



Nova Metodologia para Previsão de Eventos de Nevoeiro para o Aeroporto Zumbi dos Palmares em Maceió (Alagoas)
New Methodology for Evaluation of the Fog Events for the Zumbi dos Palmares Airport, in Maceió (Alagoas)

João Pedro Gonçalves Nobre¹; Natalia Fedorova¹;
Vladimir Levit¹; Alexandre Silva dos Santos² & Matheus José Arruda Lyra³

¹Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas,
Avenida Lourival Melo Mota 970, 57072-900, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL, Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra,
Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Programa de Pós Graduação em Ciências Climáticas,
Avenida Senador Salgado Filho 882, 59064-741, Candelária, Natal, RN, Brasil

³Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais,
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Avenida Aprígio Veloso 3000, 58429-900,
Bairro Universitário, Campina Grande, PB, Brasil

E-mails: pedronobrejp@gmail.com; nataliabras@gmail.com;

vladimirle@gmail.com; puffy78@gmail.com; matheuslyraa@gmail.com

Recebido em: 15/05/2019 Aprovado em: 26/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_527_535

Resumo

Eventos de nevoeiro durante o pouso e decolagem de aeronaves têm se mostrado perigosos por causa da baixa visibilidade, causando prejuízos socioeconômicos, incluindo perda de vidas humanas. Um modelo de previsão de nevoeiro Fog Visibility versão 1 (FogVIS v1.0) foi criado para o Aeroporto Zumbi dos Palmares (Maceió, Brasil). Essa ferramenta foi desenvolvida na linguagem de programação C# usando o software Visual Studio Community e a visibilidade foi calculada usando o conteúdo de água líquida (LWC) e a concentração do número de gotas (Nd). O LWC e o Nd foram calculados em uma grade bidimensional (x, y) durante os episódios de nevoeiro por meio de equações conhecidas e variáveis meteorológicas do modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting (WRF) para o Nordeste Brasileiro (NEB). Scripts em National Center for Atmospheric Research Command Language (NCL) foram desenvolvidos para estimar o Nd e LWC com três grades aninhadas (27, 9 e 3 km) sobre o NEB utilizando o modelo WRF. O modelo Parameterized FOG (PAFOG) foi desenvolvido pela Universidade de Bonn (Alemanha) para a previsão de nevoeiro de radiação. Os modelos PAFOG e FogVIS v1.0 não previram dois eventos de nevoeiro dentre os cinco avaliados, com a visibilidade de 300 e 600 m. Os modelos detectaram três eventos de nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares dentre os cinco casos avaliados. A nova ferramenta, FogVIS v1.0, previu visibilidades de 476, 865 e 748 m, quando foram detectados eventos de nevoeiro com visibilidades de 450, 600 e 700 m pela estação de superfície do aeroporto. As visibilidades previstas pelo modelo PAFOG para os mesmos eventos foram de 176, 7951 e 202 m, respectivamente, demonstrando que a nova ferramenta desenvolvida (FogVIS v1.0) previu um maior número de eventos de nevoeiro dentre os casos estudados (60%).

Palavras-chave: visibilidade baixa; parametrização; microfísica do nevoeiro

Abstract

Fog events, due to the low visibility, have generated many socioeconomic losses, including human lives. Aircrafts takeoff and landing during fog events are very dangerous. A fog forecast model (FogVIS v1.0) was created for Zumbi dos Palmares Airport (Maceio, Brazil). A tool called FogVIS v1.0 was developed in the C# programming language using the Visual Studio Community software and the visibility was calculated using liquid water content (LWC) and number droplet concentration (N_d). The LWC and N_d were calculated over a bi-dimensional grid (x, y) during the fog episodes with well known equations and meteorological variables by the Weather Research and Forecasting (WRF) model for the Brazilian Northeast (BNE). NCAR Command Language (NCL) scripts were developed to estimate N_d and LWC with three nesting cells (27, 9, and 3 km) over BNE using WRF model. The PAFOG model (Parameterized FOG) was developed by University of Bonn (Germany) for the radiation fog forecasting. Neither PAFOG nor FogVIS v1.0 models forecasted two events with the visibility of 300 and 600 m. These models detected three fog events in the airport among the five evaluated cases. The new tool, FogVIS v1.0 predicted the visibility of 476, 865 and 748 m when visibility of 450, 600 and 700 m were observed by the observational data. Predicted visibility by the PAFOG model for the same events was 176, 7951 and 202 m, respectively. The results demonstrate the new tool (FogVIS v1.0) forecasted a larger number of fog events among the evaluated cases (60%).

Keywords: low visibility; parameterization; fog microphysics

1 Introdução

Os fenômenos meteorológicos adversos têm grande potencial de causar perdas econômicas e sociais, incluindo vidas humanas. Segundo Varejão-Silva (2001), nevoeiros são gotículas de água em suspensão na camada contígua à superfície terrestre, com capacidade de reduzir a visibilidade horizontal a menos de 1 km. De acordo com a intensidade da restrição de visibilidade Petterssen (1940) classifica os nevoeiros em fracos (1000 m a 500 m), médios (500 m a 100 m) e fortes (abaixo de 100 m). Al-Mutairi (2017) considera o nevoeiro como um fenômeno formado quando o vapor de água é condensado junto à superfície terrestre e nela formam-se pequenas gotículas com diâmetro inferior a 100 micrômetros. Hess *et al.* (1998) consideram que em um nevoeiro de intensidade moderadamente baixa, o número de concentração de gotas (N_d) e o conteúdo de água líquida (LWC) são respectivamente equivalentes a 15 cm^{-3} e $0,056 \text{ g.m}^{-3}$, enquanto que o LWC obtido por Huang *et al.* (2010) para o nevoeiro marítimo sobre o mar de Huanghai é equivalente a $0,01 \text{ g.m}^{-3}$. Para a região tropical o nevoeiro ocorre sob perfil vertical com instabilidade condicional (Fedorova & Levit, 2016) em baixos níveis (1000-850hPa).

A redução da visibilidade, historicamente, tem causado uma série de prejuízos socioeconômicos e isso tem motivado o desenvolvimento de métodos que auxiliem na previsão de nevoeiros na intenção de se evitar danos que inviabilizem o bom desempenho de diversos setores das atividades humanas (aéreo, ferroviário, hidroviário) (Fedorova *et al.*, 2012, 2015).

Modelos de previsão de visibilidade têm sido criados a fim de serem testados em regiões específicas do planeta (Bergot *et al.*, 2005; Gultepe *et al.*, 2006; Zhou & Du, 2010; Zhou *et al.*, 2011). Para a região tropical, ainda não foi criado um modelo de previsão de visibilidade baixa que considere os processos físicos associados à sua formação. O modelo PAFOG (PArmeterized FOG), ferramenta utilizada na previsão de nevoeiros dentro de massas de ar sem zona frontal, foi testado para a Alemanha. Detalhes sobre as características do modelo podem ser obtidas em Bott & Trautmann (2002). O modelo foi

avaliado para a Região Nordeste do Brasil (NEB) por Silva (2012), Fedorova *et al.* (2008, 2012) e Afonso (2016).

Segundo dados do Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), para o aeroporto Zumbi dos Palmares foram identificados 92 casos de nevoeiro entre 1996 e 2016, uma média de 4,6 eventos de nevoeiro por ano e duração média de 1,3 h. Apesar do número de eventos de nevoeiro pelo ICEA revelar uma quantidade significativa para a região tropical, esse número é reduzido a 29 eventos quando se considera os casos de nevoeiro ocorridos em intervalos de tempo consecutivos para um mesmo dia como sendo apenas um.

Normalmente esse fenômeno ocorre no aeroporto de Maceió durante a estação de inverno austral, entre os meses de junho e agosto, totalizando cerca de 67,4% dos eventos registrados. Os outros 30,4% restantes referem-se principalmente a pré e pós estação de inverno, equivalentes respectivamente ao outono, com 27,2 %, e a primavera, com 3,2 % dos casos. Os outros 2,2 % ocorreram no verão.

Estudos apontam que parte dos nevoeiros que acontecem no NEB são caracterizados por serem de intensidade fraca ou moderada (Afonso, 2012), apresentando um intervalo entre seu início e sua dissipação entre 20 minutos e 4 horas de duração (Fedorova *et al.*, 2008, 2012, 2015).

A intenção deste trabalho é apresentar uma ferramenta que simplifique a estimativa da visibilidade para o aeroporto Zumbi dos Palmares se comparado ao modelo PArmeterized FOG (PAFOG), permitindo que meteorologistas com conhecimentos computacionais básicos consigam utilizar a ferramenta no centro operacional. Uma comparação entre os resultados do software FogVIS v1.0 com o modelo PAFOG é apresentada para demonstrar a performance da nova ferramenta durante episódios de nevoeiro.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

As previsões feitas pelo software FogVIS v1.0 foram realizadas para as coordenadas geográficas da

estação meteorológica de superfície do Aeroporto Zumbi dos Palmares (altitude de 118 m, latitude de $-9,52^{\circ}$ S e longitude de $-35,78^{\circ}$ O).

2.2 Dados Observacionais

Dados do período 1996-2015 referentes a temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}$ C), pressão em superfície (hPa), velocidade do vento a 2 m de altura ($m.s^{-1}$), altura da estação (m), nebulosidade (oitavos) e visibilidade horizontal (m), fornecidos pela Rede de Meteorologia da Aeronáutica (REDEMET) foram utilizados para construção de um banco de dados climatológicos que auxiliará o previsor a compreender o comportamento das variáveis meteorológicas durante o processo da formação do nevoeiro.

2.3 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)

O modelo numérico de tempo em mesoescala empregado foi o *Weather Research and Forecasting* (WRF), um dos modelos numéricos de previsão do tempo e pesquisa mais utilizados do mundo, amplamente apoiado e continuamente aprimorado pela comunidade internacional de pesquisa em ciência atmosférica global. O modelo resolve numericamente os processos atmosféricos dentro da camada limite atmosférica, incluindo rugosidade tanto de superfícies *onshore* como *offshore*, fluxos de calor e de umidade, estabilidade atmosférica, perfil de velocidade e turbulência.

Para as simulações numéricas apresentadas aqui são utilizadas três grades aninhadas e concêntricas, centradas nas coordenadas geográficas $-9,55^{\circ}$ S e $-35,78^{\circ}$ W de latitude e longitude, respectivamente. O domínio externo tem espaçamento de grade de 27 km e 70 x 70 pontos de grade em cada direção horizontal. A primeira grade aninhada tem espaçamento de 9 km e 58 x 58 pontos na direção horizontal. A grade interna tem 3 km de espaçamento com 46 x 46 pontos na horizontal (Figura 1). Todas as grades utilizadas possuem 40 níveis na vertical. A simulação do estudo foi determinada para que o modelo fosse configurado para comportamento atmosférico em 40

níveis verticais, em coordenadas eta-sigma, desde a superfície até elevações nas quais a pressão atinja o topo de 50 hPa.

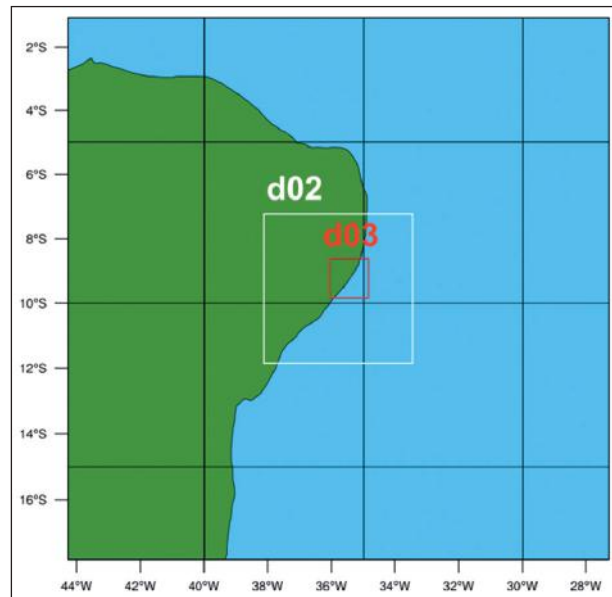


Figura 1 Grades aninhadas utilizadas para as simulações no modelo WRF.

As condições iniciais e de contorno são fornecidos pelo *Global Forecast System-Final* (GFS-FNL) com $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, disponíveis a cada 6 horas no sítio: (<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>). No total foram realizadas 5 simulações. Um extenso banco de dados meteorológicos e geográficos foi utilizado para determinação das condições iniciais e de contorno para o modelo WRF. Os principais dados meteorológicos de entrada são provenientes de reanálises GFS-FNL, resultados modelados de um banco de dados contendo série temporal de longo prazo. Os principais dados geográficos são de topografia e cobertura do solo. Os dados de topografia da base *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), que conta com dados de elevação espacial de 30 m, foram empregados com a finalidade de gerar um banco de dados topográfico de alta resolução para assimilação de dados no modelo WRF. O SRTM é o mais completo banco de dados topográfico digital de alta resolução da Terra, elaborado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) a partir de dados coletados por um sistema de radar a bordo do ônibus espacial Endeavour. As informações digitais de cobertura do

solo são da base de dados do satélite *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que é um mapa global de cobertura territorial de 20 categorias diferentes e resolução espacial em grade regular de aproximadamente 925 m.

A configuração e as parametrizações físicas adotadas no estudo simulado pelo WRF foram sintetizadas na Tabela 1.

Parâmetro	Valor/Descrição
Modelo de mesoescala	WRF
Resolução horizontal do modelo de mesoescala	3 km
Base de dados de vento	GFS-FNL
Base de dados de topografia	SRTM de resolução espacial 30 m
Base de dados de rugosidade	MODIS de resolução espacial 925 m
Numero de níveis verticais da atmosfera	40
Radiação de comprimento de onda longa	Rapid Radiative Transfer Model (RRTMG)
Radiação de comprimento de onda curta	RRTMG
Microfísica	WRF Single-Moment 6-class
Cumulus	Kain-Fritsh (Kain, 2004)
Camada de superfície	Mellor-Yamada Nakanishi Niino (MYNN) Schemes (Nakanishi & Niino, 2006)
Modelo de superfície do solo	Noah land-surface model (Tewari et al., 2004)
Camada limite planetária	Yonsei University (YSU) Scheme (Hong et al., 2006)

Tabela 1 Configuração e parametrizações físicas utilizadas na simulação do modelo WRF

2.4 Equações Utilizadas

Para estimar a visibilidade horizontal no Aeroporto Zumbi dos Palmares foi utilizada a equação proposta por Gul-tepe & Isaac (2004) para calcular o N_d , Equação 1. O LWC , Equação 2, foi estimado conforme descrito por Vidot & Hocking (2017).

$$N_d = -0,071T^2 + 2,213T + 141,56 \quad (1)$$

$$LWC = q_{liquida} \frac{P10^2}{R_{moist}T_k} \quad (2)$$

Na Equação 1, T^2 refere-se a temperatura do ar em superfície dada em °C. Na Equação 2, $q_{liquida}$ é a razão de mistura ou conteúdo de água líquida dada em $kg.kg^{-1}$, P é a pressão em hPa, R_{moist} é constante dos gases para o ar úmido e T_k é a temperatura do ar em K.

O R_{moist} é calculado através das equações que se seguem.

$$R_{dry} = \frac{R}{M_{dry}} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{M_{H_2O}}{M_{dry}} \quad (4)$$

$$R_{moist} = R_{dry} \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} q_{H_2O}\right) \quad (5)$$

Na Equação 3, R_{dry} é a constante do gás para o ar seco, R é a constante do gás ideal e R_{moist} é a massa molar para o ar seco. Na Equação 4, ε é o coeficiente entre M_{dry} e a massa molar para o ar saturado (M_{H_2O}). Para calcular R_{moist} , portanto, são necessários os valores dos parâmetros anteriormente descritos e da umidade específica (Equação 6) estimada por modelos numéricos, dada em $kg.kg^{-1}$, razão entre a massa de vapor d' água (m_w) e a massa de ar úmido (m_a).

$$q_{H_2O} = \frac{m_w}{m_a} \quad (6)$$

A visibilidade para o aeroporto Zumbi dos Palmares, é função de duas variáveis básicas o LWC e o N_d , calculados pela Equação 7, proposta por Gul-tepe *et al.* (2006).

$$Vis = \frac{1,002}{(LWC.N_d)^{0,6473}} \quad (7)$$

O índice de estabilidade de nevoeiro *Fog Stability Index* (FSI) (Equação 8) foi desenvolvido pelo *US Air Weather Service* em 1979, e aprimorado por Holtslag *et al.* (2010). Esse método baseia-se no perfil termodinâmico referente aos episódios de nevoeiro para avaliar a probabilidade baixa ($FSI > 55$), moderada ($31 \leq FSI \leq 55$) e alta ($FSI < 31$) de ocorrência

de névoa levando em consideração variáveis meteorológicas como, temperatura do ar em superfície (T), temperatura do ar em 850 hPa (T_{850}), temperatura do ponto de orvalho em superfície (T_d), todas expressas em °C, e a velocidade do vento em 850 hPa (W_{850}) obtida do modelo WRF, dada em nós, conforme descrito na Equação 7. Essa equação foi utilizada pois os dados do modelo WRF ilustraram um comportamento atmosférico relativamente estável em baixos níveis (1000-850hPa), não sendo necessário, portanto, realizar alterações no cálculo do método inicialmente proposto.

$$FSI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{850}) + W_{850} \quad (8)$$

2.5 Softwares Utilizados

Para o desenvolvimento deste experimento utilizou-se três ferramentas: o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) *Command Language* (NCL), o modelo PAFOG e o *software* FogVIS v1.0.

2.5.1. NCL

O NCL é uma ferramenta de visualização gráfica que permite importar e exportar dados em vários formatos (ASCII, HDF, NetCDF).

2.5.2. PAFOG

O PAFOG, é um modelo paramétrico unidimensional, contendo 4 módulos com informações de diferentes variáveis meteorológicas e tem sido utilizado para o estudo de eventos de nevoeiro ocorridos no aeroporto Zumbi dos Palmares. Os seus módulos são: 1) módulo dinâmico: com dados geográficos (latitude, longitude e altitude da estação meteorológica); solo (tipo de solo); vegetação (cobertura e altura); dados das estações meteorológicas (temperatura do ar e do ponto de orvalho na superfície, umidade relativa do ar a 2 m acima do solo, visibilidade horizontal e pressão em superfície). 2) Módulo da microfísica das nuvens: cobertura da nebulosidade em baixos, médios e altos níveis. 3) Módulo para o cálculo da radiação: dados de radiossondagem (pressão em diferentes níveis entre 1000 e 100 hPa), temperaturas do ar e do ponto de orvalho à superfície

e velocidade do vento geostrófico (calculados utilizando o modelo WRF). 4) Módulo para vegetação baixa: temperatura do solo e umidade relativa em diferentes profundidades (0,1; 0,2 e 0,3 m) considerados dados paramétricos do modelo. Os dados meteorológicos provenientes da estação de superfície do aeroporto Zumbi dos Palmares foram utilizados para inicialização nos módulos 1, 2 e 4 do modelo para prognosticar a visibilidade horizontal (m).

2.5.1. FogVIS v1.0

A ferramenta FogVIS v1.0 é uma aplicação desenvolvida em C# pelo laboratório de meteorologia sinótica e física da Universidade Federal de Alagoas. Ela é utilizada para prever a visibilidade horizontal no aeroporto Zumbi dos Palmares. Tal ferramenta é constituída de três módulos: 1) Introdução, onde se explicam as funcionalidades e parametrizações do modelo; 2) Georreferenciamento, onde são inseridos os dados das coordenadas geográficas do aeroporto e 3) Módulo de execução, onde os dados de entrada do modelo WRF, tais como pressão (hPa), velocidade do vento ($m.s^{-1}$), umidade específica ($kg.kg^{-1}$), temperatura do ar e do ponto de orvalho (°C) e nebulosidade (oitavos) para diferentes níveis verticais são inseridos. Ademais estima-se a concentração do número de gotas, visibilidade e cálculo do FSI no aeródromo (Equações 1, 7 e 8, respectivamente), visando detectar eventos de nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares.

3 Resultados e Discussão

Utilizando o software NCL foram desenvolvidos *scripts* a fim de se obter uma estimativa espacial do conteúdo de água líquida e a concentração do número de gotas a partir dos dados do modelo WRF. Os resultados dos produtos desenvolvidos foram imagens bidimensionais do estado da atmosfera durante as horas de ocorrência de nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares.

3.1 Previsão Dia 11/07/2002

O nevoeiro registrado pela estação de superfície ocorreu durante a madrugada do dia 11 de julho

de 2002 a partir das 08:32 UTC e com 28 min de duração (Figura 2). A visibilidade horizontal registrada para o aeródromo de Maceió foi de 800 m, sendo classificada como nevoeiro de intensidade fraca.

O valor do LWC obtido pela ferramenta FogVIS v1.0 (Figura 2A) e do N_d (Figura 2B) para esse dia foram respectivamente equivalentes a $0,02 \text{ g.m}^{-3}$ e 158 cm^{-3} . O valor do LWC ilustra uma atmosfera nas proximidades do aeroporto Zumbi dos Palmares com elevado conteúdo de água líquida. O reflexo dessa alta concentração na região do aeroporto foi a redução da visibilidade horizontal durante a simulação numérica para o episódio de nevoeiro em Maceió no dia 11 de julho 2002, retornando um valor de visibilidade equivalente a 476 m ao utilizar o software FogVIS v1.0 e prevendo o evento de névoa com 28 h de antecedência.

Para esse dia, o modelo PAFOG detectou eventos de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares, fornecendo um valor para a visibilidade equivalente a 176 m, com 31 h de antecedência.

O FSI calculado foi equivalente a 36, o que indica uma probabilidade moderada para ocorrência de nevoeiro na região do aeroporto Zumbi dos Palmares.

3.2 Previsão Dia 21/05/2005

Nenhuma das ferramentas utilizadas conseguiram prever o evento de nevoeiro detectado pela estação de superfície do aeroporto Zumbi dos Palmares, as 04:42 UTC e com 18 min de duração para o dia 21 de maio de 2005. O LWC estimado com os dados de previsão do modelo WRF apresentou-se com um valor equivalente a $0,00002 \text{ g.m}^{-3}$, valor que retrata uma atmosfera com baixa concentração de água líquida. O N_d para esse dia foi equivalente a 157 cm^{-3} .

Apesar das aplicações utilizadas não previrem o evento de nevoeiro, o FogVIS v1.0 por meio do FSI detectou uma possibilidade moderada de ocorrência de eventos de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares, com um FSI equivalente a 39.

3.3 Previsão Dia 14/07/2005

O evento de nevoeiro registrado para o dia 14 de julho de 2005 (Figura 3) pela estação de superfície do aeroporto Zumbi dos Palmares ocorreu durante a madrugada do dia 14 de julho de 2005 a partir das 05:00 UTC e com 02 h 15 min de duração.

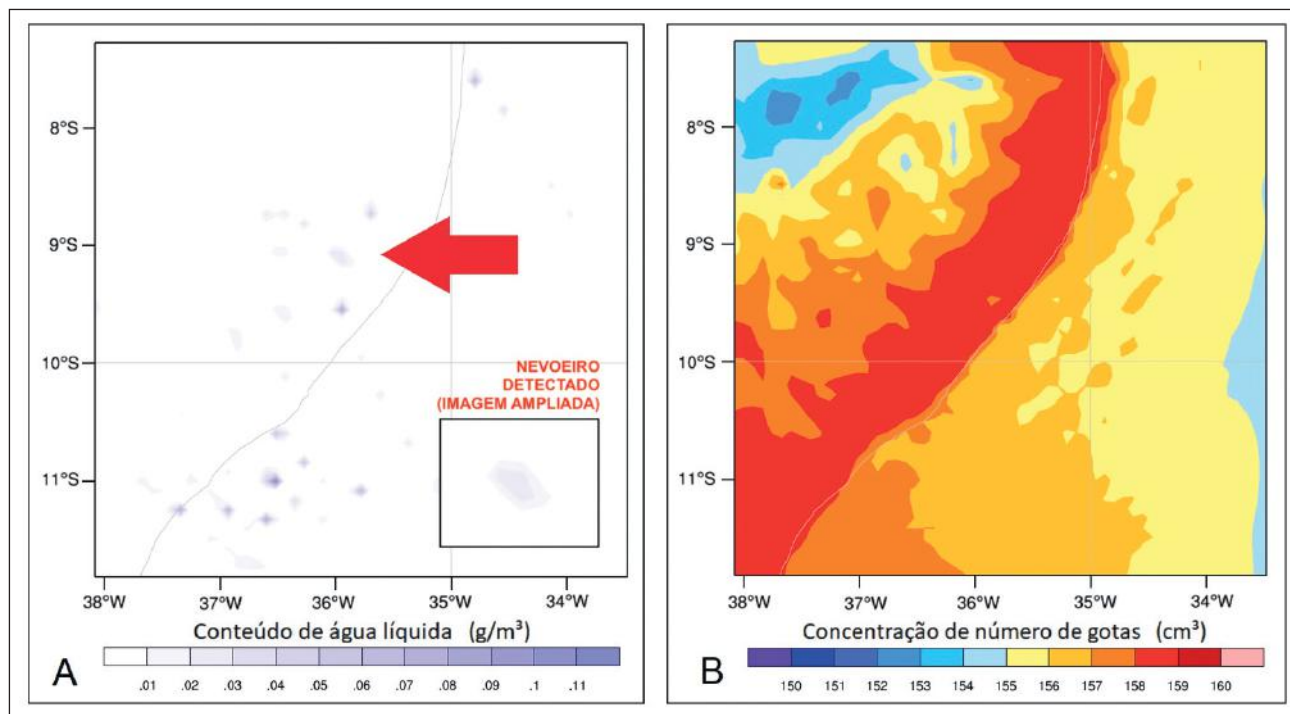


Figura 2 A. Previsão do LWC (g.m^{-3}) (A); N_d (g.m^{-3}) (B) para o dia 11/07/2002 às 08:00UTC pelo modelo FogVIS v1.0.

A visibilidade horizontal registrada para o aeroporto Zumbi dos Palmares foi de 190 m, sendo classificada como moderada.

A previsão elaborada para esse dia utilizando o modelo PAFOG não conseguiu detectar eventos de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares, porém a aplicação FogVIS v1.0 conseguiu detectar eventos de névoa com 30 h de antecedência sobre Maceió, com valores de LWC (Figura 3A) e N_d (Figura 3B) equivalentes respectivamente a $0,008 \text{ g.m}^{-3}$ e 157 cm^{-3} . O valor da visibilidade obtida a partir da aplicação FogVIS v1.0 foi equivalente a 865 m.

O FSI registrado para esse dia era equivalente a 51, o que demonstra que existia uma probabilidade moderada para a ocorrência de nevoeiro no aeroporto Zumbi dos Palmares.

3.4 Previsão Dia 27/06/2014

O nevoeiro registrado no dia 27 de junho de 2014 (Figura 4) ocorreu a partir das 01:00 UTC e com 2 h de duração. A visibilidade horizontal registrada inicialmente para o aeródromo de Maceió foi de 700 m, sendo classificada como nevoeiro de intensidade fraca.

Nesse dia foram identificados eventos de nevoeiro pelo modelo PAFOG e pelo software FogVIS v1.0, com 29 h e 30 h de antecedência, respectiva-

mente. Os valores do LWC (Figura 4A) e N_d (Figura 4B) corresponderam respectivamente a $0,01 \text{ g.m}^{-3}$ e 157 cm^{-3} .

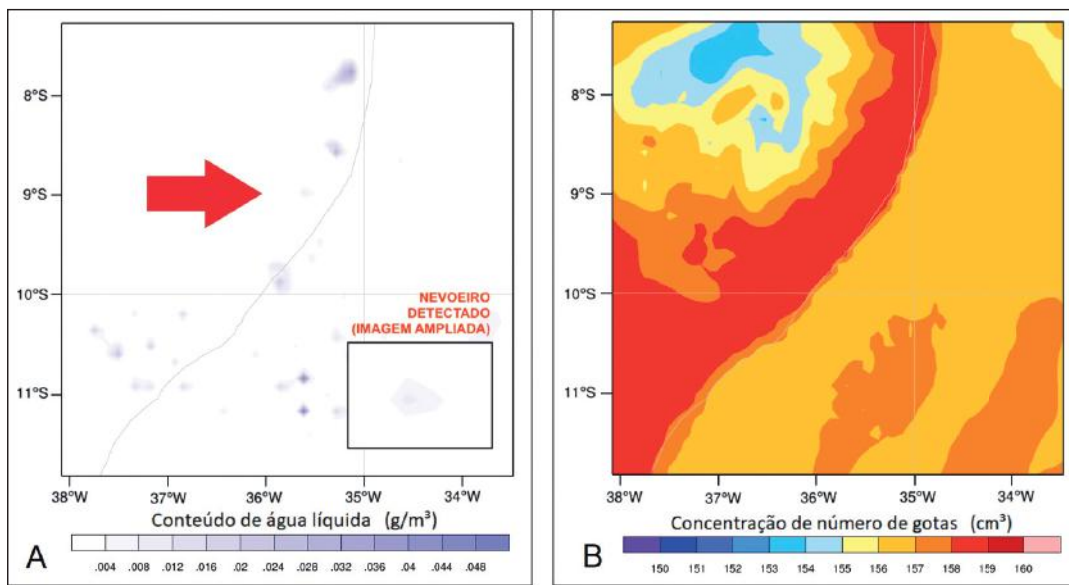
Nesse caso em especial, o LWC calculado foi o reflexo do conteúdo de água existente na coluna atmosférica para os níveis, superficial e aproximadamente 7 m acima da superfície utilizando o modelo WRF, uma vez que segundo Miguens (2000) para ser considerado nevoeiro a nuvem pode estender-se até 15 m de altitude. O valor de visibilidade registrado pelo software FogVIS v1.0 foi equivalente a 748 m. Já o nevoeiro registrado pelo modelo PAFOG teve a visibilidade horizontal reduzida em 255 m.

O FSI registrado para esse dia era equivalente a 76, havendo uma baixa probabilidade de ocorrência de nevoeiro para esse dia. Diferente dos outros casos avaliados, a velocidade do vento em 850hPa foi superior a 20 m.s^{-1} , o que contribuiu para aumentar o valor do FSI e diminuir a probabilidade de ocorrência de névoa para o aeroporto.

3.5 Previsão Dia 02/06/2016

Ambas aplicações, PAFOG e FogVIS v1.0, não conseguiram identificar o evento de nevoeiro nas proximidades do aeroporto Zumbi dos Palmares com visibilidade reduzida em 500 m, que ocorreu as 05 UTC e com 1 h de duração para o dia 02 de junho de 2016. Essa ausência de eventos se deu devido a

Figura 3 Previsão do LWC (g.m^{-3}) (A); N_d (g.m^{-3}) (B) para o dia 14/07/2005 as 06:00UTC pelo modelo FogVIS v1.0



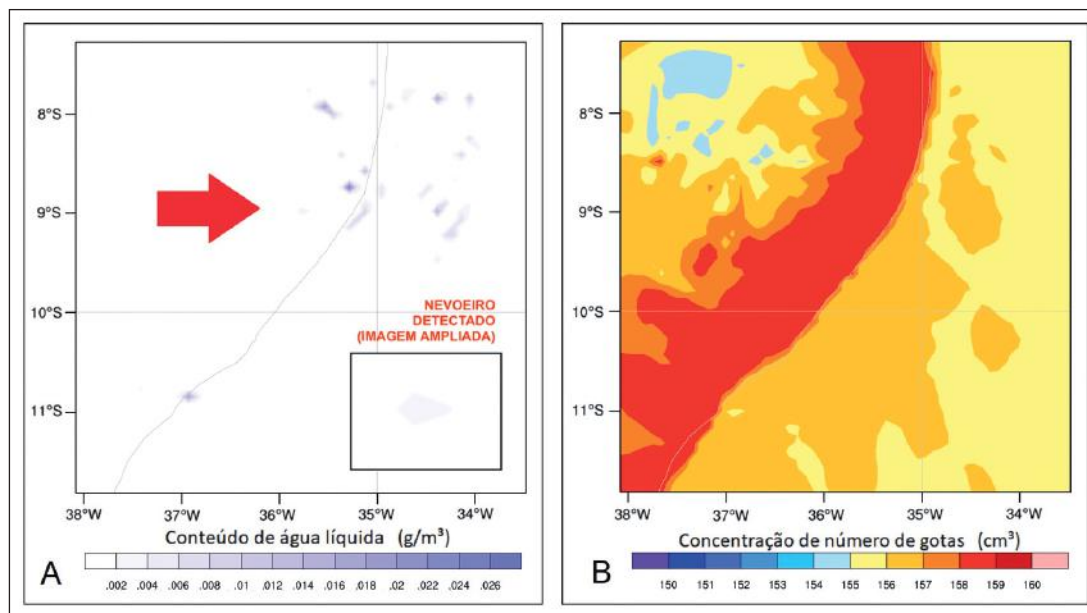


Figura 4 Previsão do LWC (g.m^{-3}) (A); N_d (g.m^{-3}) (B) para o dia 27/06/2014 as 06:00 UTC pelo modelo FogVIS v1.0

baixa concentração de água líquida detectada ao calcular o LWC através dos dados modelo WRF, que para esse dia foi equivalente a $0,0000002 \text{ g.m}^{-3}$. O N_d previsto para esse dia era de 159 cm^{-3} , valor similar aos previstos em episódios de nevoeiro anteriores pela mesma ferramenta.

O FSI obtido neste evento foi de 50, o que indicava a existência de possibilidade moderada para a ocorrência de nevoeiro neste dia para o aeroporto Zumbi dos Palmares.

3.6 Análise dos Resultados

Através dos resultados obtidos, verifica-se que a ferramenta FogVIS v1.0 conseguiu prever 60% dos casos avaliados, enquanto que o PAFOG apenas 40%, conforme ilustrado pela Tabela 2.

Caso	Dia	Visibilidade (m)				FSI	Probabilidade
		Real	PAFOG	FogVISv1.0	FSI		
1	11/07/2002	450	176	476	36	Moderada	
2	21/05/2005	300	>10000	>10000	39	Moderada	
3	14/07/2005	600	7951	865	51	Moderada	
4	27/06/2014	700	212	748	76	Fraca	
5	02/06/2016	600	>10000	>10000	50	Moderada	

Tabela 2 Detecção dos eventos de nevoeiro obtidos por diferentes métodos

Dentre as variáveis utilizadas para o cálculo da visibilidade, observou-se que o N_d apresentou valores elevados ($157\text{-}159 \text{ cm}^{-3}$) se comprado aos apresentados por Hess *et al.* (1998), em torno de 15 cm^{-3} , sendo justificado pelo fato da parametrização proposta ter sido elaborada baseando-se em dados observacionais de nuvens no Canadá (região extratropical). Para o presente estudo a variável que melhor definiu a visibilidade horizontal pela ferramenta FogVIS v1.0, se comparado com os dados de bibliografias existentes, foi o LWC em virtude do método físico proposto, Equação 2, que obteve valores para o LWC próximos aos apresentados por Huang *et al.* (2010), equivalentes a $0,01 \text{ g.m}^{-3}$. Em 80% dos casos avaliados o FSI previu probabilidade moderada para ocorrência de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares. Em apenas 20% (um caso) a previsão utilizando esse índice não se mostrou eficaz, conforme mostra a Tabela 2. A probabilidade alta de ocorrência de nevoeiro não foi constatada ($\text{FSI} < 31$), pois os eventos de nevoeiro na região tropical ocorrem em sua maioria sob um perfil dominado por forte instabilidade condicional entre 1000-850hPa (Fedorova & Levit, 2016) e não sob condições termodinâmicas predominantemente estáveis.

4 Conclusão

Criou-se uma nova ferramenta, FogVISv1.0, para estimativa da visibilidade no aeroporto Zumbi dos Palmares. Diferentemente do modelo PAFOG,

o FogVISv1.0 pode ser facilmente utilizado por meteorologistas com conhecimentos computacionais básicos em um centro operacional, em virtude da facilidade operacional promovida pela interface gráfica desenvolvida.

Para os casos analisados, a ferramenta FogVISv1.0 funcionou melhor que o modelo PAFOG, detectando 60 % dos eventos estudados, apesar de ambas aplicações terem previsto eventos de nevoeiro para o aeroporto Zumbi dos Palmares com mais de 28 horas de antecedência.

O Nd calculado através do modelo paramétrico proposto não apresentou variações expressivas, se comparado os dias com detecção de episódios de nevoeiro com os dias que não foram detectados episódios de névoa, apresentando valores em torno de 157-159 cm⁻³. A metodologia utilizada para estimativa do LWC demonstrou-se satisfatória para detecção de episódios de nevoeiro, com valores em torno de 0,01 g.m⁻³.

5 Agradecimentos

Ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Alagoas, juntamente com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) por financiarem o projeto Desenvolvimento de Métodos de Previsão de Nevoeiro para o Estado de Alagoas. Ao professor Andreas Bott da Universidade de Bonn, por conceder o modelo PAFOG e nos auxiliar no desenvolvimento de uma nova metodologia.

6 Referências

Afonso, J.M.S. 2012. *Influência da Vegetação na Previsão de Nevoeiros no Aeroporto Zumbi dos Palmares*. Curso de Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Trabalho de Conclusão de Curso, 87p.

Afonso, J.M.S. 2016. *Análise de Ocorrência de Nevoeiros e dos Resultados do Modelo de Previsão PAFOG em Diferentes Regiões Climáticas do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado, 236p.

Al-Mutairi, M.K. 2017. Fog: Its Causes, Types, and Dangers in Saudi Northern Borders (A Climatic Study). *Journal of Geography And Earth Sciences*, 1: 2334-2455.

Bergot, T.; Carrer, D.; Noilhan, J. & Bougeault, P. 2005. Improved site-specific numerical prediction of fog and low clouds: A feasibility study. *Weather and Forecasting*, 20: 627-646.

Bott, A. & Trautmann, T. 2002. A New Efficient Forecast Model of Radiation Fog and Low-Level Stratiform Clouds. *Atmospheric Research*, 1-4: 191-203.

Fedorova, N.; Levit, V & Fedorov, D. 2008. Fog and Stratus Formation on the Coast of Brazil. *Atmospheric Research*, 3: 268-278.

Fedorova, N.; Levit, V.; Silva, A.O. & Bonfim, D.M. 2012. Low Visibility Formation and Forecasting on the Northern Coast of Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, 4-5: 689-709.

Fedorova, N.; Levit, V.; de Souza, J.L.; Silva, A.O.; Afonso, J.M.S. & Teodoro, I. 2015. Fog Events at Maceio Airport on the Northern Coast of Brazil During 2002-2005 and 2007. *Pure and Applied Geophysics*, 10: 2727-2749.

Fedorova, N. & Levit, V. *Fog in the Tropical Region*. 2016. Saarbrücken, Lap Lambert Academic Publishing, 92p.

Gultepe, I. & Isaac, G.A. 2004. Aircraft Observations of Cloud Droplet Number Concentration: Implications for Climate Studies. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*, 602: 2377-2390.

Gultepe, I.; Müller, M.D. & Boybeyi, Z. 2006. A New Visibility Parameterization for Warm-Fog Applications in Numerical Weather Prediction Models. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 11: 1469-1480.

Hess, M.; Koepke P. & Schult, I. 1998. Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79: 831-844.

Huang, J.; Wang, X.; Zhou, W.; Huang, H.; Wang, D. & Zhou, F. 2010. The characteristics of sea fog with different airflow over the Huanghai Sea in boreal spring. *Acta Oceanologica Sinica*, 11: 3-12.

Holtzlag, M.C.; Steeneveld, G.J. & Holtzlag, A.A.M. 2010. Fog Forecasting: "Old Fashioned" Semi-Empirical Methods from Radio Sounding Observations Versus "Modern" Numerical Models. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 5, Münster, 2010. Resumo expandido, Münster, FFCD, 2010. p. 1-4.

Hong, S.-Y.; Yign, N. & Jimy, D. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review*, 134: 2318-2341.

Kain, J.S. 2004. The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update. *Journal of Applied Meteorology*, 43: 170-181.

Miguens, A.P. 2000. *Navegação: A Ciência e a Arte*. Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, 533p.

Nakanishi, M. & Niino, H. 2006. An improved Mellor-Yamada level 3 model: its numerical stability and application to a regional prediction of advecting fog. *Boundary-Layer Meteorology*, 119: 397-407.

Petterssen, S. 1940. *Weather Analysis and Forecasting*. Nova York e Londres, Mcgraw-Hill, 505p.

Silva, A.O. 2012. *Análise e Previsão de Visibilidade Baixa no Aeroporto de Maceió*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado, 142p.

Tewari, M.; Chen, F.; Wang, W.; Dudhia, J.; LeMone, M.A.; Mitchell, K.; Ek, M.; Gayno, G.; Wegiel, J.; & Cuenca, R.H. 2004. Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. In: 20TH CONFERENCE ON WEATHER ANALYSIS AND FORECASTING/16TH CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 20, Seattle, 2004. Resumo expandido, Seattle, WAF/NWP, 2004. p. 11-15.

Varejão-Silva, M.A. *Meteorologia e Climatologia*. 2001. Brasília, Editora Pax, 515p.

Vidot, J. & Hocking, J. 2017. Numerical Weather Prediction Satellite Application Facility. Disponível em: <https://www.nwpsaf.eu/site/download/documentation/rtm/docs_rttov12/rttov_gas_cloud_aerosol_units.pdf>. Acesso em: 26 de fev. 2019.

Zhou, B. & Du, J. 2010. Fog prediction from a multimodel mesoscale ensemble prediction system. *Weather and Forecasting*, 25: 303-322.

Zhou, B.; Du, J. & Dimego, G. 2011. Forecast of low visibility and fog from NCEP: current status and efforts. *Pure and Applied Geophysics*, 5-6: 895-909.