

Previsão de nevoeiro para o Aeroporto Salgado Filho por meio do uso combinado do *Fog Stability Index* com o método desenvolvido por José Soares Lima.

Fog forecasting for the Salgado Filho Airport through the combined use of Fog Stability Index with the method developed by José Soares Lima.

Jaime José Carvalho Gonzales
Tenente Coronel Especialista em Meteorologia
Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica
Rio de Janeiro - RJ
gonzales@brturbo.com.br
Av. Mal Fontenelle, 1200 – ECEMAR – CEP 21740-002

RESUMO

Em virtude da importância de prever o nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho, pois cancela ou atrasa os voos, influenciando a navegação aérea nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, e da necessidade de avaliar o desempenho do método para previsão do fenômeno utilizado, desde 1982, pelos previsores do Centro Meteorológico do aeroporto, gerou-se uma inquietação que culminou com esta pesquisa. O trabalho científico teve como objetivo verificar de que forma o uso combinado do *Fog Stability Index* (FSI) com o Método para Previsão de Nevoeiro afetou o índice de acerto da previsão do fenômeno, para aquele aeroporto, no período de março a outubro dos anos de 2008 a 2010. O método escolhido para a elaboração do trabalho foi o hipotético-dedutivo, partindo-se da hipótese de que o percentual de acerto do uso combinado do FSI com o Método para Previsão de Nevoeiro, em Porto Alegre, no período estudado, é igual ou superior a 80%. Foram calculados os índices de acerto do Método para Previsão de Nevoeiro, do FSI e do FSI_925, comparados o FSI e o FSI_925 (utilizando tabela de contingência) e analisada a combinação do FSI_925 com o Método para Previsão de Nevoeiro. A pesquisa confirmou a hipótese e indicou que o método estudado obteve 80% de acerto, para a variável meteorológica “Nevoeiro”, atingido o valor preconizado pela ICAO, e pode ser adotado como uma ferramenta para a previsão do fenômeno pelo Serviço de Meteorologia Aeronáutica de Porto Alegre.

Palavras-chave: Meteorologia Aeronáutica. Previsão de Nevoeiro. *Fog Stability Index*. Porto Alegre.

ABSTRACT

Given the importance of predicting fog in the Salgado Filho Airport, for delays or cancels flights, affecting air navigation in South and Southeast regions of Brazil, and the need to evaluate the performance of the method used to predict the phenomenon since 1982, Weather Center forecasters by the airport led to an unrest that culminated in this research. The scientific work aimed to verify how the combined use of Fog Stability Index (FSI) with the Method for Forecasting Fog affect the rate of correct prediction of the phenomenon to the airport, in the period from March to October of the year 2008 to 2010. The method chosen for the preparation of this work was the hypothetical-deductive method, starting from the hypothesis that the percentage of accuracy of the combined use of the FSI

with the Method for Forecasting Fog in Porto Alegre during the study period, equals or exceeds 80%. The indices of accuracy of the method to forecast fog, and FSI_925 the FSI, the FSI and compared FSI_925 (using contingency table) and analyzed with the combination of FSI_925 Method for Forecasting Fog. The research confirmed the hypothesis and indicated that the method achieved 80% accuracy for the variable weather "Fog", reached the level set by ICAO, and can be adopted as a tool for the prediction of the phenomenon by the Air Force Weather Service Porto Alegre

Keywords: *Aeronautical Meteorology. Fog Forecasting. Fog Stability Index. Porto Alegre.*

INTRODUÇÃO

O fenômeno meteorológico nevoeiro é descrito como a presença na atmosfera de “gotículas de água em suspensão ou de cristais de gelo, que reduzem a visibilidade [vertical] a menos de 1.000 m.” (BRASIL, 2010, p.51), sendo classificado, quanto ao tipo, em nevoeiro de radiação, de advecção, de encosta e frontal (JANUARIO, 2003).

Devido às características orográficas, à distribuição terra-água e às condições sinóticas, os tipos de nevoeiro predominantes na cidade de Porto Alegre são o de radiação e o de advecção. O primeiro surge, quando durante a noite, em virtude da ausência de nebulosidade, a superfície perde radiação diminuindo a sua temperatura e a das camadas de ar adjacentes, formando o nevoeiro no momento em que essa temperatura atinge o ponto de orvalho (100% de Umidade Relativa). O segundo tipo é observado, quando o ar úmido escoia sobre uma superfície fria (solo ou água) perdendo o calor para a superfície, por condução, esfriando de baixo para cima, dando origem a uma camada estável próximo a superfície e atinge a temperatura do ponto de orvalho. (VAREJÃO-SILVA, 2001).

O fenômeno se reveste de importância ao provocar cancelamentos ou atrasos nos voos, devido à interrupção dos pousos e das decolagens no Aeroporto Salgado Filho, fato que afeta, direta ou indiretamente, o fluxo da navegação aérea nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A previsão de nevoeiro é um conhecimento essencial para que o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA) possa executar com sucesso a harmonização do fluxo de tráfego aéreo, proporcionando a gestão operacional das ações correntes do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) e a efetiva supervisão de todos os serviços prestados.

No 2º Congresso Brasileiro de Meteorologia (2º CBMET), realizado em Pelotas-RS, em julho de 1982, foi apresentado à comunidade meteorológica

nacional um Método para Previsão de Nevoeiro, na cidade de Porto Alegre (Aeroporto Salgado Filho), elaborado por Lima (1982).

Com o passar dos anos o método tem sido utilizado pelos previsores do Centro Meteorológico de Aeródromo de Porto Alegre (CMA1-PA), como mais uma ferramenta para a previsão de nevoeiro tendo esses profissionais, por vezes, questionado a sua eficácia.

No mês de setembro de 2010, durante o 16° CBMET realizado na cidade de Belém-PA, foi apresentado o resultado da combinação do *Fog Stability Index* (FSI), com o perfil vertical de estabilidade do ar. (FRANÇA; QUEIROZ; BASTOS, 2010).

O objetivo do trabalho científico é verificar de que forma o uso combinado do índice FSI com o Método para Previsão de Nevoeiro afetou o índice de acerto na previsão desse fenômeno, para o Aeroporto Salgado Filho, no período de 2008 a 2010. O estudo confirmará a afirmação de que o índice de acerto obtido sendo igual ou superior a 80% e o Serviço de Meteorologia Aeronáutica de Porto Alegre terá à sua disposição uma ferramenta eficiente para previsão de nevoeiro, que contribuirá para elevar o nível da previsão fornecida para a comunidade aeronáutica, por meio da Previsão Terminal de Aeródromo (TAF).

Tal fato permitirá um aprimoramento do planejamento de voo por parte dos pilotos e das companhias aéreas e possibilitará a capacidade de antecipar a ocorrência de nevoeiro em até 12 horas, auxiliando o gerenciamento da navegação aérea na região Sul do Brasil.

1 REVISÃO DA LITERATURA

O tema do trabalho científico está relacionado com a definição do fenômeno, os tipos de nevoeiro predominantes na cidade de Porto Alegre, o índice de acerto preconizado pela Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) para as variáveis meteorológicas previstas na Previsão Terminal de Aeródromo (TAF), o Método para Previsão de Nevoeiro elaborado por Lima (1982), a relação entre distribuição vertical de umidade e a formação de nevoeiro, o cálculo do FSI e os estudos recentes sobre a formação de nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho.

Com o objetivo de propiciar um melhor entendimento será adotado o seguinte sequenciamento.

1.1 Definição de nevoeiro

O nevoeiro é descrito como um hidrometeoro caracterizado pela presença na atmosfera de “gotículas de água em suspensão ou de cristais de gelo, que reduzem a visibilidade [horizontal] a menos de 1.000 m.” (BRASIL, 2010, p.51), ou “suspensão de gotículas de água na camada atmosférica justaposta à superfície da terra, reduzindo a visibilidade horizontal a menos que 1 Km. ” (VAREJÃO-SILVA, 2001, p.391), ou “o nevoeiro é simplesmente uma nuvem stratus que foi formada no nível da superfície.”(FERREIRA, 2002, p.109-110).

1.2 Tipos predominantes de nevoeiros

Os tipos predominantes de nevoeiros na cidade de Porto Alegre (Aeroporto Salgado Filho) são o de radiação e o de advecção que são descritos como:

Nevoeiro de radiação – os mais comuns - são assim chamados porque sua gênese é devida ao arrefecimento noturno do solo por emissão de energia radiante. O ar, em contato com ar arrefecido, perde calor por condução, tornando-se mais frio que a camada atmosférica imediatamente acima. Próximo à superfície, portanto, a temperatura do ar aumenta com a distância ao solo, estabelecendo-se uma inversão térmica a uma certa altura. Abaixo do nível de inversão a camada atmosférica é, por conseguinte, estável. O resfriamento, se suficiente para ultrapassar a temperatura do ponto de orvalho, provocará condensação do vapor. Nevoeiros desse tipo se formam em noites sem nuvem, ou poucas nuvens altas, condição necessária ao rápido resfriamento do solo por irradiação. A presença de nuvens inibe o arrefecimento noturno, face ao efeito estufa. Além disso, é requerida a presença de vento, não muito forte, ampliando a espessura da camada resfriada, e, portanto, aumentando a espessura do nevoeiro. (VAREJÃO-SILVA, 2001, p.396-397).

Nevoeiro de advecção – surge quando o ar úmido escoar sob uma superfície fria (solo ou água). O ar, perdendo calor por condução para a superfície, se arrefece de baixo para cima, o que propicia a formação de uma camada atmosférica estável justaposta à superfície. Se há vento fraco a diferença entre a temperatura do ar e da superfície tende a diminuir e o resfriamento

atinge apenas a uma camada atmosférica bastante delgada. Havendo um vento um pouco mais forte, a mistura turbulenta do ar inibe o equilíbrio térmico, mas aumenta a espessura da camada resfriada. Como no caso anterior, o aparecimento do nevoeiro acontecerá quando a temperatura dessa camada torna-se inferior à do ponto de orvalho inicial. (VAREJÃO-SILVA, 2001, p.397).

1.3 Índice de acerto preconizado pela ICAO

A ICAO (2010) preconiza, por meio do ANEXO III à Convenção de Chicago, que os índices de acerto, para as variáveis meteorológicas previstas no TAF, são de 80% para direção e velocidade do vento, visibilidade e precipitação e de 70% para quantidade e altura das nuvens e temperatura do ar. Por ser um fenômeno meteorológico o nevoeiro, analogamente à precipitação, onde é avaliada a ocorrência ou não dela, tem o índice de acerto estipulado em 80% (BRASIL, 2008).

1.4 Método para Previsão de Nevoeiro

O método, desenvolvido por Lima (1982) foi validado, naquele ano, pelos previsores do CMA1-PA, tendo atingindo um nível de acerto superior a 80%.

O processo tem como objetivo servir de ferramenta para a previsão da ocorrência e da duração de nevoeiro de radiação, na cidade de Porto Alegre, e utiliza como preditores a situação sinótica (posições dos sistemas frontais e do centro de alta pressão atmosférica) às 18h *Coordinated Universal Time* (UTC), a direção e a velocidade do vento em 500 hPa às 12h UTC, o perfil de umidade abaixo de 500 hPa às 12h UTC, a diferença entre a pressão máxima do dia anterior e do dia em vigor e as temperaturas do ar e do ponto de orvalho e a direção e a velocidade do vento (todas da superfície) às 19h. Foram utilizados para a confecção do trabalho os dados meteorológicos obtidos por meio da Estação Meteorológica de Superfície Classe 1 de Porto Alegre (EMS1-PA), da Estação Meteorológica de Altitude de Porto Alegre (EMA-PA) e analisados pelos previsores do CMA1-PA, nos meses de abril a setembro, no período de 1966 a 1975 (LIMA, 1982).

1.5 Relação entre distribuição vertical de umidade e formação de nevoeiro

A influência da distribuição vertical de umidade na formação de nevoeiro de radiação foi primeiramente citada por Lima (1982) que descreveu como modelo ideal para a existência do fenômeno a presença de uma camada úmida abaixo do nível de 750 hPa e uma camada seca acima desse nível. Posteriormente, Piva e Fedorova (1999), durante o estudo de casos de nevoeiro em Porto Alegre no período de jan. 1995 a abr. 1996, observaram que a camada úmida estendia-se, em média, até o nível 952 hPa e a inversão de temperatura sempre estava presente no nível de 950 hPa.

1.6 Cálculo do FSI

Conforme Reymann et al. (1999) o *Fog Stability Index* (FSI) foi desenvolvido por Harald Strauss para previsão de nevoeiro de radiação na Alemanha, em 1970, tendo seu cálculo expresso por meio da fórmula:

$$FSI = 4T_{Ar} - 2(T_{850} + Td_{Ar}) + W_{850}$$

onde: T_{Ar} = temperatura do ar na superfície (em °C); T_{850} = temperatura do ar em 850 hPa (em °C); Td_{Ar} = temperatura do ponto de orvalho na superfície (em °C); e W_{850} = vento em 850hPa (em Kt).

A relação entre FSI e probabilidade de nevoeiro é: $FSI > 55$ = baixa probabilidade; $55 \geq FSI \geq 31$ = média probabilidade; e $FSI < 31$ = alta probabilidade.

1.7 Estudos Recentes

O índice de acerto do método elaborado por França, Queiroz e Bastos (2010) foi de 83%, fato que demonstra a potencialidade de combinar o FSI com métodos de previsão de nevoeiro.

No trabalho de conclusão do Curso de Especialização de Meteorologia Aero-náutica, ministrado pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), Almeida (2008) ao efetuar a análise de frequência da ocorrência de nevoeiro no Aeroporto Internacional Salgado Filho – Porto Alegre/RS, no período de jan. 1998 a dez. 2006, obteve a seguinte distribuição do fenômeno:

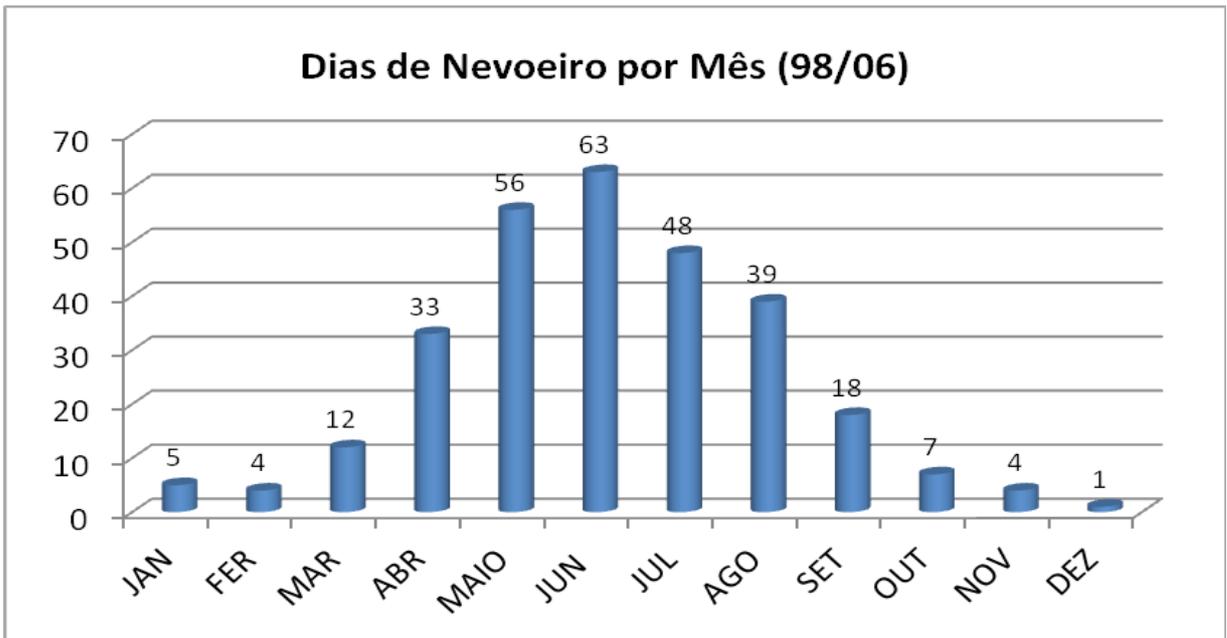


Figura 1 – Dias de Nevoeiro Por Mês (98/06)

Fonte: Almeida (2008)

2 METODOLOGIA

O presente trabalho teve caráter hipotético-dedutivo e buscou investigar de que forma o uso combinado do índice FSI ou FSI_925 com o Método para Previsão de Nevoeiro afetou o índice de acerto na previsão desse fenômeno, para o Aeroporto Salgado Filho, por meio da confirmação da hipótese de que o percentual de acerto do uso combinado do índice FSI ou FSI_925 com o Método para Previsão de Nevoeiro, na cidade de Porto Alegre (Aeroporto Salgado Filho), no período de 2008 a 2010, é igual ou superior a 80%. Para atender esse objetivo, foram utilizados procedimentos segundo as premissas enumeradas abaixo e a sequência de cálculos e de procedimentos descritos neste capítulo.

O período utilizado para análise do fenômeno foram os meses de março a outubro dos anos de 2008 a 2010, pois segundo Almeida (2008) foi verificado, nos anos de 1998 a 2006, que aproximadamente 95% dos casos de formação de todos os tipos de nevoeiro ocorreram nesses meses. Foi também levado em conta que nos meses de abril a setembro é que ocorreram todos os casos de formação de nevoeiro de radiação na cidade de Porto Alegre no período estudado por Lima (1982), e que, segundo Reymann et al. (1999), o FSI foi desenvolvido para previsão desse tipo de nevoeiro.

Durante a pesquisa bibliográfica foram selecionadas como pilares para a elaboração da pesquisa o Método para Previsão de Nevoeiro (LIMA, 1982), o trabalho científico sobre preditores de nevoeiro (FRANÇA; QUEIROZ; BASTOS, 2010), a descrição da frequência da ocorrência de nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho (ALMEIDA, 2008) e um estudo sobre a dimensão vertical da camada úmida (PIVA; FEDOROVA, 1999), por serem estudos direcionados a previsão e a parametrização de nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho e possuírem aplicação operacional comprovada ou relevância científica.

O universo da pesquisa foi de 735 dias e a amostra analisada foi de 717 dias, sendo adotado um grau de confiança de 99% e tendo sido calculado um erro de 0,51%.

O trabalho científico aplica-se apenas ao Aeroporto Salgado Filho, devido à especificidade das características meteorológicas e geográficas que afetam o nevoeiro. Os resultados não podem ser utilizados para os demais aeroportos do Brasil, mas servem como referência para estudos da mesma natureza para outras localidades de interesse da navegação aérea.

Foi aplicado para todos os dias da amostra analisada, o Método para Previsão de Nevoeiro (LIMA 1982), que é constituído pelos seguintes passos:

1- análise da direção ou da velocidade do vento de 500 hPa, sendo que quando a direção for NW ou a velocidade for maior que 50Kt **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo seguir para o próximo item;

2- verificação do perfil vertical de umidade da camada e caso não haja uma camada úmida ($T_{Ar} - Td_{Ar} \leq 6^{\circ}C$) abaixo de 750 hPa e acima deste nível uma camada seca até 400 hPa ($T_{Ar} - Td_{Ar} > 6^{\circ}C$), de acordo com as letras a, b, c, d, e do Gráfico 3 (LIMA, p.287, 1982), **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo, seguir para o próximo item;

3- averiguação da diferença do valor máximo de pressão do dia anterior com o do dia em vigor, sendo que se ela for igual ou maior que +4 hPa **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo seguir para o próximo item

4- exame da tendência da pressão entre as 08 e 10 horas locais e quando ela for igual ou menor que +1 hPa **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo seguir para o próximo item;

5- análise da temperatura do ar (T_{Ar}) e da temperatura do Ponto de Orvalho (Td_{Ar}) à superfície das 19 horas local, sendo que ao entrar no Diagrama I (LIMA, 1982 p.288,), para março, abril, maio, agosto setembro e outubro, ou Diagrama III (LIMA, 1982, p.290,), para junho ou julho se o ponto de intersecção cair na área N **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo seguir para o próximo item;

6- verificação da direção e da velocidade do vento à superfície das 19 horas local, quando entrar no Diagrama III (LIMA, p.289, 1982), para março, abril, maio, agosto setembro e outubro, ou Diagrama IV (LIMA, p.291, 1982), para junho ou julho se o ponto de intersecção cair: a) na área N **não** haverá previsão de nevoeiro; b) na área A ir para o item 8; e área B e C ir para o próximo item.

7- averiguação da nebulosidade das 19 horas local e caso a quantidade de nuvens seja maior ou igual a cinco **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo ir para o próximo item;

8- análise da situação sinótica das 18 horas UTC, quando entrar no Gráfico 1 (LIMA,1982,p.285), para março, abril, maio, agosto, setembro e outubro, ou no Gráfico 2 (LIMA,1982 p.286,) para junho ou julho, caso exista um sistema frontal na área III ou a alta pressão estiver fora da área A **não** haverá previsão de nevoeiro. Caso negativo, será previsto **sim** para formação de nevoeiro. Logo após, serão confrontadas as previsões com os casos reais de formação de nevoeiro e montada a tabela de contingência, baseada nos quantitativos de **sim** e **não**.

Na próxima fase foi calculado, diariamente, o FSI, para as sondagens das 12 horas UTC, utilizando a fórmula descrita por Reymann (2008, p.19) com os valores de: a) T_{Ar} e Td_{Ar} , em °C, obtidos utilizando a média aritmética dos valores medidos pela EMS1-PA às 11 e 12 horas UTC; e b) T_{850} e W_{850} , respectivamente em °C e Kt, obtidos pela EMA-PA. Quando o valor do índice foi: a) superior a 55, **não** houve previsão de nevoeiro; e b) inferior ou igual a 55, **sim** houve previsão de nevoeiro. Logo após, foram confrontadas as previsões com os casos reais de formação de nevoeiro e os somatórios dos **não** e dos **sim** foram transportados para a tabela de contingência.

Na etapa seguinte foi calculado para todos os dias da amostra, o FSI₉₂₅, de forma similar ao cálculo do FSI, apenas substituindo as variáveis T_{850} e W_{850} respectivamente pela temperatura (T_{925}) e vento (W_{925}), do nível de 925 hPa. A substituição do nível de 850 hPa pelo de 925 hPa é um fato pioneiro que foi adotado

com o objetivo de representar a inversão média de temperatura do ar próximo ao solo, observada nos eventos de nevoeiro em Porto Alegre estudados por Piva e Fedorova (1999). Levando em conta as limitações impostas pelos dados, de ar superior, disponíveis, foi necessária a substituição do nível de 950 hPa, citado pelos pesquisadores, pelo nível de 925 hPa. O pioneirismo apresentou uma situação desafiadora que foi a ausência de uma relação entre o índice e a probabilidade de formação de nevoeiro. Para contornar esta falta foi adotado o critério de identificar qual o menor valor do índice nos nevoeiros ocorridos no período estudado, com o objetivo de representar 100% dos nevoeiros estudados, e estipulado que quando o índice foi; a) superior ao valor encontrado, 32, **não** houve previsão de nevoeiro; e b) inferior ou igual a 32, **sim** houve previsão de nevoeiro. Logo após, foram comparadas as previsões com os casos reais de formação de nevoeiro e os somatórios dos **sim** e dos **não** foram transportados para a tabela de contingência.

O próximo passo foi identificar, utilizando a tabela de contingência, qual o índice (FSI ou FSI_925) obteve o maior índice de acerto.

Na sequência, baseado na tabela de contingência (Figura 2) onde: índice de acerto (indica qual a fração da previsão está correta) = $(A+Nc)/(A+Af+F+Nc)$, taxa de alarme falso (indica a proporção de não ocorrências que incorretamente foram previstas na previsão) = $Af/(Af+Nc)$ e índice de alarme falso (indica a proporção de não ocorrências que foram previstas na observação) = $Af/(A+Af)$, foi verificado de que forma o uso combinado do índice FSI com o Método para Previsão de Nevoeiro afetou o índice de acerto na previsão desse fenômeno, para cidade de Porto Alegre.

Previsão	Observação		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	A	Af	A+Af
Não Previu	F	Nc	F+Nc
Total	A+F	Af+Nc	A+Af+F+Nc

Figura 2 – Exemplo de Tabela de Contingência

Fonte: Spiegel (1978)

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

3.1 Apresentação dos dados

Os dados meteorológicos utilizados na confecção do banco de dados foram as informações sobre o perfil vertical da atmosfera, os dados de superfície, as fotografias obtidas por meio de satélite meteorológico e as cartas sinóticas. As informações sobre o perfil vertical da atmosfera (T_{850} , Td_{850} , W_{850} , T_{925} , W_{925} , camada úmida, direção e velocidade do vento no nível de 500 hPa) foram obtidas nos arquivos de dados da Subdivisão de Meteorologia do Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA II), e são provenientes das medidas diárias, de parâmetros meteorológicos, realizadas, às 00 e às 12h UTC, pela EMA-PA. Os dados de superfície (T_{Ar} , Td_{Ar} , ocorrência de nevoeiro, nebulosidade, direção e velocidade do vento na superfície) são oriundos do software INFOMET, disponível na Subdivisão de Meteorologia do CINDACTA II, e são originários das medidas diárias de parâmetros meteorológico realizadas de forma horária pela EMS1-PA. As fotografias obtidas por meio de satélite meteorológico no espectro infravermelho (IR 4) e visível (VIS), proveniente do satélite GOES 12, foram conseguidas na Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC). As cartas sinóticas de superfície são provenientes do Centro de Hidrografia da Marinha (CHN).

Nos anos de 2008 a 2010, ocorreram 118 dias de nevoeiro, com a distribuição mensal descrita na Figura 3 e no período analisado neste trabalho, meses de março a outubro de 2008 a 2010, foram observados 106 dias de nevoeiro. Foram primeiramente analisados 735 dias, a luz do Método para Previsão de Nevoeiro, verificando a previsão (**sim**) ou **não** do fenômeno. Posteriormente foram calculados para 717 dias o FSI e o FSI₉₂₅. A diferença de 18 dias, entre os 735 dias em que foi utilizado o Método para a Previsão de Nevoeiro e os 717 dias em que foram calculados o FSI e o FSI₉₂₅, deve-se ao fato de não terem sido obtidos os dados de ar superior, por problemas técnicos nas radiossondagens, nos dias 11, 14 e 29 de março, 7 e 13 de abril, 16 de junho, 16 e 18 de julho, todos de 2008; 29, 30 e 31 de agosto e 1° setembro, os quatro de 2009 e 24 e 25 de julho, 11 e 12 de agosto e 25 e 26 de setembro, os seis de 2010.

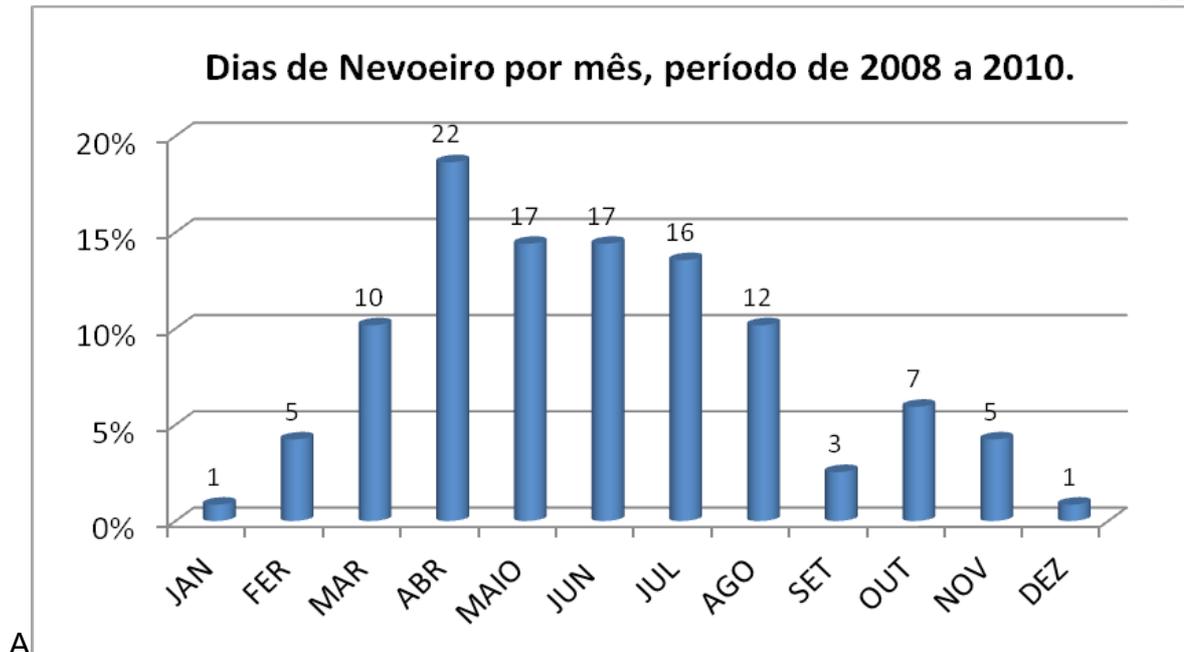


Figura 3 – Dias de Nevoeiro por mês, período de 2008 a 2010

Fonte: Autor (2012)

3.2 Análise dos dados

Dos 118 dias de nevoeiro observados, nos anos de 2008 a 2010, foram analisados 106 casos ocorridos nos meses de março a outubro que representaram 90% do total de nevoeiros e 100% dos casos de nevoeiro de radiação.

Dos 735 dias analisados, nos meses de março a outubro dos anos de 2008 a 2010, em 106 dias ocorreu a formação de nevoeiro de radiação totalizando o percentual de 14,5%.

Nos 735 dias examinados, a luz do Método para Previsão de Nevoeiro, foi observado que: a) dos 80 nevoeiros previstos 17,5% ocorreram e 82,5% não ocorreram; b) dos 655 nevoeiros não previstos 14% ocorreram e 86% não ocorreram; c) utilizando a Tabela 1 o índice de acerto, taxa de alarme falso, índice de alarme falso são, respectivamente, 79%, 10% e 83%.

Tabela 1 – Tabela de Contingência Método de Previsão de Nevoeiro

Previsão de Nevoeiro	Observação de Nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	14	66	80
Não Previu	92	563	655
Total	106	629	735

Fonte: Autor (2012)

Nos 717 dias em que foi calculado o FSI foi observado que: a) dos 695 nevoeiros previstos 15,1% ocorreram e 84,9% não ocorreram; b) dos 22 nevoeiros não previstos 4,5% ocorreram e 95,5 % não ocorreram; c) utilizando a Tabela 2 o índice de acerto, taxa de alarme falso, índice de alarme falso são, respectivamente, 18%, 97% e 85%

Tabela 2 – Tabela de Contingência FSI

Previsão de Nevoeiro	Observação de Nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	105	590	695
Não Previu	1	21	22
Total	106	611	717

Fonte: Autor (2012)

Nos 717 dias em que foi avaliado o FSI_925 foi observado que: a) dos 557 nevoeiros previstos 15,1% ocorreram e 84,9% não ocorreram; b) dos 160 nevoeiros não previstos 3,1% ocorreram e 96,9 % não ocorreram; c) utilizando a Tabela 3 o índice de acerto, taxa de alarme falso, índice de alarme falso são, respectivamente, 36%, 75% e 82%.

Tabela 3 – Tabela de Contingência FSI_925

Previsão de Nevoeiro	Observação de Nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	101	456	557
Não Previu	5	155	160
Total	106	611	717

Fonte: Autor (2012)

Nos 735 dias em que foi avaliada a tendência da pressão entre as 08 e 10 horas locais (variável preditora) foi observado que: a) dos 158 nevoeiros previstos 11,4% ocorreram e 88,6% não ocorreram; b) dos 577 nevoeiros não previstos 15,3% ocorreram e 84,7 % não ocorreram; c) utilizando a Tabela 4 o índice de acerto, taxa de alarme falso, índice de alarme falso são, respectivamente, **69%**, 22% e 11%.

Tabela 4 – Tabela de Contingência Tendência entre as 08 e 10 horas locais

Previsão de Nevoeiro	Observação de Nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	18	140	158
Não Previu	88	489	577
Total	106	629	735

Fonte: Autor (2012)

Como o índice de acerto do FSI_925 (36%) foi maior que o do FSI (18%) o primeiro indicador é que foi combinado com o Método de Previsão de Nevoeiro e nos 717 dias em houve a combinação foi observado que: a) dos 64 nevoeiros previstos 18,7% ocorreram e 81,3% não ocorreram; b) dos 653 nevoeiros não previstos 14,4% ocorreram e 85,6 % não ocorreram; c) utilizando a Tabela 5 o índice de acerto, taxa de alarme falso, índice de alarme falso são, respectivamente, 80%, 9% e 81%.

Tabela 5 – Tabela de Contingência Método para Previsão de Nevoeiro x FSI_925

Previsão de Nevoeiro	Observação de Nevoeiro		Total
	Ocorreu	Não Ocorreu	
Previu	12	52	64
Não Previu	94	569	653
Total	106	611	717

Fonte: Autor (2012)

Examinando com atenção os dados meteorológicos de ar superior e superfície, através de tabelas de contingência, verificou-se que os índices de acerto na previsão de nevoeiro pelo Método para Previsão de Nevoeiro, FSI, FSI_925 e uso combinado são, respectivamente, 79%, 18%, 36% e 80%. Na consolidação dos dados meteorológicos foi inicialmente constatado que os índices de alarme falso do Método para Previsão de Nevoeiro, FSI, FSI_925 e uso combinado são, respectivamente, 10%, 97%, 71% e 9%. Na sequência, foi observado que as taxas de alarme falso do Método para Previsão de Nevoeiro, FSI, FSI_925 e uso combinado são, respectivamente, 83%, 85%, 82% e 81%.

Na análise foi confirmada a hipótese estipulada, a qual preceitua que “o percentual de acerto do uso combinado do índice FSI ou FSI_925 com o Método para Previsão de Nevoeiro, em Porto Alegre (Aeroporto Salgado Filho), no período de 2008 a 2010, é igual ou superior a 80%”, pois o índice de acerto obtido utilizando a Tabela de Contingência Método para Previsão de Nevoeiro x FSI_925 foi de 80 %.

CONCLUSÃO

A procura por melhores resultados na previsão de nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho, localizado na cidade de Porto Alegre, é um desafio constante para os

previsores do Serviço de Meteorologia Aeronáutica de Porto Alegre, requerendo extrema dedicação e uma busca contínua por índices de acerto confiáveis e métodos que permitam antecipar a ocorrência do fenômeno. Esta previsão é de vital importância, pois permitirá um aprimoramento do planejamento de voo por parte dos componentes e dos gerentes do transporte aéreo e possibilitará a capacidade de antecipar a ocorrência de nevoeiro nesse aeroporto, em até 12 horas. Por meio do conhecimento prévio da interrupção dos pousos e decolagens no Aeroporto Salgado Filho, provocada por esse fenômeno meteorológico, será possível ao Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA) alterar, momentaneamente, a “malha aérea” permitindo a otimização do uso dos demais aeroportos da região Sul e Sudeste do Brasil, diminuindo o impacto na navegação aérea nessas regiões.

O presente estudo foi motivado pela observação do autor que, ao exercer o cargo de Chefe da Subdivisão de Meteorologia do CINDACTA II, vivenciou as dúvidas dos previsores do CMA1-PA, em relação aos benefícios da aplicação do Método para Previsão de Nevoeiro, desenvolvido por Lima, gerando, então, a inquietação que culminou com esse estudo.

Com o intento de contextualizar o trabalho científico foi realizada a revisão conceitual dos nevoeiros de radiação e de advecção, do índice de acerto preconizado pela ICAO para esse fenômeno, do Método para Previsão de Nevoeiro elaborado por Lima, da relação entre distribuição vertical de umidade e formação de nevoeiro, do cálculo do *Fog Stability Index* (FSI), do uso combinado do FSI com o perfil vertical de estabilidade do ar e da frequência da ocorrência de nevoeiro no Aeroporto Salgado Filho.

O universo da pesquisa foi de 735 dias e a amostra analisada foi de 717 dias, sendo adotado um grau de confiança de 99% e tendo sido calculado um erro de 0,51%.

O objetivo da pesquisa em se verificar de que forma o uso combinado do índice FSI com o método para previsão de nevoeiro afetou o índice de acerto na previsão desse fenômeno, para o Aeroporto Salgado Filho, nos meses de março a outubro e no período de 2008 a 2010, foi atingido por meio da análise hipotético-dedutiva dos dados meteorológicos de ar superior e de superfície, através de tabelas de contingência, obtendo-se para o Método para Previsão de Nevoeiro e para o uso combinado, respectivamente, os índices de acerto de 79 e de 80%.

Na consolidação dos dados meteorológicos foi constatada a confirmação da hipótese estipulada, a qual preceitua que o percentual de acerto do uso combinado do índice FSI ou FSI_925 com o Método para Previsão de Nevoeiro, em Porto Alegre (Aeroporto Salgado Filho), no período de 2008 a 2010, é igual ou superior a 80%, pois o índice de acerto obtido, por meio da Tabela de Contingência Método para Previsão de Nevoeiro x FSI_925, foi de 80 %.

Diante disso, deduz-se, primeiramente que o Método para Previsão de Nevoeiro para a cidade de Porto Alegre, tendo obtido um índice de acerto de 79% no período de mar. 2008 a out. 2010, deverá sofrer aprimoramento para continuar a ser utilizado pelos previsores do CMA1-PA. Na sequência, conclui-se que o uso combinado do Método para Previsão de Nevoeiro com o FSI_925, pode ser adotado como uma ferramenta eficiente e inovadora, para a previsão do fenômeno meteorológico “Nevoeiro” pelo Serviço de Meteorologia Aeronáutica de Porto Alegre, pois o método obteve o índice de acerto igual a 80%, atendendo o preconizado pela ICAO para essa variável meteorológica.

Por fim, foi observado neste trabalho que o Método para Previsão de Nevoeiro, desenvolvido por Lima para o Aeroporto Salgado filho, tendo obtido um índice de acerto de 79%, apresenta um elevado potencial de uso, desde que seja realizado um estudo para a atualização dos limites de suas variáveis preditoras, em especial, a tendência da pressão entre as 08 e 10 horas locais que obteve um índice de acerto de 69%.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.,A.,F. **Análise de Frequência da Ocorrência de Nevoeiro no Aeroporto Internacional Salgado Filho – Porto Alegre/RS**. 2008. 39 f. Monografia (Curso de Especialização em Meteorologia Aeronáutica) - Instituto de Controle do Espaço Aéreo, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://www.rede-met.aer.mil.br/Artigos/ocorr_nev_sbpa.pdf>. Acesso em 4 mar. 2012.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **FCA 105-2: código meteorológico TAF**. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 105-2: método de avaliações de previsão meteorológica**. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

FERREIRA, A. G. **Interpretação de Imagens de Satélites Meteorológicos**: uma visão prática e operacional do hemisfério sul. Brasília: Stilo, 2002. 188p.

FRANÇA, V. D. J.; QUEIROZ, A. P; BASTOS P. R. B. C. Nevoeiro em Porto Alegre - Preditores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais Eletrônicos...** Belém: CBMET, 2012. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/743_71054.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2012.

ICAO. **Meteorological Service for International Air Navigation – Annex 3. Attachment B** – operationally desirable accuracy of forecasts – ATT B-1. Montreal, 2010.

JANUÁRIO, C., S. **Nevoeiro**. 2003. 29 f. Monografia (Curso de Bacharelado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/ind.php?inic=00&prod=ensino&pos=2>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

LIMA, J. S. Método de Previsão de Ocorrência e de Duração de Nevoeiro em Porto Alegre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2., 1982, Pelotas. **Anais Eletrônicos...** Pelotas: CBMET, 1982. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/16-9cf5b2fb31f86ae595aa59170624c8a.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2012.

PIVA, E.; FEDOROVA, N. Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 2, p. 47-62, dez. 1999.

REYMANN, M. et al. **Meteorological Techniques**. Technical Note, AFWA/TN—98/002. Nebraska: Air Force Weather Agency, 1998. Disponível em: <<http://www.novalynx.com/manuals/tn98002.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2012.

SPIEGEL, M. R. **Probabilidade e Estatística**. Probability and Statistics. Tradução de Alfredo Alves de Farias. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 518p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2.ed. Brasília, DF: PAX, 2001. 515p.