em escala de cores, ou em tons de cinza. É possível, através desta imagem, visualizar com maior facilidade os dados do espaço n-dimensional usando uma imagem 2D.

Quando tais distâncias são representadas em uma imagem colorida, as cores representam vetores dos nós espaçadas e se agrupam onde existem suas similaridades. Grupos (*clusters*) de cores claras podem ser considerados como grupos de maior similaridade entre si e as partes escuras como os limites entre os grupos.

Essa representação pode ajudar a visualizar os grupos nos espaços n- dimensionais (ULTSCH; SIEMON, 1990), onde foi possível ver nitidamente os agrupamentos das variáveis mais representativas e correlacionáveis, bem como aquelas que possuem baixa ou nenhuma similaridade. Também foi gerado um mapa de Matriz-UWH (*With Hits*), ou seja, com pontos, onde é possível observar os BMUs, que são os vetores mais representativos para cada variável analisada e agrupada pelo SOM.

Assim, cada BMU na U-Matrix contém a medição da característica “similaridade vetorial” entre unidades de neurônios adjacentes. Os dados sem valores são adicionados a esta matriz e ao final ela se apresenta em uma escala decore de temperatura, onde as cores frias (com tons em azul) indicam maior similaridade, ou proximidade entre nós adjacentes, e as cores quentes (em tons de amarelo, laranja e vermelho) indicam uma crescente dissimilaridade, ou seja, distância entre os grupos. O tamanho dos nós hexagonais em uma U-Matrix muda de acordo com o número de amostras.

Posterior aos resultados acima analisados, deu-se início à 3ª fase da primeira rodagem, denominada de Análise C (An-C). Aqui, optou-se por omitir novamente os dados temporais binários e substituir a variável I (PRP) por uma nova variável, de importância significativa e cujas tabelas apresentassem grande quantidade de dados. Foi escolhida a PA (Pressão Atmosférica) por sua importância para ajuste barométrico e grande quantidade de dados coletados. Assim, as novas três variáveis foram denominadas de II, III e IV. São elas:

II – VV (velocidade do vento)

III – DV (direção do vento)

IV – PA (pressão atmosférica)

Os demais procedimentos foram exatamente os mesmos e, como resultado, obteve-se novamente uma Matriz-U mostrando os agrupamentos das variáveis mais representativas e correlacionáveis, e os demais, que possuem baixa ou nenhuma similaridade. Foi também gerado um mapa de Matriz-U-WH, onde se

observaram os BMUs, que são os vetores mais representativos para cada variável analisada e reagrupada pelo SOM.

O estágio de treinamento deu-se de modo que o arranjo fosse distribuído da maneira apresentada na Tabela 15 para cada uma das análises:

Tabela 15 - Estágio de treinamento

ESTÁGIO DE TREINAMENTO								
	lr		Fr		TL		qe	te
	Rough (raíz)	Fine (final)	Rough (raíz)	Fine (final)	Rough (raíz)	Fine (final)		
An-A	25	7	7	1	20	400	9.60	0.08
An-B	25	7	7	1	20	400	9.67	0.07
An-C	25	7	7	1	20	400	9.54	0.137

lr = Raio inicial (initial radius)

Fr = Raio final (final Radius)

TL = comprimento (training length)

qe = Erro de quantização final (final quantization error). É a distância média entre cada vetor de dados e sua BMU e é medida de resolução de mapa

te = Erro topográfico final (final topographic error). É a proporção de todo o vetor de dados que a primeira e a segunda BMU não são unidades adjacentes

Fonte: elaborado pelo autor (2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE INMET

Os resultados obtidos através da análise do SOM estão descritos na Figura 18.

Dentre eles estão uma Matriz-U e uma Matriz-UWH (com pontos).

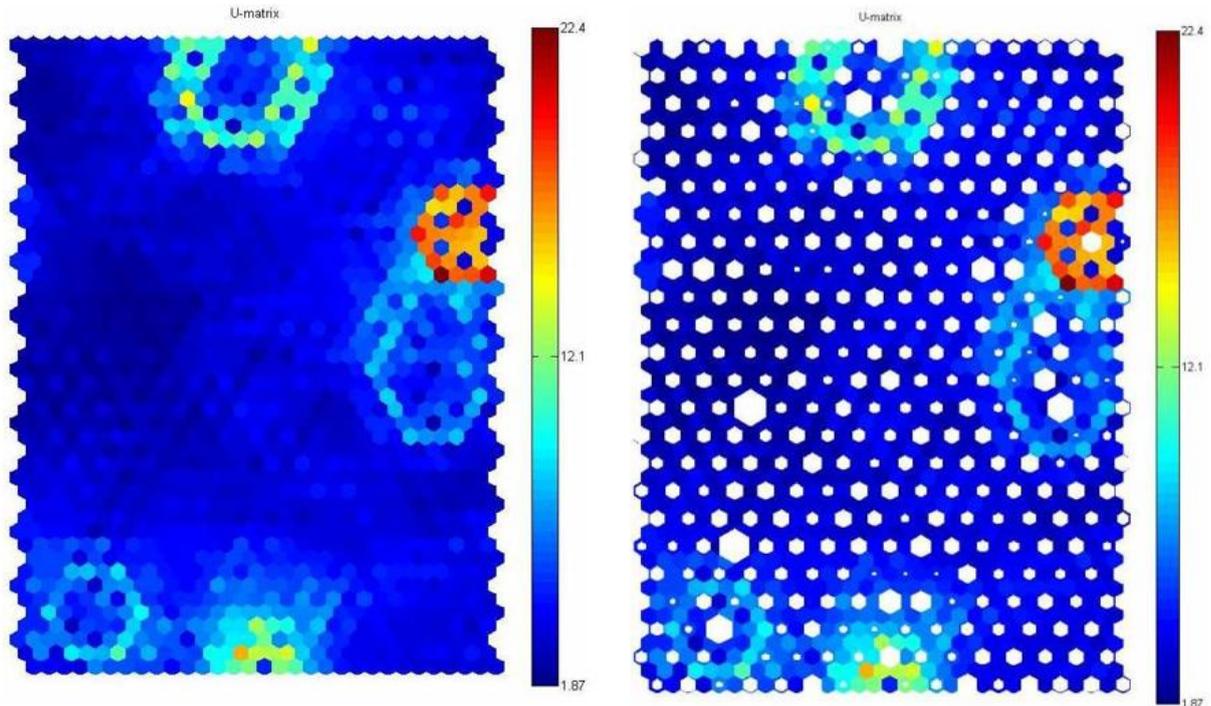


Figura 18 - Matriz-U e Matriz-U-WH-INMET

Fonte: extraído do software (2015).

Observa-se na Figura 18 notória dissimilaridade entre cinco grupos, onde três apresentam maior distância entre os resultados. Os grupos em cores quentes evidenciam sua baixa similaridade aos padrões obtidos pelo SOM. No entanto, a análise da matriz com os pontos brancos (White Hits) mostra como o peso dos vetores influencia na similaridade entre os conjuntos vizinhos e como estes se comportam perante o peso e influência dos outros dados. Nota-se que por maior que seja a dissimilaridade entre o grupo apresentado em cores quentes no canto superior direito do gráfico, há entre os dados desse mesmo grupo alguns que coincidem e tornam a relação entre seus resultados possível (grupo de 7 hexágonos azuis).

Obteve-se uma nova tabela com o preenchimento dos dados suprimidos para cada um dos 30 municípios analisados pelo SOM, bem como o preenchimento de todos os dados faltantes originalmente. Esta nova tabela gerada pelo SOM criou um número de “B-variável”, ou seja, uma “Melhor Variável”, para cada um dos dados apresentados inicialmente em um rearranjo que ofereceu uma melhor leitura do banco de dados na visão do programa. Através destes resultados, foi feita a análise que resultou em gráficos de correlação para cada uma das variáveis suprimidas, ou seja,

para precipitação, direção e velocidade do vento (variáveis anteriormente chamadas de I, II e III).

Para cada uma das 5.760 variáveis omitidas, foram gerados 24 gráficos de correlação (um para cada hora do dia) comparando as medidas reais, ou seja, aquelas pré-existentes no banco de dados, com as preditas pelo SOM. Nesta análise, os resultados obtidos não foram satisfatórios, como mostra a Tabela 16 com os resultados das análises do Coeficiente de Correlação (R^2) para cada um dos itens analisados.

Tabela 16 - Resultados das análises

HORA	R ² PRP	R ² DV	R ² VV
00:00	0.0806	0.0926	0.2967
01:00	0.159	0.08	0.3268
02:00	0.2148	0.0894	0.3424
03:00	0.1799	0.0901	0.37
04:00	0.1686	0.0839	0.3931
05:00	0.2213	0.0891	0.399
06:00	0.2054	0.0918	0.3973
07:00	0.2076	0.0883	0.3921
08:00	0.1546	0.0997	0.3986
09:00	0.105	0.094	0.4108
10:00	0.0919	0.0854	0.416
11:00	0.3638	0.1119	0.4136
12:00	0.3107	0.1465	0.3984
13:00	0.2676	0.1629	0.3581
14:00	0.2053	0.1701	0.3255
15:00	0.1301	0.1441	0.2996
16:00	0.1255	0.1444	0.2595
17:00	0.0743	0.1244	0.22
18:00	0.0941	0.1164	0.2099
19:00	0.0905	0.1166	0.2394
20:00	0.1032	0.1143	0.2682
21:00	0.0823	0.1904	0.2756
22:00	0.0756	0.1569	0.2498
23:00	0.0634	0.13	0.1156

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

A Figura 19 representa uma análise em gráfico da Tabela 16 e evidencia que os valores do r^2 para todas as variáveis ficaram abaixo do esperado, não superando valores maiores de 0,416.

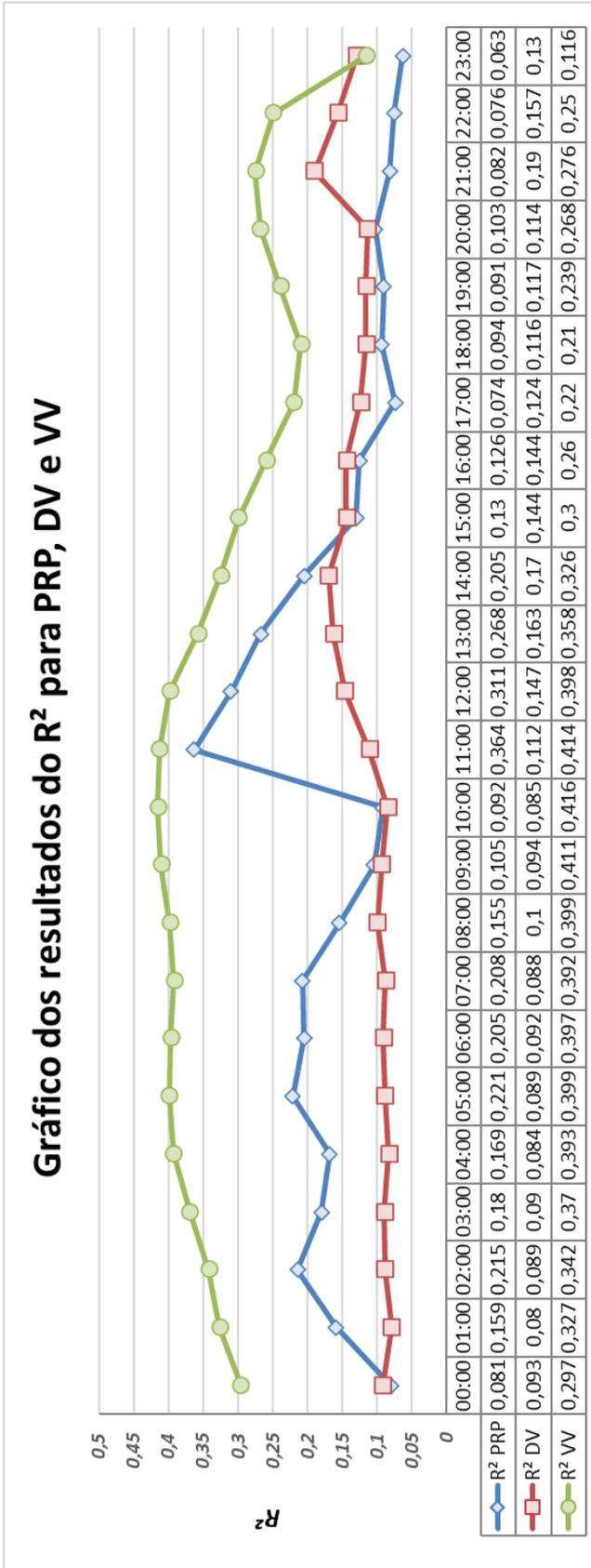


Figura 19 - Resultados do r² para PRP, DV e VV
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Os máximos valores de r^2 obtidos, para cada uma das variáveis analisadas, foram precipitação às 11:00h e com o valor de 0,3638, direção do vento às 21:00h com valor de 0,1904 e velocidade do vento às 11:00h como valor de 0,4136.

Na Figura 20, são apresentados os gráficos de correlação aos períodos de 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z, exemplificando como se comportaram os gráficos das 24 horas do dia para os dados de precipitação.

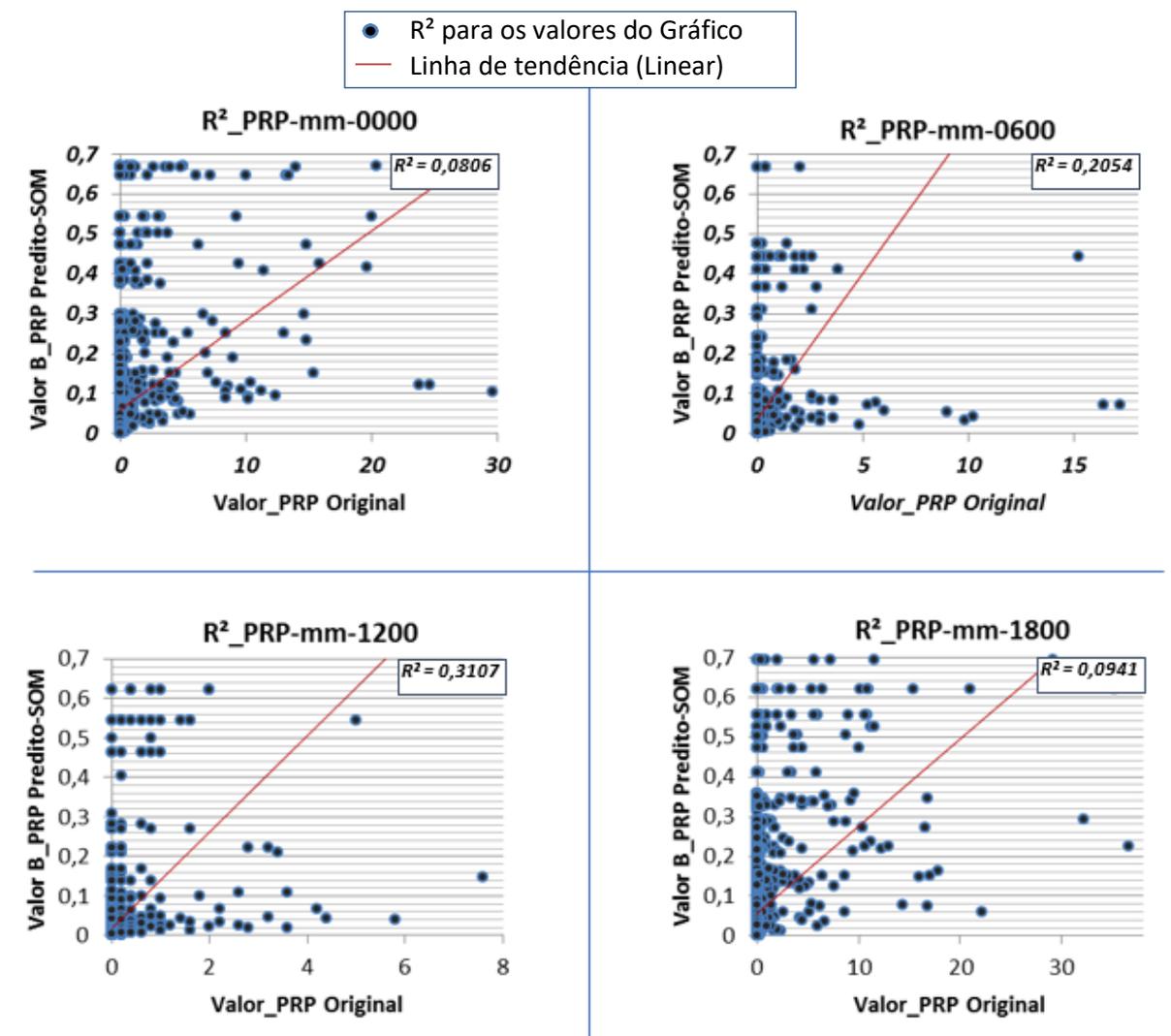


Figura 20 - Cálculo do r^2 para dados de precipitação
Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Nota-se que a dispersão dos pontos não é linear e que os dados não apresentaram bons resultados, sendo que o valor do r^2 mais próximo a 1,0 foi o valor de 0,4136 obtido para as 11:00Z.

Na Figura 21, são apresentados os gráficos de correlação referentes aos períodos de 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z, exemplificando como comportaram-se os gráficos das 24 horas do dia para os dados de velocidade do vento.

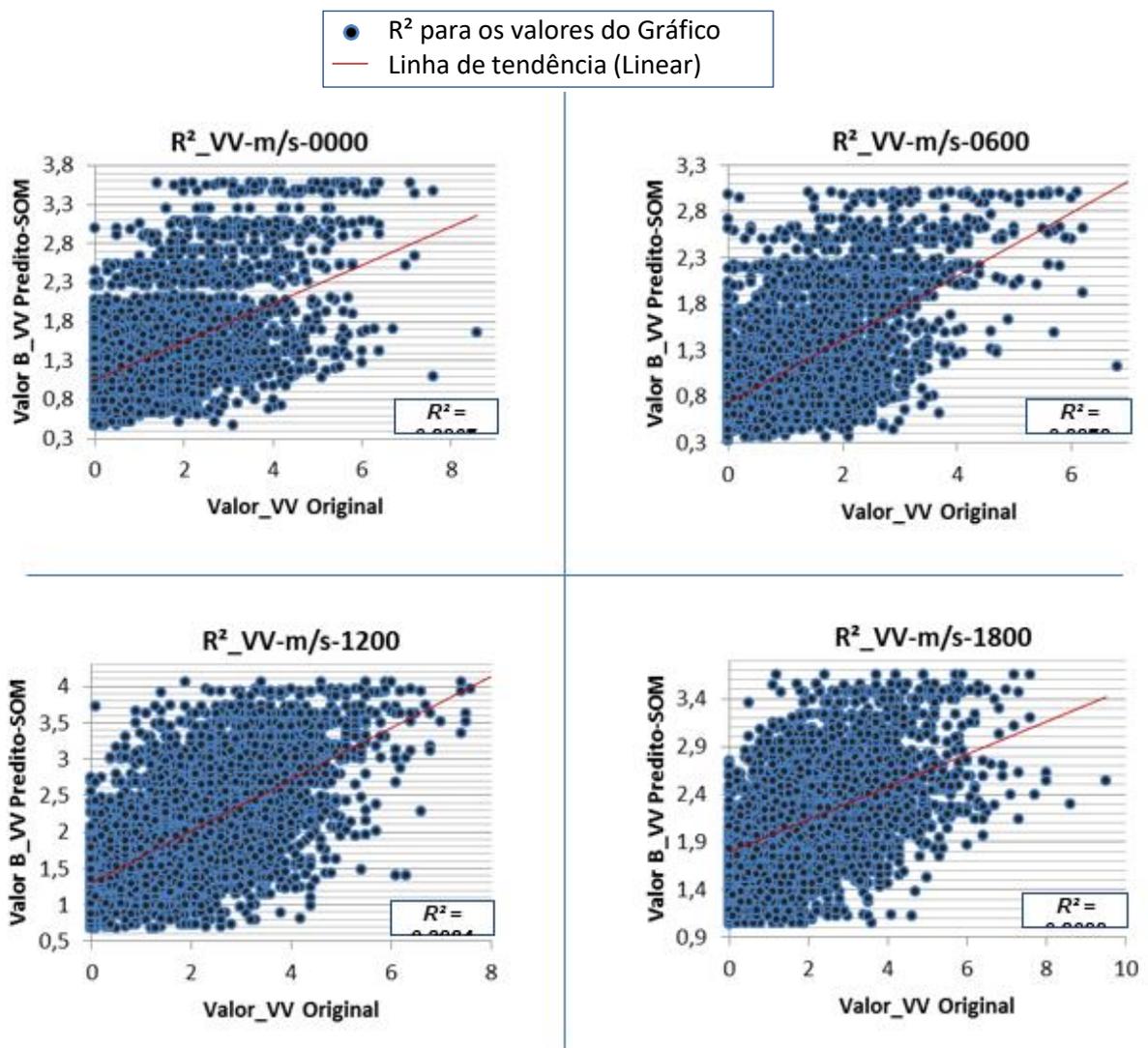


Figura 21 - Cálculo do r^2 para dados de velocidade do vento
Fonte: elaborado pelo autor (2016)

Notamos que a dispersão dos pontos apesar de mais linear do que o resultado apresentado nos dados anteriores, foram muito espalhado e ainda insatisfatórios, sendo que o valor mais próximo a 1,0 obtido foi de 0,1904 para as 21:00Z.

Na Figura 22, são apresentados os gráficos de correlação referentes aos períodos de 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z, exemplificando como comportaram-se os gráficos das 24 horas do dia para os dados de direção do vento.

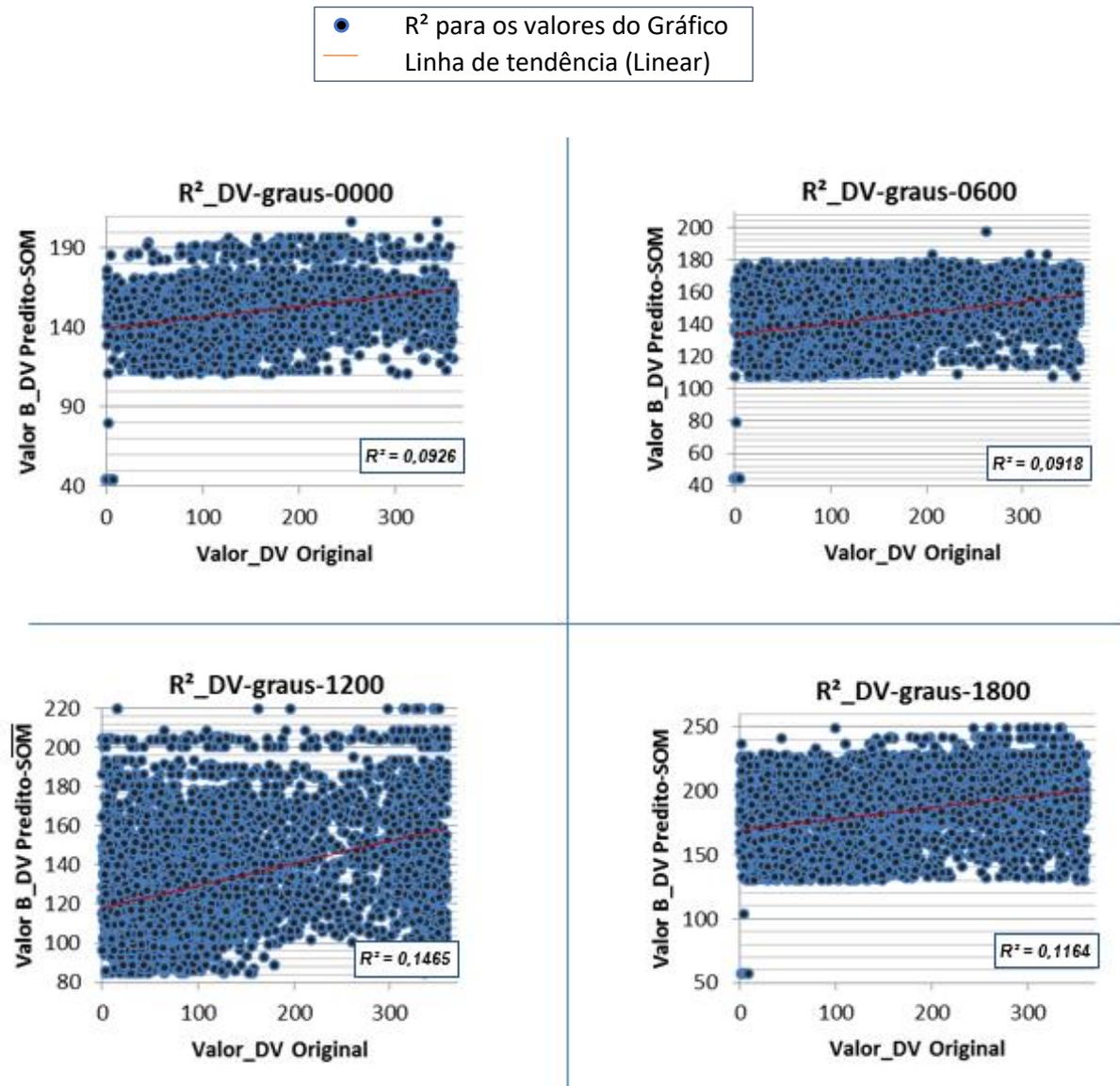


Figura 22 - Cálculo do r² para dados de direção do vento
Fonte: elaborado pelo autor (2016)

A dispersão dos pontos também foi irregular para os resultados do cálculo do r^2 e não satisfatórios quando comparados aos valores que deveriam chegar próxima 1, sendo o mais satisfatório de 0,1904 para as 21:00Z.

Outra maneira para a análise da DV foi observar o resultado buscando uma similaridade pela setorização geográfica desses resultados, com a direção do vento baseada na subdivisão da rosa dos ventos e seus pontos cardeais e colaterais.

Como para a aviação é possível que o vento seja informado em relação a sua direção geográfica, dividiu-se a rosa dos ventos em oito quadrantes de 45° para cada ponto cardinal e colateral, sendo 22,5° para cada lado do eixo do respectivo ponto. Assim, foi possível analisar se há uma correspondência no sentido em que este predominava.

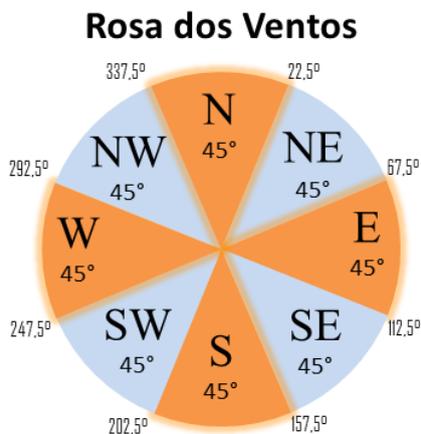


Figura 23 - Setorização de quadrantes para análise do vento
Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Os resultados obtidos a partir desta ótica foram mais satisfatórios, conforme exemplificado também nas quatro horas analisadas ao longo de todo o dia (00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z). Os resultados foram transportados para uma tabela (Tabela 17) onde pode-se observar nas colunas o código da estação e as horas observadas, tendo-se à esquerda o dado original e à direita o resultado predito. Os resultados estão representados em um esquema de cores que facilitam a identificação dos resultados,

pois indica se estes são próximos aos quadrantes dos dados originais e, conseqüentemente, se estão, como se espera, próximos da realidade:

- **Verde** - há correspondência, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM encontram-se no mesmo quadrante.
- **Laranja** - há proximidade, vizinhança, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM se encontram em quadrantes vizinhos.
- **Vermelho** - não há proximidade, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM divergem a ponto destes valores não corresponderem nem mesmo ao seu quadrante vizinho.

Tabela 17 - Análise da direção dos ventos por setorização de quadrantes

CÓDIGO	QUADRANTE- 00Z	β_QUADRANTE 00Z	QUADRANTE- 06Z	β_QUADRANTE 06Z	QUADRANTE- 12Z	β_QUADRANTE 12Z	QUADRANTE- 18Z	β_QUADRANTE- 18Z
736	NE	S	SE	SE	E	SE	SW	S
725	NULL	SE	NULL	SE	SE	E	SE	S
741	E	S	SE	S	SE	E	SE	S
746	E	S	E	S	SE	S	SE	S
748	E	S	E	S	SE	S	SE	S
755	S	SE	S	SE	SE	SE	S	S
705	E	SE	SE	SE	E	E	SE	S
706	NULL	S	NULL	S	NULL	S	NULL	S
738	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SW	S
708	NW	S	S	S	SW	SE	N	S
737	NE	SE	E	SE	E	E	SE	S
714	NE	S	SE	SE	E	SE	SW	S
739	NW	S	S	S	S	S	E	SW
753	N	SE	SW	S	NE	S	E	SW
733	NE	SE	NE	SE	NE	SE	SE	S
735	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S
727	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
745	NULL	SE	NULL	E	NULL	E	NULL	SE
716	E	SE	E	SE	SE	SE	SE	SE
726	SE	SE	SE	SE	SE	S	SE	S
747	SE	SE	S	SE	S	SE	S	S
707	SE	SE	E	SE	E	SE	SE	S
718	NW	SE	SE	SE	SE	SE	NULL	S
711	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SW
740	S	S	S	SE	S	S	S	S
715	SE	SE	S	SE	SE	SE	SE	SE
701	SE	SE	SE	SE	S	SE	S	SW
713	SE	SE	S	SE	S	SE	S	SE
728	S	SE	NW	SE	SE	SE	SW	S

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Observando os testes aplicados com base na setorização dos ventos, podemos notar que dos 120 modelos ocultados para que se obtivesse a previsibilidade da direção dos ventos pelo SOM, obtiveram-se os seguintes resultados:

Às 00:00Z para os 30 municípios analisados, foram 15 resultados de “não vizinhos”. Neste caso, foi considerado que quando o banco de dados era falho, ou seja, quando apresentado o dado *NULL*¹¹, este foi considerado como “não vizinho”; cinco foram considerados como “vizinhos” e dez foram considerados do “mesmo setor”.

Para os horários das 06:00Z, dos 30 municípios, foram sete resultados para “não vizinhos”; 11 para os resultados “vizinhos” e 12 para o “mesmo setor”.

Para o horário das 12:00Z, dos 30 municípios, foram cinco “não vizinhos”; oito para “vizinhos” e 17 “mesmo setor”.

Para o horário das 18:00Z, dos 30 municípios, foram sete “não vizinhos”; 13 “vizinhos” e 10 resultados para o “mesmo setor”.

Levando-se em consideração que, quando o vento for no mínimo vizinho ao seu quadrante, há uma boa margem para se identificar a direção do vento e a cabeceira em uso para um eventual pouso em uma pista desprovida de facilidades.

Assim, podemos considerar que das 120 análises supracitadas dos exemplos acima, obtivemos um total de 34 resultados para não vizinhos, equivalente a 28,33% das amostras. Um total de 86 resultados, somando-se os resultados “vizinhos” e “mesmo setor”, totalizando 71,66% das amostras.

Na última análise denominada de Análise C (An-C), similar a An-2, como resultado esperado, também foi obtida uma nova tabela com o preenchimento dos dados suprimidos para cada um dos 30 municípios analisados pelo SOM, e o preenchimento de todos os dados faltantes originalmente, cujos valores foram atribuídos pelo próprio SOM, que também criou um B-Variável para cada um dos dados apresentados inicialmente em um rearranjo que ofereceu uma melhor leitura do banco de acordo com os cálculos do programa. Foram elaborados, também, gráficos de correlação para a nova variável suprimida, que neste caso fora a IV (PA)

¹¹ NULL significa que os dados originais são faltantes (nulos), seja por problema técnico durante a sua coleta, seja por falha da estação meteorológica. Não constam nos bancos de dados originais.

Pressão Atmosférica. Na Figura 24 tem-se os resultados da Matriz-U e uma Matriz-UWH (com pontos).

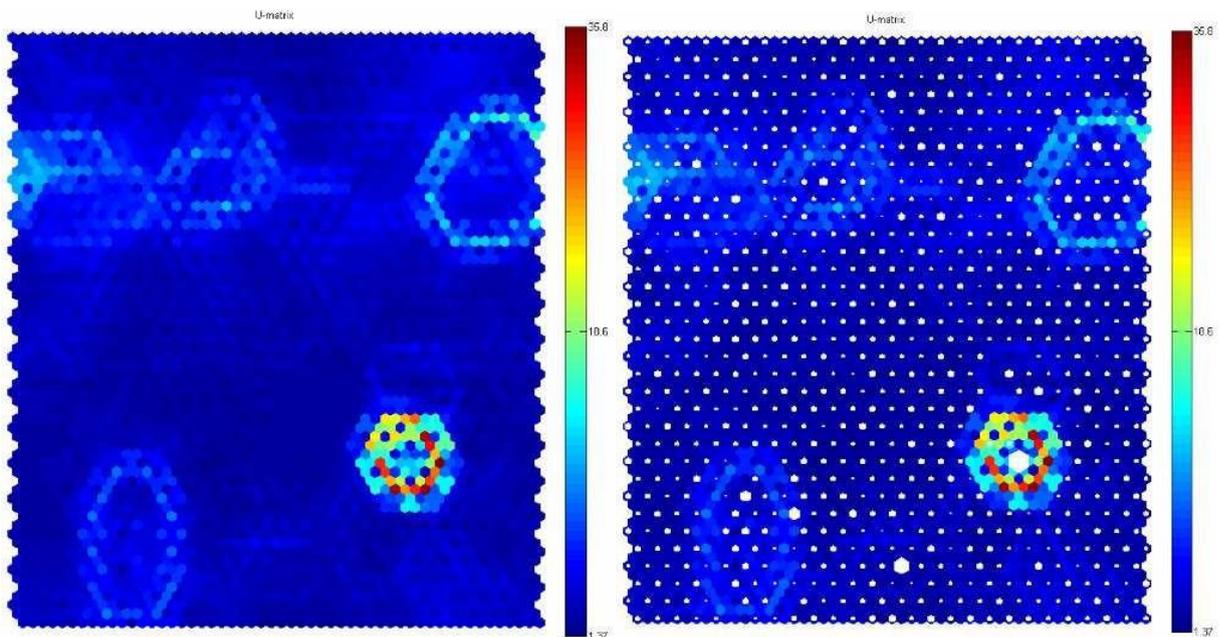


Figura 24 - Matrix-U e Matrix-UWH INMET-2
 Fonte: extraído do software (2015).

Nota-se na Figura 24 acima uma dissimilaridade também entre 5 grupos, com destaque para 2 que apresentam maior distância entre os resultados. O grupo mais evidente e que tem maior destaque em cores quentes (à esquerda e embaixo do gráfico), e são referentes aos resultados obtidos por dissimilaridade. No entanto, a análise da matriz com os pontos brancos (White Hits) mostra como o peso dos vetores influencia na similaridade entre os conjuntos vizinhos e como estes se comportam perante o peso e influência dos outros dados. Notamos que, assim como na análise da Figura 18, há uma significativa similaridade entre os dados apresentados, exceto pelo grupo destacado em cores quentes, que são bem delimitados, em relação aos demais.

Os gráficos de correlação apresentados para os novos resultados obtidos em PA mostraram-se satisfatórios, conforme demonstrados a seguir.

Na Figura 25, são apresentados os gráficos de correlação referentes aos períodos de 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z, exemplificando como comportaram-se os gráficos das 24 horas do dia para os dados de pressão atmosférica.

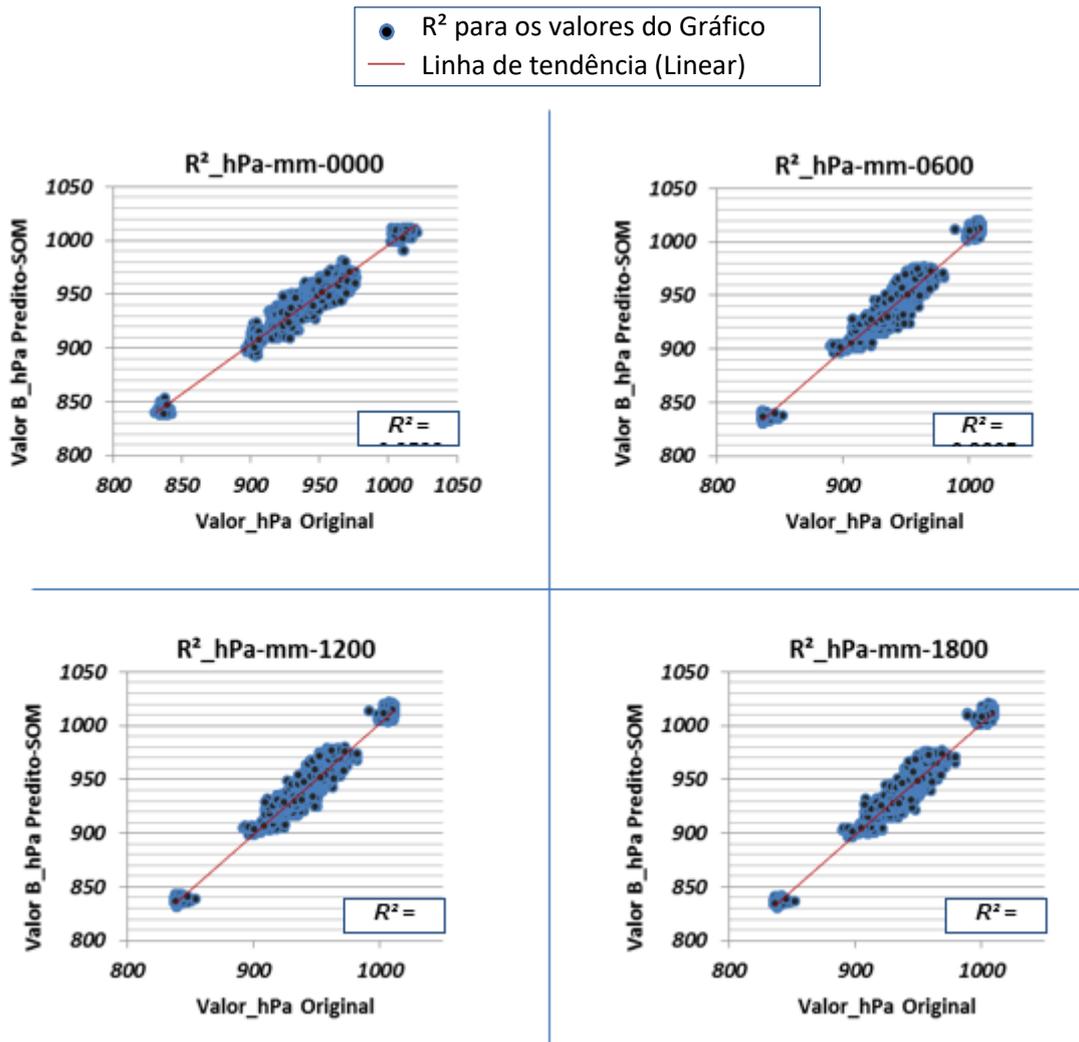


Figura 25 - Cálculo do r^2 para dados de pressão atmosférica
Fonte: elaborado pelo autor (2016)

Nestes gráficos, a dispersão dos pontos é linear e concentrada, apresentando resultados satisfatórios para a análise, onde os valores são muito próximos a 1.0, com uma média do r^2 de 0,98 e o seu maior valor observado para as 18:00Z, chegando a 0,9822. Isso, possivelmente, se deu devido à grande quantidade de informações presentes nas tabelas originais. De todos os outros itens analisado, a pressão atmosférica foi a que menos apresentou lacunas, ou valores faltantes.

A Tabela 18 apresenta como os valores de r^2 para a pressão atmosféricas foram bastante satisfatórios para os resultados, muito próximos aos valores originais coletados. Os resultados ficaram próximo a 1,0 sendo que o valor mínimo do r^2 para a Pressão Atmosférica foi de 0,9588 às 19:00h e o valor máximo foi de 0,9614 para às 10:00h.

Tabela 18 - Resultados das análises

HORA	QNH
00:00	0.9599
01:00	0.9603
02:00	0.9605
03:00	0.9606
04:00	0.9602
05:00	0.9601
06:00	0.9605
07:00	0.9606
08:00	0.9609
09:00	0.9609
10:00	0.9614
11:00	0.961
12:00	0.9599
13:00	0.9594
14:00	0.9593
15:00	0.9591
16:00	0.9592
17:00	0.9591
18:00	0.959
19:00	0.9588
20:00	0.9591
21:00	0.9592
22:00	0.9593
23:00	0.9594

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

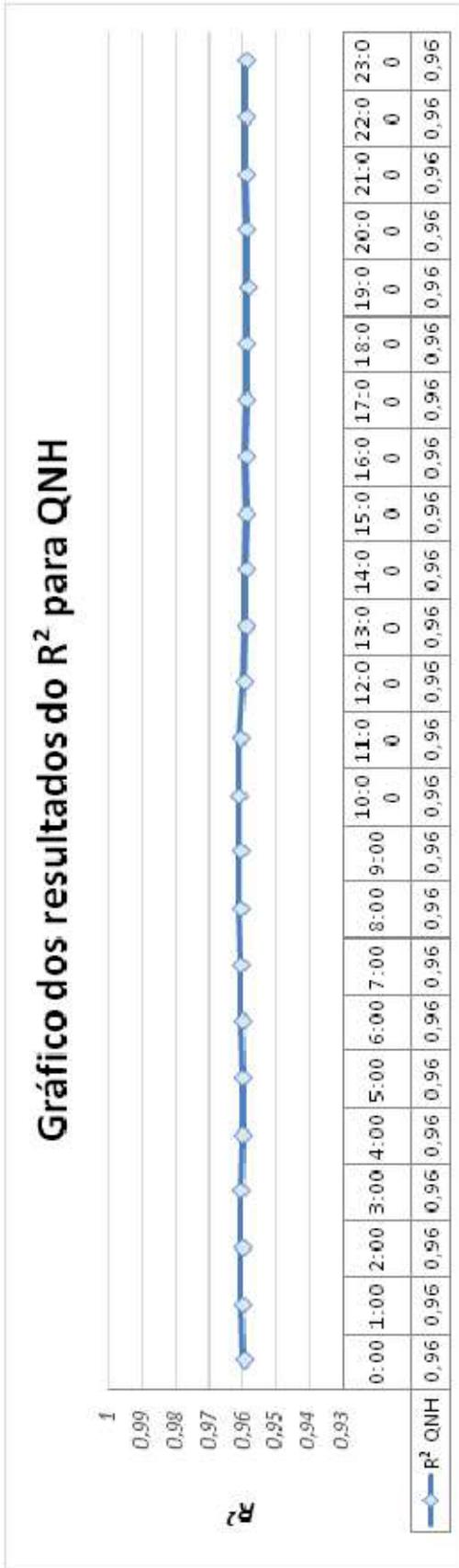


Figura 26 - Resultados do r^2 para QNH
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

5.2 ANÁLISE METAR

Dos resultados obtidos através da análise SOM para o banco OPMET, onde encontravam-se os dados METAR, similar à análise anterior, obtivemos uma Matriz-U mostrando a similaridade entre as variáveis presentes e uma Matriz-UWH, demonstrando onde há maior similaridade entre os nós. Estas análises foram similares às dos dados INMET, porém, nesta etapa, utilizou-se um banco de dados mais restrito, apenas valendo-se dos dados METAR. Os resultados das matrizes encontram-se na Figura 27.

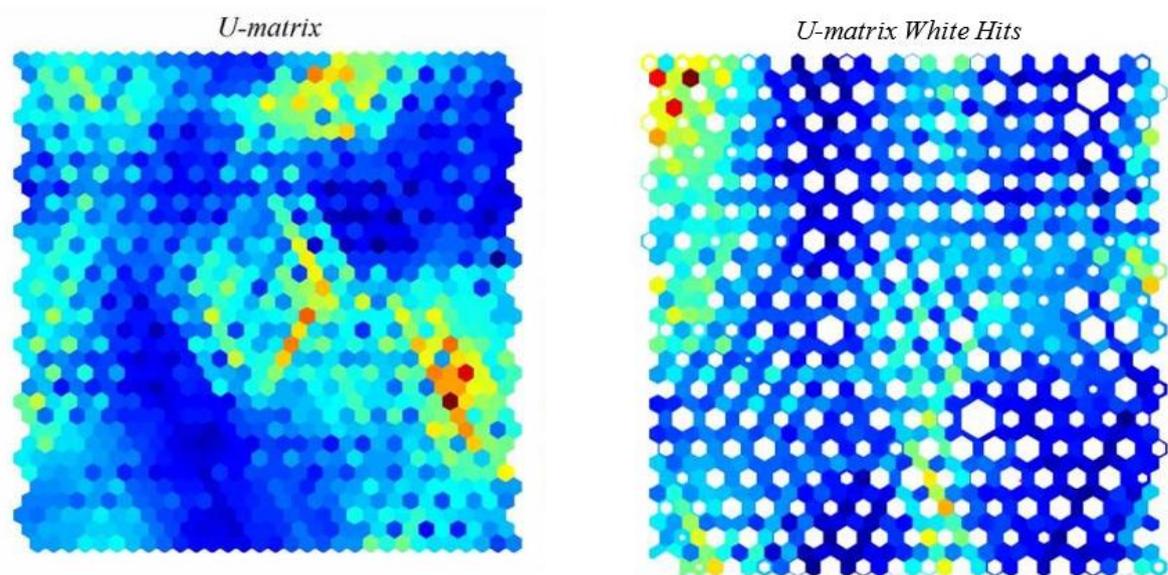


Figura 27 - Matriz-U e Matriz-UWH-METAR
Fonte: elaborado pelo autor (2015).

Em comparação à Matrix-U gerada para a análise dos dados INMET, percebe-se que esta matriz é mais descontínua, com menor similaridade entre os dados, dadas as cores mais suaves em tons de ciano e verde.

Nesta análise, obteve-se também uma nova tabela com o preenchimento dos dados suprimidos para cada um dos 16 aeroportos analisados, bem como o preenchimento de todos os dados faltantes originalmente através de um B_Value, também chamado de “best-variável” (melhor variável). Ou seja, um valor mais adequado de acordo com o SOM para cada um dos dados apresentados inicialmente em um rearranjo que ofereceu uma melhor leitura do banco de dados. Porém,

observa-se uma grande dissimilaridade entre os resultados obtidos pelos valores de “best-value”, ou seja, os melhores valores encontrados pelo programa, divergindo do original. Através destes resultados, foi feita também uma análise de correlação em gráficos de r^2 para cada uma das variáveis supridas, que, neste caso, foram direção do vento (DV), velocidade do vento (VV) e pressão atmosférica local (QNH), pois o QNH foi o mais representativos dos resultados nos dados INMET. No entanto, esses gráficos de r^2 não apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que estes estão longe da predição ideal próxima aos resultados originais.

Para os dados de DV, o melhor valor das amostras encontrado para o r^2 foi de 0,0008 para as 19:00Z e o pior valor foi de 0,0514 para as 12:00Z. Para os valores de VV, o valor máximo do r^2 encontrado foi das 0,6016 às 15:00Z e o valor mínimo foi de 0,0001 para as 20:00Z. Para a variável de pressão atmosférica QNH, o máximo valor do r^2 foi de 0,0737 as 10:00Z e o valor mínimo do r^2 0,0493 para as 16:00Z.

A análise dos dados METAR, mostra que os dados apresentados deste modo não corresponderam de maneira satisfatória para que o SOM conseguisse uma predição mais fiel à realidade para a elaboração de dados PROMETAR. Possivelmente, uma nova e prévia análise dos dados apresentados possa minimizar os problemas encontrados.

A Tabela 19 dos resultados contendo os valores de todos os r^2 para DV, VV e QNH encontra-se a seguir. Uma vez que os gráficos de r^2 apresentam o mesmo padrão para as variáveis e período analisados, serão apresentados quatro deles mais detalhadamente para cada quarto de hora do dia (00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z).

Tabela 19 - Resultados do cálculo r^2 para as variáveis DV, VV e QNH

HORA	R ² DV	R ² VV	R ² QNH (CONTÍNUA)
00:00	0.0031	0.0039	0.0731
01:00	0.0013	0.073	0.0705
02:00	0.0031	0.0129	0.0646
03:00	0.0052	0.0175	0.061
04:00	0.0214	0.0268	0.0635
05:00	0.0105	0.0272	0.0632
06:00	0.0131	0.0187	0.065
07:00	0.034	0.0282	0.0659
08:00	0.0394	0.0165	0.0685
09:00	0.0031	0.0221	0.0714
10:00	0.0098	0.0178	0.0737
11:00	0.0125	0.0277	0.0695

HORA	R ² DV	R ² VV	R ² QNH (CONCLUSÃO)
12:00	0.0514	0.024	0.0637
13:00	0.0377	0.0339	0.0585
14:00	0.0043	0.0275	0.0522
15:00	0.0013	0.0616	0.0527
16:00	0.0009	0.0457	0.0493
17:00	0.0016	0.0479	0.0526
18:00	0.0014	0.0315	0.0552
19:00	0.0008	0.0157	0.0554
20:00	0.0178	1,00E0	0.0592
21:00	0.0137	0.0014	0.0604
22:00	0.0038	0.0023	0.0627
23:00	0.0156	0.0017	0.0656

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

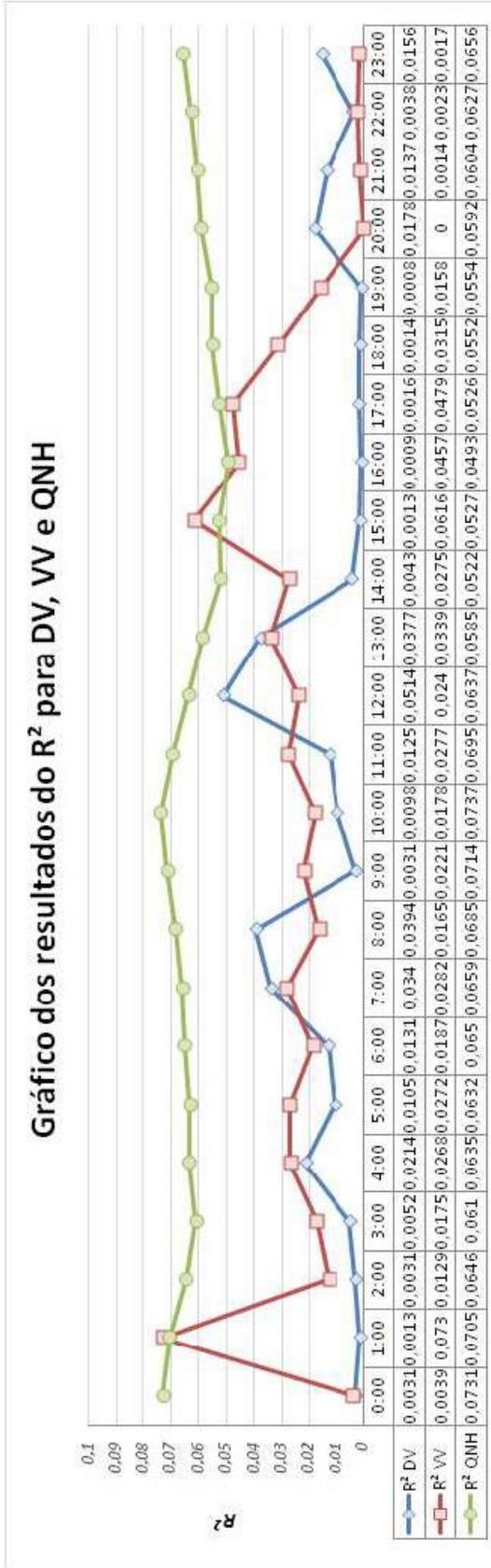


Figura 28 - Resultados do r² para DV, VV e QNH
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

A Figura 28 representa uma análise em gráfico da Tabela 19 e evidencia que os valores do r^2 para as variáveis ficaram também abaixo do esperado, tal como observados nos resultados da Tabela 16, com valores muito próximos a zero. Os máximos valores de r^2 obtidos para cada uma das variáveis analisada, foi de direção do vento as 12:00h e com o valor de 0,0514, velocidade do vento a 01:00 com valor de 0,0773 e pressão atmosférica as 10:00h com o valor de 0,0737.

Foram também gerados dois gráficos para os dados produzidos, sendo um em 2D e outro em 3D, mostrando a correlação feita pelo SOM entre os dados de DV em graus e outras componentes como sua intensidade temperatura do ar, pressão atmosféricas entre outros, escolhidos aleatoriamente pelo software, sendo que os resultados mais relevantes estão destacados em vermelho (Figura 29). Nota-se que há uma dissimilaridade, ou seja, uma baixa relevância entre a maioria das variáveis e a predição do DV, como pode ser observado a seguir. A Figura 29 representa a correlação entre a DV e as outras componentes, em que aparecem todos os gráficos para as quatro horas especificamente estudadas neste caso.

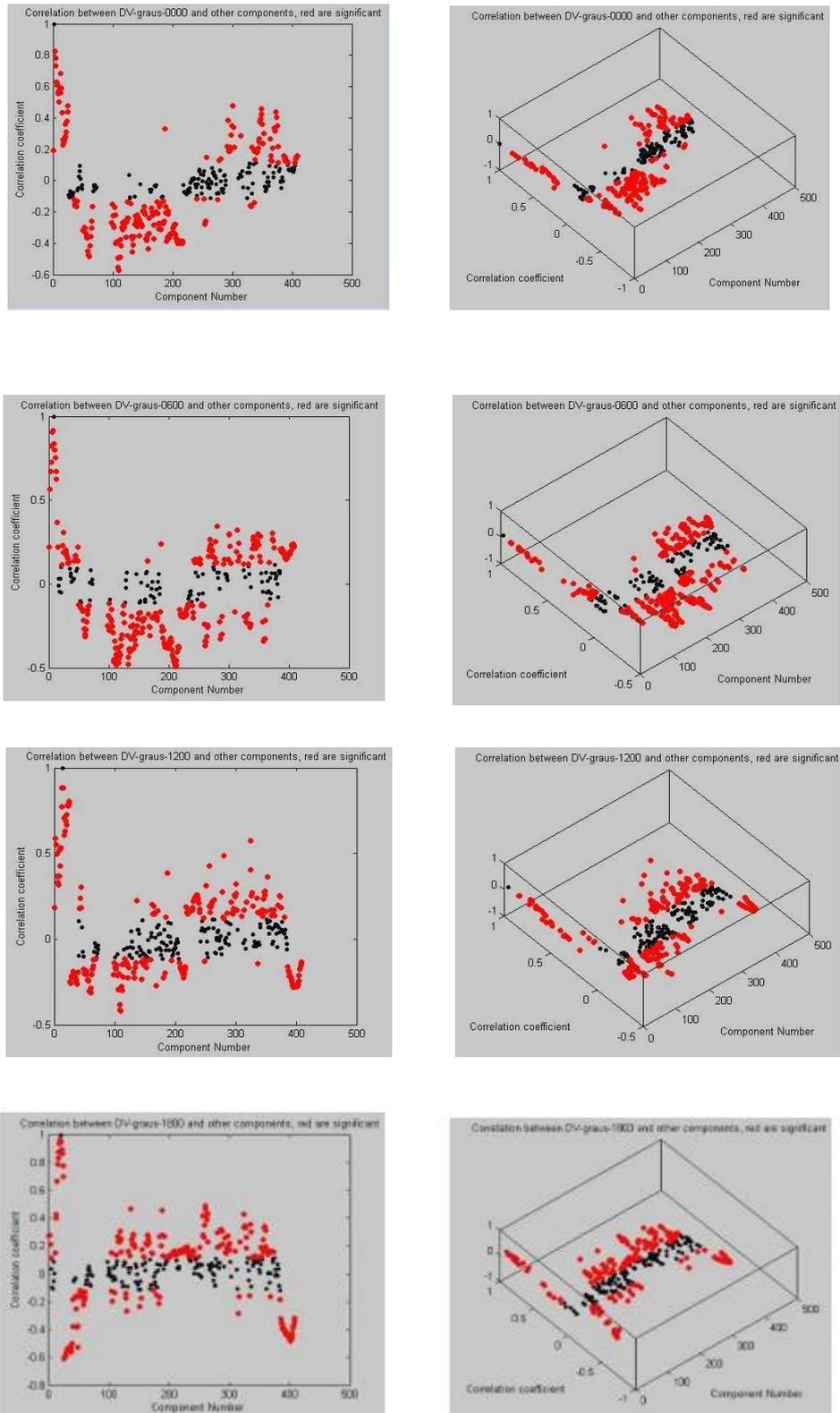


Figura 29 - Gráficos de correlação em 2D e 3D para a variável DV e outras componentes
 Fonte: extraído do software (2016).

5.2.1 ANÁLISE DA DIREÇÃO DO VENTO

A fim de manter o padrão de análise dos dados INMET, utilizou-se também a tabela para análise da DV pela setorização da direção dos ventos em quadrantes subdivididos a cada 45°, tendo como referência a rosa dos ventos para a observação de sua predominância. A subdivisão dos quadrantes em oito frações de 45° está anexa a cada uma das tabelas estudadas para cada quarto de hora analisado. Trata-se da mesma utilizada anteriormente com o padrão de classificação mostrado nas análises INMET.

Os dados obtidos para as quatro horas analisadas ao longo do dia (00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z) foram transportados para uma tabela a fim de identificar se o vento registrado no banco de dados original (OPMET) correspondia com o previsto para a análise SOM. Os resultados estão representados a seguir em um esquema de cores semelhante à análise anterior do INMET, que indicam se estes estão próximos ou não da realidade, ou seja, se ao menos são provenientes do mesmo quadrante ou de algum quadrante vizinho.

- **Verde** - há correspondência, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM encontram-se no mesmo quadrante.
- **Laranja** - há proximidade, vizinhança, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM se encontram em quadrantes vizinhos.
- **Vermelho** - não há proximidade, ou seja, o dado original e o resultado predito pelo SOM divergem a ponto destes valores não corresponderem nem mesmo ao seu quadrante vizinho.

Esta análise demonstrou que, em se tratando dos dados METAR, as correspondências foram muito baixas entre os dados originais e os obtidos após análise do SOM. Os novos valores gerados pelo programa, chamados de B_Values, estão à frente do valor original, ou seja, possibilita a comparação entre os dados originais e preditos.

Observando os testes aplicados com base na setorização dos ventos, nota-se que, dos 107 modelos ocultados para que se obtivesse a previsibilidade, foram obtidos resultados para a variável DV, sendo que a análise detalhada descrita a seguir refere-se aos quatro quartos do dia mencionados para a DV.

Dos 16 aeródromos analisados para as 00:00Z, observou-se que 64 foram os resultados para os valores “não vizinhos”, isto é, cerca de 60%. Dos 64 valores acima descritos, 19 deles (18%) são desconhecidos, citados como NULL por não possuírem os dados originais. Consideraram-se aqui também os valores de NULL como “não vizinho”, pois como são desconhecidos, não é possível precisar se o valor é próximo ao real para a correta correspondência. Para os “vizinhos próximos” foram encontrados 23, cerca de 21% de correspondências e para a proximidade do “mesmo setor” foram encontradas 20 correspondências, cerca de 19%. A Figura 30 apresenta uma tabela resumida da comparação feita para os aeroportos de SBAE,

SBAQ e SBAU entre a DV do quadrante em que se encontram, e o valor obtido pelo SOM chamado de B_DV e seu respectivo quadrante em graus.

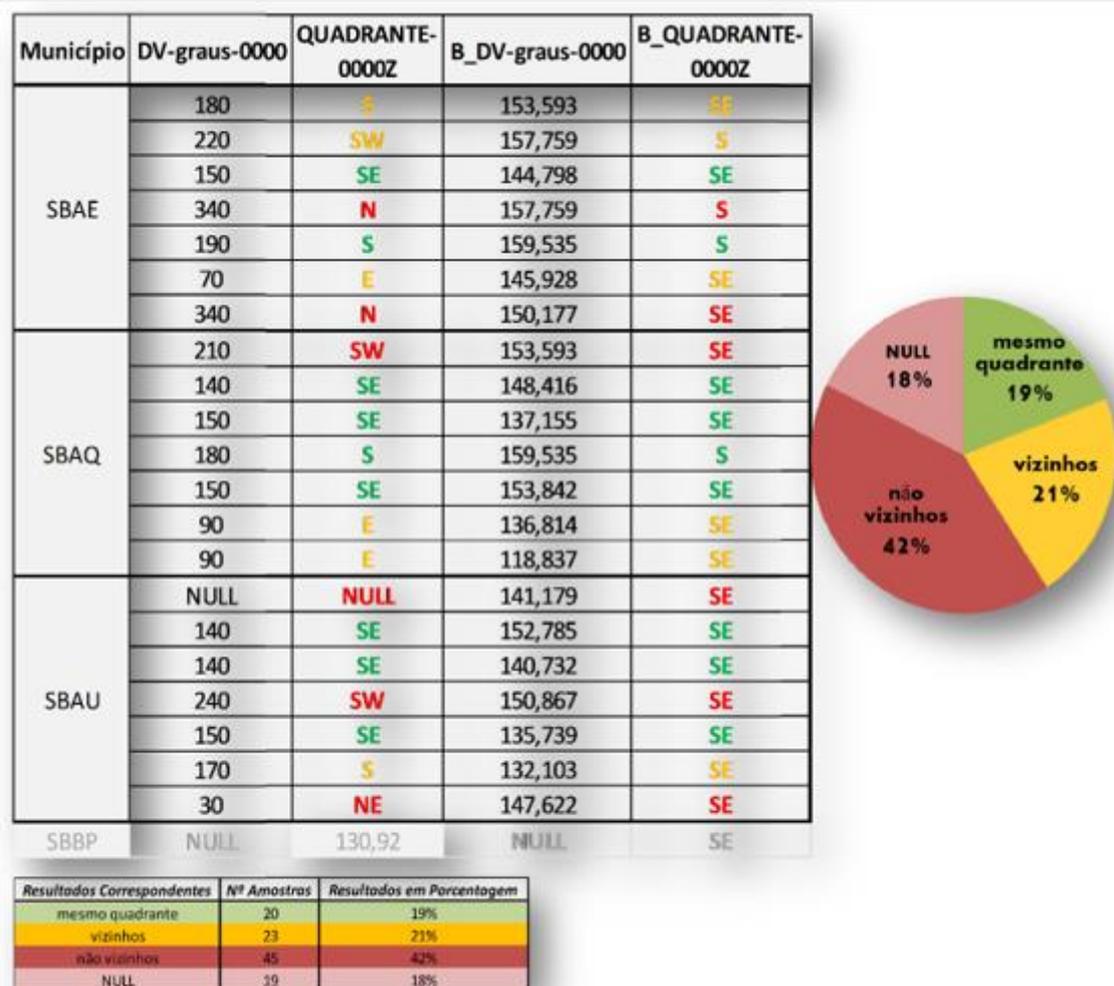


Figura 30 - Tabela e gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas¹²
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Já para as 06:00Z observou-se que 68, ou cerca de 63%, foram os resultados para os valores “não vizinhos”, sendo que 46, ou 30% são desconhecidos (NULL) sem os dados originais. Para os “vizinhos próximos” foram encontrados 27 resultados, cerca de 25% de correspondências, e para a proximidade do mesmo setor foram encontradas 12, cerca de 11% de correspondências, conforme Figura 31.

¹² Onde há estações meteorológicas para confecção do METAR e a porcentagem de acertos da previsão SOM analisando-se os quadrantes de vento.

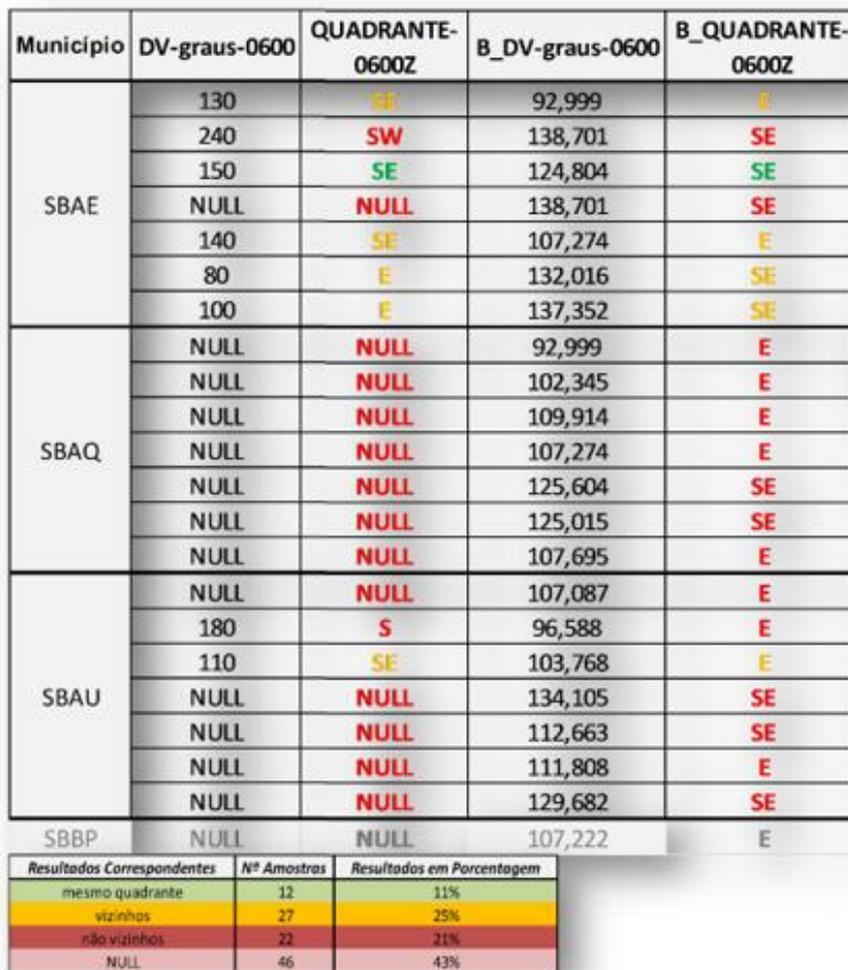


Figura 31 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas¹³
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Para as 12:00Z observou-se que 47, ou seja, cerca de 45% foram os resultados para os valores “não vizinhos”, sendo que 16 destes, cerca de 15% são desconhecidos (NULL). Para os “vizinhos próximos” foram encontradas 25, cerca de 24% de correspondências e para a proximidade do mesmo setor foram encontradas 17 correspondências, cerca de 16%, que se observa na Figura 32.

¹³ Onde há estações meteorológicas do METAR e a porcentagem de acertos da previsão SM analisando-se os quadrantes de vento às 6:00Z.

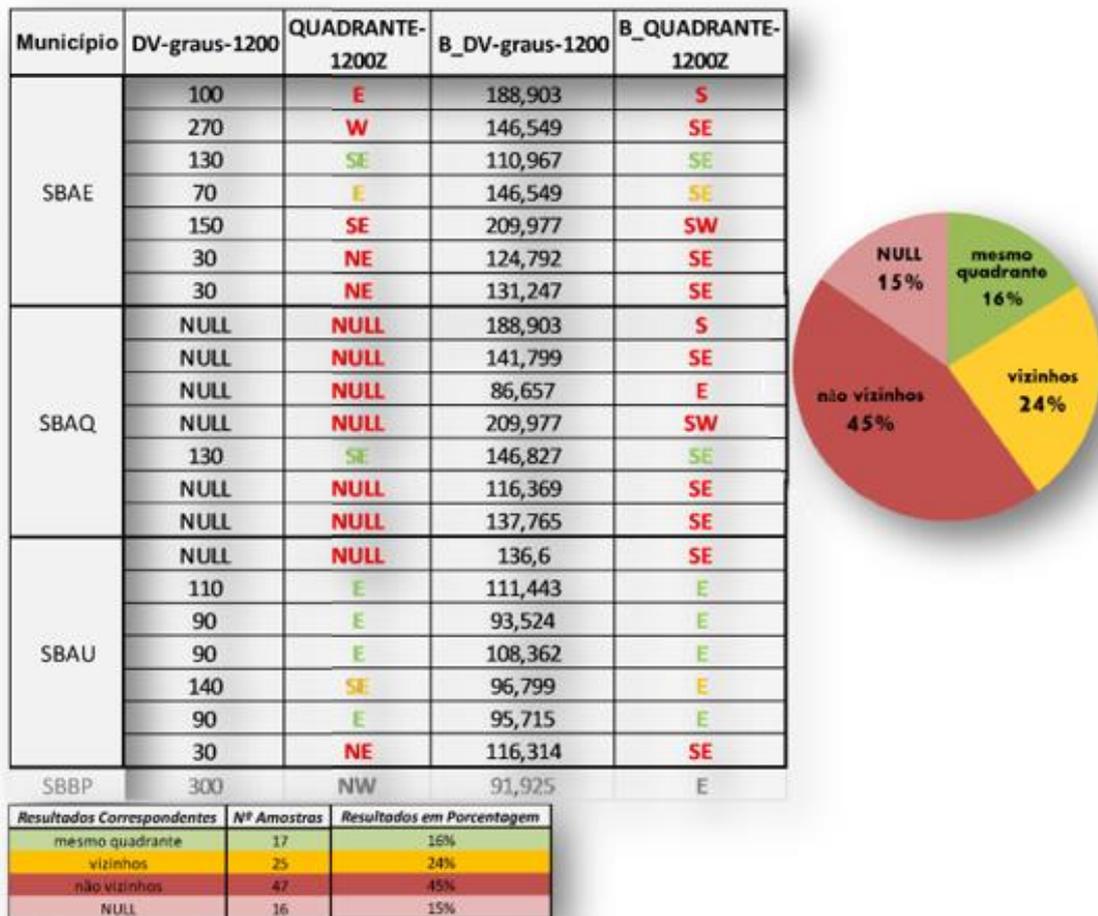


Figura 32 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas¹⁴
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Finalmente, para as 18:00Z, observou-se que dos 107 itens analisados, 59 ou cerca de 55% foram os resultados para os valores “não vizinhos”, sendo que 15 são desconhecidos (NULL) sem os dados originais. Para os “vizinhos próximos” foram encontradas 22, isto é, cerca de 20% correspondências, e para a proximidade do mesmo setor foram encontradas 11 correspondências, cerca de 10% conforme mostrado na Figura 33 - DV real e predita para as 18:00Z.

¹⁴ Onde há estações meteorológicas para confecção do METAR e a porcentagem de acertos da previsão SOM analisando-se os quadrantes de vento as 12:00Z.

Município	DV-graus-1800	QUADRANTE-1800Z	B_DV-graus-1800	B_QUADRANTE-1800Z
SBAE	300	NW	245,691	SW
	320	NW	209,158	SW
	100	E	134,958	SE
	320	NW	209,158	SW
	250	W	260,54	W
	10	N	131,747	SE
	350	N	145,201	SE
SBAQ	NULL	NULL	245,691	SW
	NULL	NULL	222,556	SW
	NULL	NULL	134,537	SE
	100	E	260,54	W
	NULL	NULL	213,216	SW
	330	NW	159,24	S
	10	N	238,413	SW
SBAU	120	SE	209,482	SW
	100	E	190,185	S
	30	NE	156,448	SE
	NULL	NULL	196,703	S
	NULL	NULL	141,535	SE
	10	N	181,051	S
	NULL	NULL	144,241	SE
SBBP	250	W	155,7	SE

Resultados Correspondentes	Nº Amostras	Resultados em Porcentagem
mesmo quadrante	11	10%
vizinhos	22	21%
não vizinhos	59	55%
NULL	15	14%

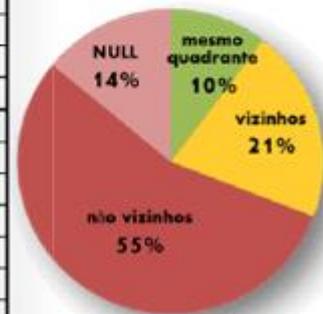


Figura 33 - Tabela e Gráfico dos resultados obtidos para os AD das cidades analisadas¹⁵
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

A análise dos gráficos acima mostrados nas Figuras 30, 31, 32 e 33 mostra uma melhor resposta quando a análise ocorre pela setorização dos quadrantes de vento e não única e exclusivamente analisando seus números e resultados e maneira pura. Porém, isso não significa que são satisfatórios, pois mesmo assim existe uma correspondência baixa entre os resultados originais e os B_Values gerados pelo SOM, ou seja, aumenta a possibilidade de acertos com a setorização, principalmente quando estes são comparados com os resultados obtidos pelo banco de dados INMET.

¹⁵ Onde há estações meteorológicas para confecção do METAR e a porcentagem de acertos da previsão SOM analisando-se os quadrantes de vento as 18:00Z

Mesmo somando os valores “proximidade” e “vizinhos”, observa-se que estes ficam abaixo de 50%, com uma média de 16% de valores positivos para “proximidade” e 24% para os “vizinhos”.

Os baixos valores encontrados provavelmente foram pela ausência de dados do banco OPMET METAR devido à falha na coleta desses dados ou à não existência dos mesmos, pois cerca de $\frac{1}{4}$ das amostras não se encontram presentes na captação total dos dados, devido a problemas na coleta das estações, ou devido a longos períodos de tempo em que estas não se encontram em funcionamento.

5.2.2 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO

Os dados para a velocidade do vento mostraram-se mais consistentes, pois a variação entre os valores originais e os apresentados dificilmente superaram os 5 knots de diferença entre o valor original e o determinado como B_Value da variável elaborado pelo SOM. Levando-se em consideração o fato de que pelas normas de regulamentos de tráfego aéreo o piloto pode optar pelo uso da pista quando este valor for inferior a 5 knots (LIMA JR., 2013), podemos considerar que este valor quando inferior à 5 knots do valor original pode ser considerado aceitável para a predição correta do resultado.

Para as 00:00Z encontramos apenas 27 amostras que podemos considerar diferentes do padrão esperado, ou seja, com valores superiores a 5 knots. Mesmo assim, dessas 27 amostras, 23 delas, isto é, cerca de 85%, são por não possuírem dado original, ou seja, classificadas como NULL. Todas as demais apresentaram valores próximos ou similares ao original.

É possível que os erros apresentados para a menor precisão dos dados de saída do SOM também tenham se dado pela falta de um banco de dados mais completo, pois as variáveis ausentes alteram a análise do programa, tendo este que gerar um valor aleatório a partir dos outros existentes.

5.2.3 ANÁLISE DO QNH

Para a análise da pressão atmosférica, também foram gerados gráficos em 2D e 3D, expostos na Figura 31, pelo programa a partir dos resultados obtidos, mostrando a correlação feita pelo SOM entre os dados de QNH em hPa e as outras componentes. Esta correlação apresentou um afastamento dos pontos vermelhos no meio das amostras, o que indica uma maior similaridade entre alguns componentes em determinados momentos, notadamente no início e final do gráfico. Há uma dissimilaridade no centro do gráfico indicando um baixo coeficiente de correlação das variáveis nesse ponto. Portanto, percebemos que para o QNH ocorre o mesmo padrão em U para as horas analisadas, onde a similaridade entre as variáveis aproxima-se e afasta-se ao longo da projeção.

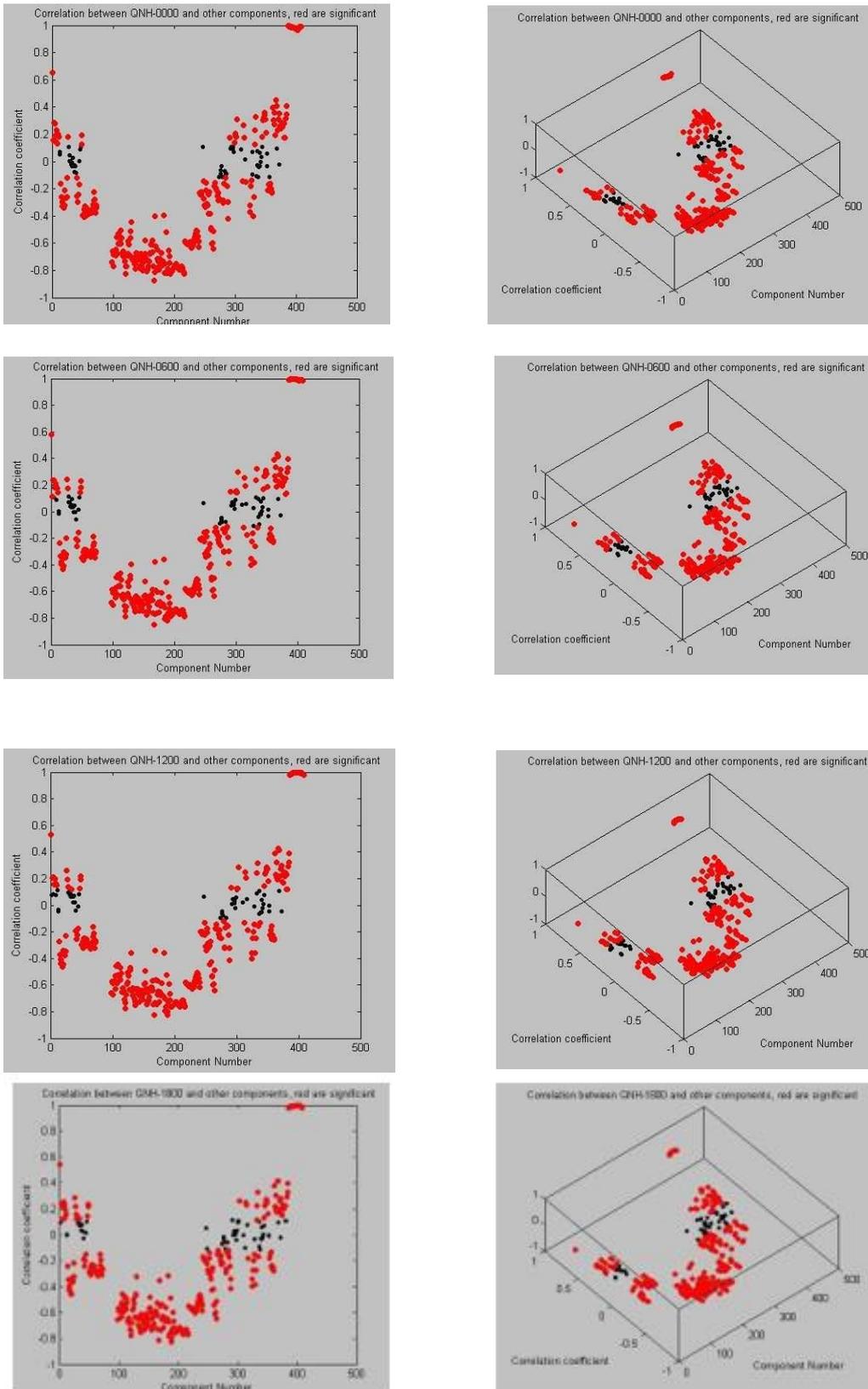


Figura 34 - Gráficos de correlação em 2D e 3D para a variável QNH e outras componentes
 Fonte: extraído do software (2016)

Mesmo que não haja um padrão que regule a variação máxima aceitável entre a pressão utilizada, ou estimada num dado aeródromo de operação visual e a pressão atmosférica real do ambiente, optou-se por realizar uma análise onde os erros maiores do que 2hPa fossem descartados, pois para cada 1hPa de pressão, considera-se o erro do altímetro de 30pés. Portanto, um erro maior do que 2hPa acarretaria um erro superior a 2hPa, aproximadamente 60 pés, ou 18 metros.

Foram feitos gráficos de r^2 para cada um dos 16 aeródromos e suas 107 amostras, e seus resultados podem ser encontrados na Tabela 35, para cada hora do dia. Abaixo, serão apresentados (assim como feito para os resultados de direção do vento) os resultados obtidos para quatro horas (00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z).

Nos valores encontrados para as 00:00Z, foram registrados 45 dados com diferenças inferiores a 2hPa. Os demais dados encontram-se com diferenças superiores a 2hPa, e, por consequência, não apresentaram bons resultados de predição dos B_Values. Em relação aos demais resultados, 21 não apresentavam registros de entrada no banco OPMET e geraram diferença de 100% nos valores, ou seja, o valor original zero e o predito pelo SOM que variou de 1013hPa até 1021hPa. Os outros 41 registros apresentaram valores de predição superiores a 2hPa para o B_Value, mesmo contendo a base de dados original. A Figura 35, apresenta um gráfico em pizza junto à tabela, representando os resultados positivos em tons de verde e os resultados negativos em tons de vermelho.

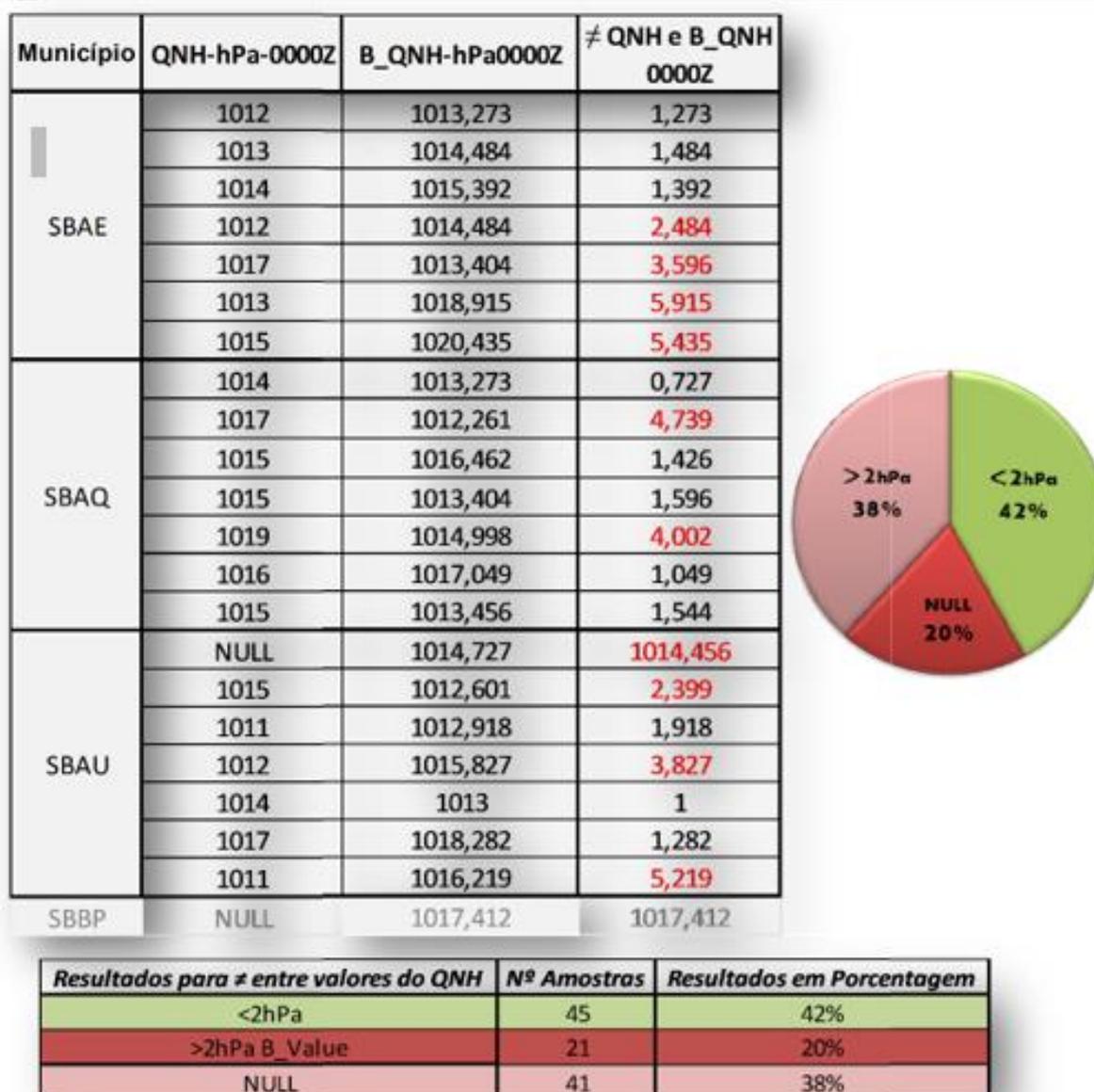


Figura 35 - Tabela de comparação para as 00:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Nos valores encontrados para as 06:00Z, foram registrados 33 dados com diferenças inferiores a 2hPa, cerca de 31%. Os demais dados encontram-se com diferenças superiores a 2hPa e não apresentaram bons índices de predição dos B_Values, sendo que 44 não apresentavam registros de entrada no banco OPMET, ou 41% e geraram diferença de 100% nos valores, ou seja, o valor original zero e o predito pelo SOM que variou de 1012hPa até 1022hPa. Os outros 30 registros, cerca de 28% apresentaram valores de predição superiores a 2hPa para

oB_Value, mesmo contendo a base de dados original. A Figura 36, apresenta os resultados positivos em tons de verde e os resultados negativos em tons de vermelho.

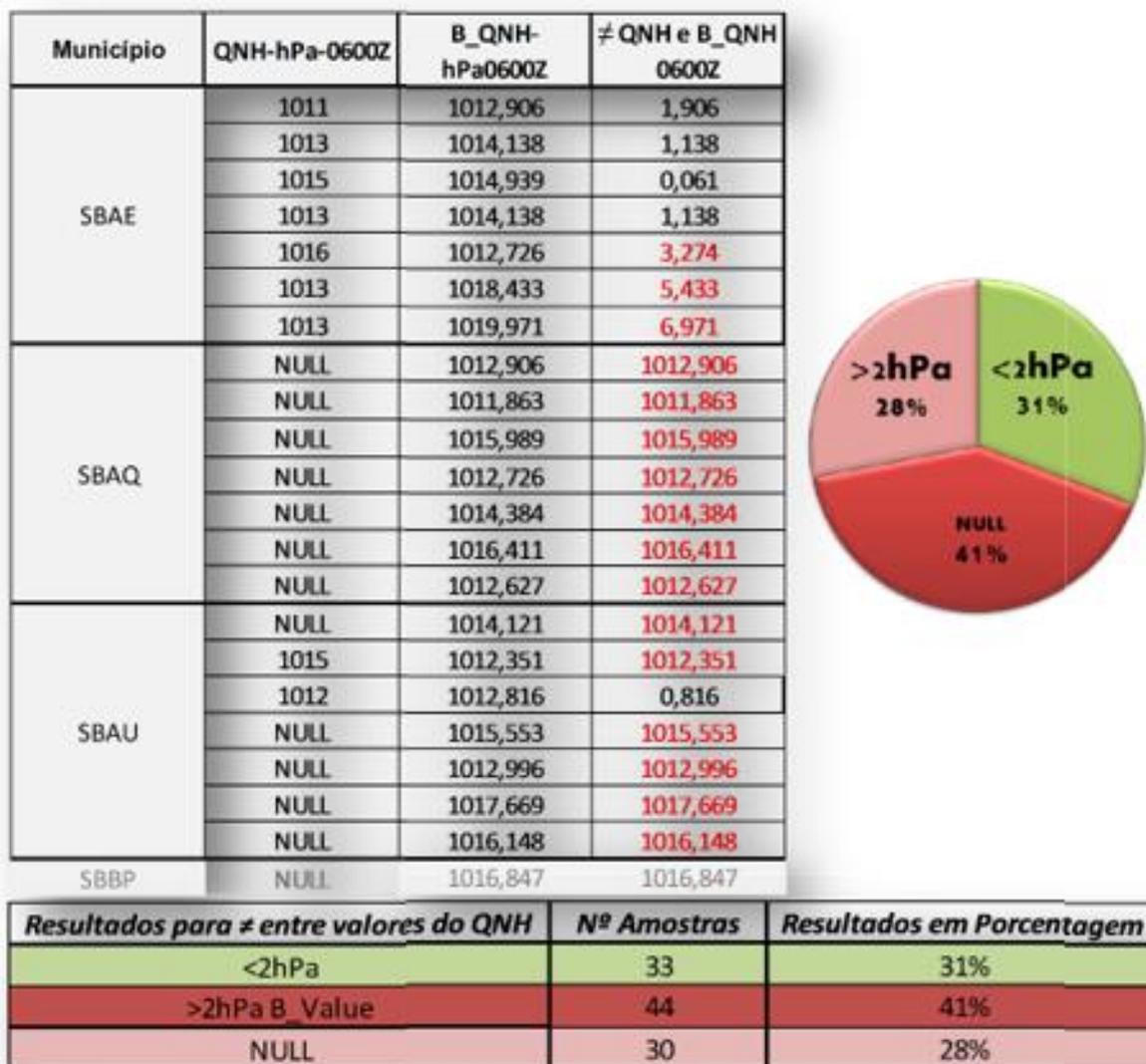


Figura 36 - Tabela de comparação para as 06:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Para 12:00Z, foram registrados 50 dados com diferença inferiores a 2hPa, cerca de 47%. Os demais dados encontram-se com diferenças superiores a 2hPa e não apresentaram bons resultados de predição dos B_Value, sendo que 10, ou 9% não apresentavam registros de entrada no banco OPMET e geraram diferença de 100% nos valores, ou seja, o valor original zero e o predito pelo SOM que variou de 1015,39 hPa até 1018,14hPa. Percebe-se em princípio neste caso que, com um

número menor de informações faltantes, o SOM diminuiu o erro entre os valores máximos e mínimos de pressão atmosférica para os B_Values quando comparados aos horários acima analisados. Ao passo que as diferenças anteriores foram de 9hPa para as 00:00Z e de 10hPa para as 06:00Z, a diferença máxima para os valores aqui mensurados foi de apenas 2,75hPa. No entanto, na Figura 38, (análise das 18:00Z), pode-se observar que esta relação é falsa, pois na presente hora os registros faltantes também eram da ordem de 10 NULL para hPa e a diferença entre a pressão atmosférica foi maior que 10hPa. Os outros 47 registros, cerca de 44% apresentaram valores de predição superiores a 2hPa para o B_Value, mesmo contendo a base de dados original. A Figura 37 apresenta os resultados positivos em tons de verde e os resultados negativos em tons de vermelho.

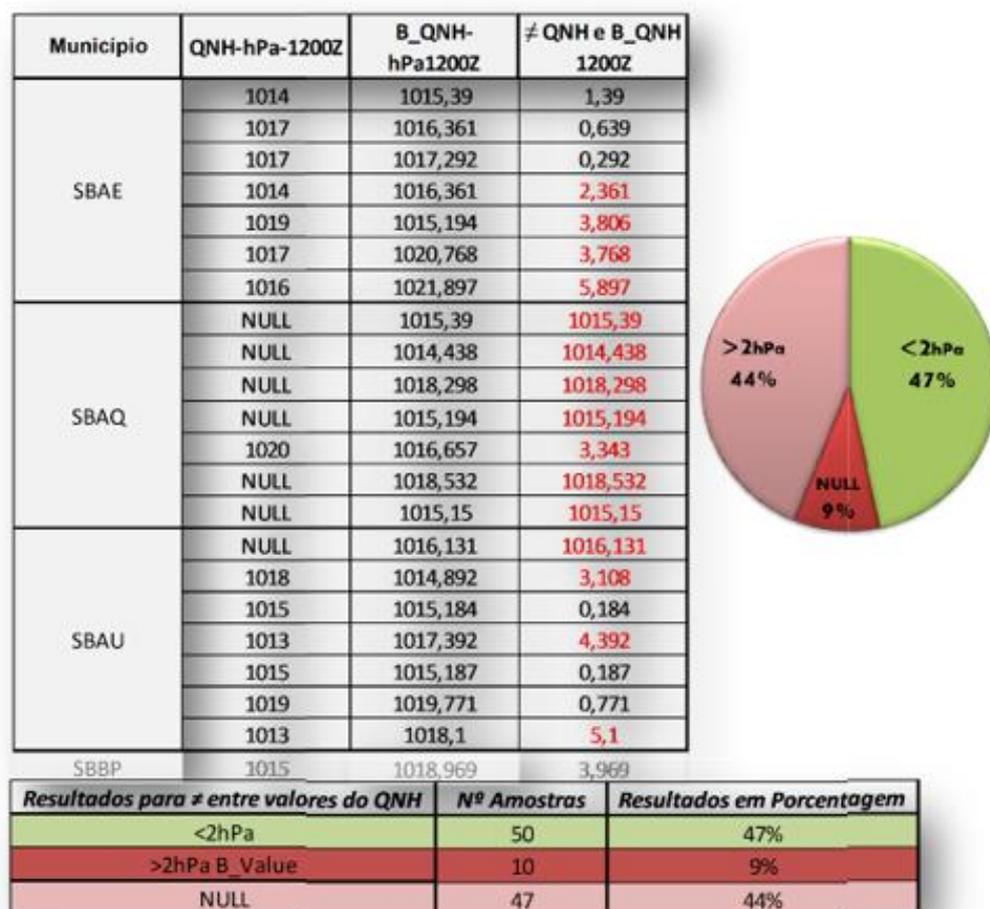


Figura 37 - Tabela de comparação para as 12:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esse valores dada em hPa

Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Para os valores das 1800Z foram registrados 54 dados, cerca de 51% com diferença inferiores a 2hPa. Os demais dados encontram-se com diferenças superiores a 2hPa e não apresentaram bons resultados de predição dos B_Values, sendo que 10, ou 9% não apresentavam registros de entrada no banco OPMET e geraram diferença de 100% nos valores, ou seja, o valor original zero e o predito pelo SOM. Estes variaram entre 1011,03 hPa no mínimo até 1019,12hPa para o máximo, gerando uma diferença de 12,85hPa, mostrando que neste caso a falta de dados unicamente da variável QNH não é responsável pelos erros de informação gerada para onde o banco de dados é falho.

Nota-se também que neste caso o banco de dados dos dois últimos registros analisados (para as 12:00Z e 18:00Z), com menores defasagens, apresentam melhores resultados para os B_Values gerados, tendo uma resposta positiva próxima aos 50% em ambos os horários.

Os outros 43, ou 40% dos registros, apresentaram valores de predição superiores a 2hPa para o B_Value, mesmo contendo a base de dados original. A Figura 38 a seguir apresenta os resultados positivos em tons de verde e os resultados negativos em tons de vermelho.

Os melhores resultados obtidos, assim como na análise dos dados INMET, foram provenientes da pressão atmosférica que apresentou melhores respostas para o cálculo do r^2 . No entanto, estes não foram tão satisfatórios quanto os resultados apresentados na análise INMET.

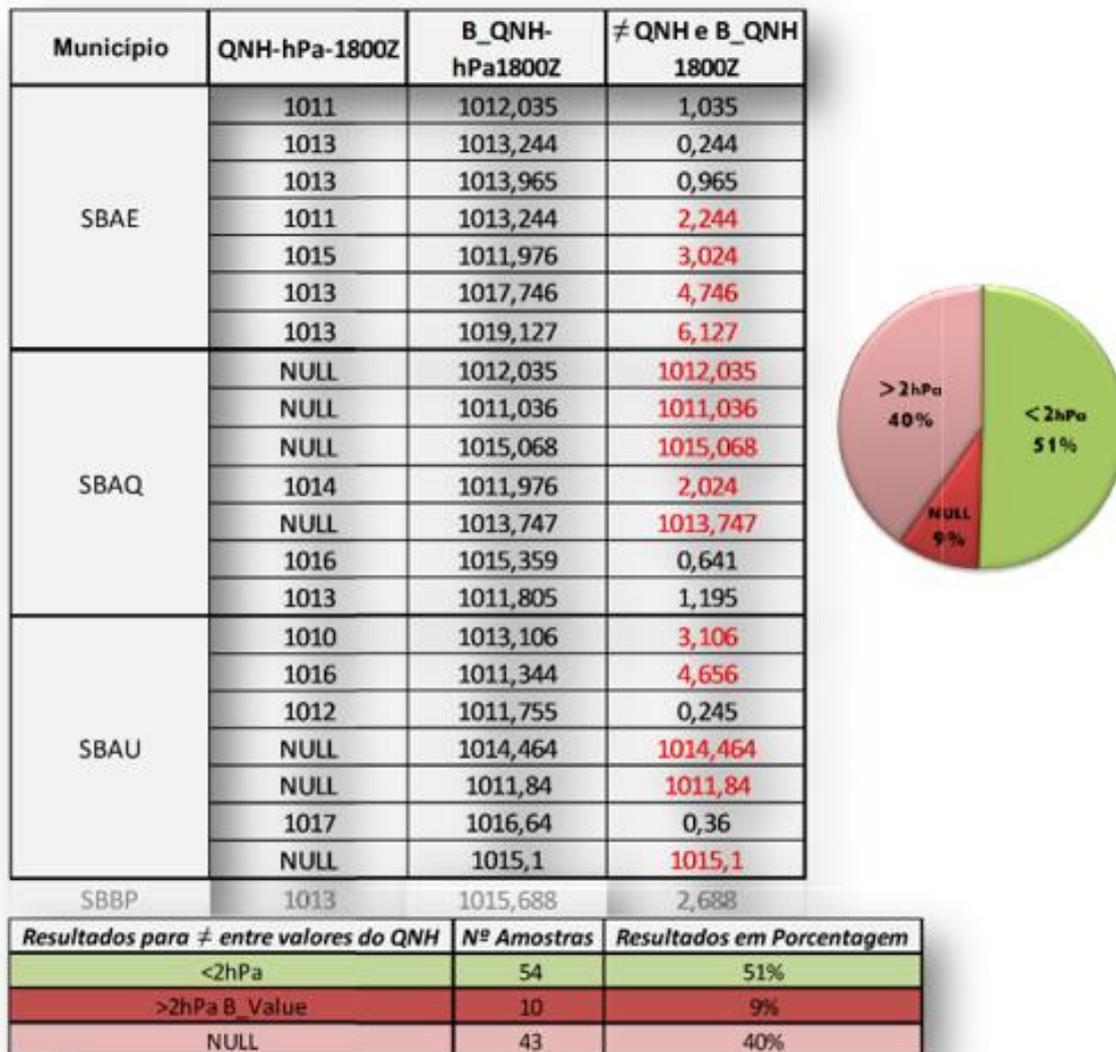


Figura 38 Tabela de comparação para as 18:00Z dos aeroportos de SBAE, SBAQ e SBAU entre QNH original e o valor encontrado pelo SOM, chamado de B_QNH e a diferença entre esses valores dada em hPa
 Fonte: elaborado pelo autor (2016).

6 CONCLUSÕES

O SOM é uma ferramenta de uso diverso, sendo mais usual na classificação de dados de diferentes naturezas e que pode ser empregada em amplo sentido para as mais diferentes questões de ordem científica, desde a mineração de dados em ciências computacionais, geologia, medicina, e muitas outras áreas cuja necessidade seja a de exploração de um imenso banco de dados.

Seu uso na meteorologia pode ser viável, apesar de ainda pouco explorada, pois a exploração de dados meteorológicos é algo ainda em constante evolução científica e as ferramentas de predição para este ramo da ciência são recentes e dependem de probabilidades e cálculos matemáticos e estatísticos que o programa pode ajudar a executar.

Diante da análise dos resultados até agora apresentados, pode-se observar que o SOM é um programa que pode ser utilizado para fim de predição de dados meteorológicos, no entanto existe a necessidade de explorar ainda as possíveis variáveis mais confiáveis para que se façam as predições de maneira mais assertiva.

Na exploração dos dados INMET, nota-se que as variáveis exploradas tiveram melhores resultados, diante da maior quantidade de dados originais inseridas no banco de dados e utilizado para a análise da predição pelo SOM. Os dados de direção de vento foram mais consistentes e as predições da pressão atmosférica com correlação próximas a 1,0.

No entanto, notou-se que a exploração do dado tempo (na forma de binário) não trouxe informações relevantes às análises, mesmo que o tempo não entrasse nas predições, os resultados mostraram-se praticamente os mesmos. Como a escolha da binarização dos dados temporais utilizados nas primeiras tentativas de predição aumentou a dimensão dos dados frente ao baixo número de amostras, isso gerou uma maior dificuldade na convergência dos resultados. Melhores resultados foram obtidos sem a exploração dos dados temporais, que não influenciaram positivamente as análises.

Dados como a presença ou formação de hidrometeoros na primeira análise INMET foram comprometidos devido ao banco de dados estar disponível para uma época do ano em que as estações foram, atipicamente secas, devido a fenômenos climatológicos que influenciaram nas estações do ano, como o El Niño. Possivelmente com um banco de dados mais robusto os resultados poderiam se apresentar mais precisos.

A exploração dos dados METAR foi ainda menos precisa, possivelmente pela menor quantidade de dados disponíveis para tal análise. A menor quantidade de estações METAR (somente 16 em aeródromos) e que ainda não operam continuamente 24 horas por dia, limitou a quantidade de dados das estações METAR gerando grandes lacunas de informações que, mesmo assim, o programa conseguiu gerar um resultado que mais se adequava para aquela situação, o chamado B_Variável. A exploração das três variáveis DV, VV e QNH foi prejudicada pela falta de informações do banco de dados, pois isso foi notado nos dados de análise de QNH para as 12Z na análise dos dados OPMET (METAR), onde observou-se que com um número menor de informações faltantes no banco de dados original, o SOM diminuiu o erro entre os valores máximos e mínimos de pressão atmosférica para os B_Values3

No entanto, o SOM mostra-se uma ferramenta possível para a exploração de dados meteorológicos mais precisos, quando alimentado com um banco de dados mais robusto e com menor falta de dados. Possivelmente, ampliando a malha de dados para no mínimo um ano e com o preenchimento total dos dados das estações de coleta, os resultados possam se apresentar de uma melhor forma.

Sugere-se, que, para uma análise posterior, sejam fundidos os bancos de dados das estações INMET juntamente aos dados do banco OPMET para que esta maior quantidade de informações seja analisada e predita para uma possível maior precisão de alguns itens, como pressão atmosférica e até mesmo na direção e velocidade dos ventos.

Sabe-se que a dinâmica atmosférica é fluida e efêmera, passível de inúmeras variáveis para sua previsão. Novos estudos podem ser realizados para uma maior precisão dos resultados com o uso da ferramenta SOM, onde um banco

de dados mais robusto e denso poderá contribuir para melhora das análises. Futuramente, a inclusão de bases, dados cartográficos como hidrografia, relevo e altitude, poderão ajudar a entender melhor as áreas com maior e menor taxa de acertos de acordo com a geomorfologia local.

Vale ainda uma maior exploração de outros dados como temperatura, temperatura do ponto de orvalho e a reanálise das variáveis já estudadas quando mais consolidada com uma base mais completa.

REFERÊNCIAS¹⁶

AFFONSO, G. S. **Mapas Auto-Organizáveis de Kohonem (SOM) Aplicados na Avaliação da Qualidade da Água**, 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - PEN, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Formação de pilotos**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/Pilotos1.asp>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

ARAÚJO, M. A. A.; BEZERRA, R. S. M. **Redução dos Acidentes Aeronáuticos no Brasil Ocasionados por Fenômenos Meteorológicos**. 2007. 49f. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

_____. **Percentuais de Eventos de Acidentes e Incidentes por Fase de Voo, Registrados entre 1959 e 1996, em voos de até 01:30h de duração**. 2007. 60f. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AVIAÇÃO GERAL. **3º Anuário Brasileiro de Aviação Geral 2013**. São Paulo, 2014, 170p.

ASSOCIAÇÃO DOS PILOTOS E PROPRIETÁRIOS DE AERONAVES. **Parabéns à REDEMET!** Trabalho excepcional! Está na hora de ampliar a rede meteorológica no Brasil. Disponível em: <<http://www.appa.org.br/2015/04/01/parabens-a-redemet-trabalho-excepcional-esta-na-hora-de-ampliar-a-rede-meteorologica-no-brasil/>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

AVIATION SAFETY INFORMATION ANALYSIS AND SHARING. **Weather-related Aviation Accident Study 2003–2007**. Disponível em: <http://www.asias.faa.gov/pls/apex/f?p=100:8:0::NO::P8_STDY_VAR:2>. Acesso em: 25 mai. 2014.

¹⁶ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

BARBOZA, C. H. **História da Meteorologia no Brasil (1887-1917)**. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/userfiles/Historia_Meteorologia.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica. Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Protocolos de Investigação de ocorrências aeronáuticas da aviação civil conduzidas pelo estado brasileiro**. Comando da Aeronáutica. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

CAVAZOS, T. Using Self-Organizing Maps to Investigate Extreme Climate Events: An Application to Wintertime Precipitation in the Balkans. **Journal of Climate**. United States, v 13 1999.

CARNEIRO, C. C. **Modelagem espacial de dados geológicos, aerogeofísicos e SAR na identificação de áreas favoráveis a mineralizações na região de Anapu-Tuerê, Pará**. 2010. 160f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências (IG), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2010.

_____. Semiautomated geologic mapping using self-organizing maps and airborne geophysics in the Brazilian Amazon. **Geophysics**. Tulsa, v. 77, n.4, 2012.

CÉRÉGHINO, R.; PARK, Y. S. Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: Commentary Environmental Modelling & Software. **Environmental Modelling and Software**. v.24, p. 945–947, 2009.

DE PAULA, C. M. C. **Panorama e Perspectivas da Frota de Aviação Geral Brasileira enquanto modal de transporte aéreo**. 2008. 61f. Trabalho de Graduação (Engenharia Civil) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.

DEPARTAMENTO AEROVIÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Consulta aeroportos**. Disponível em: <<http://www.daesp.sp.gov.br/aeroporto-consulta>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **ICA 105-2**: Classificação dos Órgãos Operacionais de Meteorologia Aeronáutica. Comando da Aeronáutica. Disponível em <<http://publicacoes.decea.gov.br/>>. Acesso em: 5 set. 2015.

_____. **ROTAER**: Instituto de Cartografia Aeronáutica. Disponível em: <<http://static.aisweb.decea.gov.br/publicacoes/ROTAER/08-ADA95C65-88D3-4704-94F94C7D35BD4DC1.pdf>> Acesso em: 14 mai. 2015.

_____. **FCA 58-1**: Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira. Comandada Aeronáutica. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

_____. **FCA 105-3**: Códigos Meteorológicos METAR e SPECI. Comando da Aeronáutica. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4005>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Aeroportos**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/sãopaulo/aeroporto-internacional-de-sao-paulo.html>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

FRASER, S.J.; DICKSON, B. L. A New Method for Data Integration and Integrated Data Interpretation: Self-Organising Maps. **Proceedings of Exploration 07**: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Toronto, p. 907-910, 2007.

GALLO, R. Cai número de acidentes aéreos no Brasil; aviação geral ainda é a vilã.

Folha de S. Paulo, São Paulo, 31 jan. 2014. Disponível em: <<http://senhorespassageiros.blogfolha.uol.com.br/2014/01/31/cai-numero-de-acidentes-aereos-no-brasil-aviacao-geral-ainda-e-a-vila/#>>. Acesso em: 22jun. 2015.

HENRIQUES, C. R.; MATTSCHINSKE, M. R. **Meteorologia Aeronáutica do sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro**. Disponível em:

<http://www.sbmet.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/8_2005_Volume_2_9_No_3.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Base Contínua ao Milionésimo**. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_continua_ao_milionesimo/B_CIM_v4.0_metadados.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.

_____. **Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos -**

Governador André Franco Montoro. Disponível em:

<<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/sãopaulo/aeroporto-internacional-de-sao-paulo.html>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Nota técnica nº.**

001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2015.

_____. **Sobre o INMET**. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?rhome/page&page=sobre_inmet>. Acesso em: 02 mar. 2015

KOHONEN, T. **Self-Organizing Maps**. Berlim: Springer Series, Information Sciences, 3 ed., 2001, 501p.

LI, J. X. **Information Visualization**. 2004, Vol. 3, No. 1. 49-59.

LIMA JR., P. O. **Regulamentos de Tráfego Aéreo - Voo Visual - Avião e Helicóptero Piloto Privado e Comercial**. São Paulo: Asa, 2007.

LIMA, W. S.; CASTRO, L. N.; OHISHI, T.; **Mapas auto-organizáveis não paramétricos para análise da influência climática em curvas de carga**.

Disponível em: <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2015/12/MAPAS-AUTO-ORGANIZ%C3%81VEIS-N%C3%83O-PARAM%C3%89TRICOS-PARA-AN%C3%81LISE-DA-INFLU%C3%8ANCIA-CLIM%C3%81TICA-EM-CURVAS-DE-CARGA.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MOSCATI, N. R. **Acidentes Aéreos Associados à Condições Meteorológicas Adversas e Melhoria Contínua dos Sistemas das Aeronaves**. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/8_2005_Volume_29_No_3.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

NASH, R. H. **A Teoria das Formas de Platão**. Disponível em: <http://www.monergismo.com/textos/filosofia/teoria-formas-platao_nash.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2015.

_____. **Lifes' Ultimate Questions: an introduction to philosophy**. Zondervan, [2010?].

REDE DE METEOROLOGIA DA AERONÁUTICA. **Rede de centros e estações**. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/?i=facilidades&p=rede-de-centros-e-estacoes>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

RIBEIRO, L. R. M. **Traçando os Caminhos dos Céus**. O Departamento de Aviação Civil – DAC 1931-2001. Action Editora, 2002. 208p.

SCHALKWYK, L., DYSON, L. L. **Climatological Characteristics of Fog at Cape Town International Air Port**. American Meteorological Society. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/WAF-D-12-00028.1>> Acesso em: 10 nov. 2015.

SONNEMAKER, J. B. **Meteorologia PP - PC - IFR - PLA**, São Paulo: Editora Asa, 2009, 208p.

ULTSCH, A.; SIEMON, H. P. **Kohonen's Self Organizing Feature Maps for Exploratory Data Analysis**. Disponível em <<http://www.uni-marburg.de/fb12/arbeitsgruppen/datenbionik/pdf/pubs/1990/UltschSiemon90>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

VESANTO, J., et al. **SOM toolbox for Matlab 5**: Technical Report A57. Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology, Helsinki, Espoo, 2000, 60p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Commission For Aeronautical Meteorology (CAEM)**. Disponível em: <<https://www.wmo.int/aemp/?q=caem>>. Acesso em: 06 fev. 2015.

YANEZ, D. N. D. V. S. **Predição Quantitativa a partir de análises por Self-Organizing Maps**: Estimativas de sílica reativa e alumina aproveitável em bauxitas. 2015. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geofísica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

ZUCHINI, M. H. **Aplicações de Mapas Auto-Organizáveis em Mineração de Dados e Recuperação de Informação**. 2003. 215f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC/Unicamp), 2003.