

ESTIMATIVA DE ÁGUA PRECIPITÁVEL A PARTIR DE DADOS DO SENSOR AMSU-B DOS SATÉLITES NOAA UTILIZANDO REDES NEURAIAS.

Rosângela Cintra¹, Wagner Flauber A Lima², José Demísio S. Simões¹

RESUMO – O conhecimento da distribuição horizontal e vertical do vapor d'água na atmosfera, é necessário para aplicações de previsão numérica do tempo e estudos de clima. Um novo método baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA) é apresentado neste artigo, utilizado para estimar o conteúdo integrado de vapor d'água na atmosfera (*IWV-Integrated Water Vapor*) a partir de dados de sensores de microondas passivos a bordo de satélites, como o AMSU-B (*Advanced Microwave Sounding Unit-B*). Estes dados são fontes primárias para completar este conhecimento necessário do estado da atmosfera. Para treinar a RNA, recuperar e validar os dados estimados foram utilizados perfis de temperatura no ponto de orvalho de estações de radiossonda do projeto SALLJEX (*South American Low Level Jet Experiment*), do período de janeiro e fevereiro de 2003. A aplicação desta nova técnica de estimação permite estabelecer uma relação não linear entre as variáveis meteorológicas de temperatura de brilho e a de água precipitável. As variáveis estimadas são comparadas em série temporal à série calculada a partir das informações de radiossondas separadas em camadas da atmosfera. IWV são dados de umidade que fornecidos para assimilação de dados pode modelar um estado inicial da atmosfera mais preciso.

ABSTRACT - Knowledge of the horizontal and vertical distribution of water vapor on the global scale is required for applications ranging from numerical weather forecasting to climate modeling and climate change studies. A new retrieval method based on artificial neural network (ANN) is presented to estimate Integrated Water Vapor (IWV) using data from passive microwave satellite sensors, such as the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU). These data are a primary source for fulfilling this requirement. This technique establishes a non-linear relation with the meteorological variables. Data from SALLJEX (*South American Low Level Jet Experiment*) project was the parameter of comparison and training the ANN to estimate precipitable water. RNA provides these humidity data to data assimilation permitting to obtain an accurate initial condition to numerical models.

Palavras-Chaves: Redes Neurais, água precipitável, temperatura de brilho, sensor de microondas.

INTRODUÇÃO

O transporte do vapor d'água na atmosfera constitui um componente muito importante do ciclo hidrológico, pois é através deste que grande quantidade de água é levada, na forma de vapor, de uma região para outra. O conteúdo do vapor d'água no ar depende da magnitude dos processos de evaporação e de precipitação (Randel et al., 1998). O conhecimento da distribuição vertical e horizontal do vapor d'água em escala global é requerido para aplicações de previsão numérica de tempo, modelagem climática e estudos de mudanças globais do clima. Existem várias formas de se estimar a quantidade desta variável meteorológica. No sensoriamento remoto da nossa atmosfera, as sondagens verticais por satélites meteorológicos têm fornecido estimativas da água precipitável (ou conteúdo integrado de vapor d'água). Esta estimativa corresponde à quantidade de água, expressa em altura ou em volume, que poderia ser recolhida se todo o

¹Laboratório de Computação e Matemática Aplicada – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – LAC/INPE
Av. dos Astronautas, 1758 – CEP.: 12210-970 – São José dos Campos – SP-Brasil. Tel.: 55-12-3945-6541

² Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE
Rodovia Presidente Dutra, Km.49- CEP.12630-000, Cachoeira Paulista – SP

vapor d'água contido numa determinada coluna da atmosfera, de seção horizontal unitária, fosse condensado e precipitado. Devido a sua importância, diversos métodos foram desenvolvidos para medir e monitorar o comportamento do conteúdo integrado de vapor d'água na atmosfera (IWV) “*Integrated Water Vapor*”. Surgiram desde técnicas simples, a partir de medidas superficiais de temperatura e pressão, até métodos de alta precisão, que empregam dispositivos sofisticados como radiômetros e radiossonda. Nas frequências de microondas as gotas de nuvem têm uma interação muito pequena com a radiação. Sendo que nesta faixa do espectro eletromagnético, as microondas “penetram” as nuvens. As gotas com tamanho precipitável interagem fortemente com a radiação em microondas, o que possibilita sua detecção por radiômetros. Radiômetros de microondas a bordo de satélites tem sido usado para medir grande variedade de parâmetros da atmosfera e da superfície. A habilidade de medição do vapor de água pelos sensores de microondas passivos dos satélites, como o AMSU (*Advanced Microwave Sounding Unit*), permite inferir sondagens de perfis atmosféricos de temperatura e umidade sob condições de céu claro e nublado. O AMSU é o segundo e mais avançado instrumento de microondas lançado pela NOAA “*National Oceanic and Atmospheric Administration*”. Para otimizar o desempenho dos sensores, os 20 canais que possui são divididos em três radiômetros AMSU-A1, AMSU-A2, e AMSU-B. O radiômetro AMSU-A1 e A2 (denotado como AMSU-A) fornece medições em 15 canais com resolução de 40 km, enquanto AMSU-B fornece dados em cinco canais com resolução de 16 km, visto na Figura 1. O módulo de AMSU-B contém três canais em torno da linha de vapor de água de 183 GHz para uma sondagem de vapor d'água, enquanto os canais de 89 e 150 GHz são usados principalmente para identificar precipitação, conforme Tabela 1. De particular importância são os dois canais de frequência mais baixos (1 e 2), que ocupam as regiões mais transparentes do espectro, onde as temperaturas de brilho dependam fortemente da emissividade na superfície (Grody et al. 2001).

Tabela 1 – Características do AMSU-B do NOAA

Canais	Frequência Central (GHz)	Função Peso (hPa)
16	89	
17	150	Superfície
18	183,00 ± 1	400
19	183,00 ± 3	600
20	183,00 ± 7	750

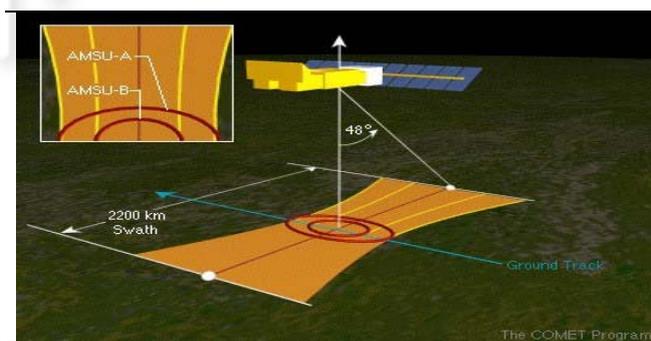


Figura 1 – Resolução ou ângulo de visada do AMSU

Para um modelo direto de transferência radioativa, as temperaturas de brilho (T_b) observadas em microondas são parcialmente originadas pela emissão da superfície terrestre e parcialmente pelos constituintes atmosféricos

. A contribuição a partir da superfície terrestre depende primariamente da natureza da superfície (ou seja, água ou terra), e da respectiva temperatura da superfície. Os dados de T_b foram adquiridos no CPTEC/INPE, do período de 18 de janeiro a 15 de fevereiro de 2003 nos horários de 06 e 18 UTC, que são os horários das passagens da órbita do satélite sobre a América do Sul, as T_b dos cinco canais do AMSU-B serão os dados de entrada da RNA. Para treinamento e validação dos dados estimados utilizaram-se dados de radiossondas.

Estações de Radiossondas são estações meteorológicas que medem as propriedades físicas da atmosfera em altitude, em geral, é utilizado um balão que transporta uma radiossonda que através de sinais de radio, transmite os valores da pressão, temperatura e umidade da atmosfera em vários níveis. Os perfis de temperatura e umidade de radiossondas que serão utilizados neste trabalho foram coletados durante a campanha intensiva do (*South American Low Level Jet Experiment - SALLJEX*) ocorreu entre novembro de 2002 e fevereiro de 2003. Para sua realização instalou-se uma densa rede de pluviômetros que incluiu 16 novas estações no Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Brasil. Algumas delas foram estabelecidas como estações provisórias de radiossondas. Durante o SALLJEX, dados foram coletados para compreender a estrutura espacial vertical das correntes em baixos níveis durante o verão do Hemisfério Sul. Dados de oito estações provisórias foram adquiridos de http://data.eol.ucar.edu/master_list/?project=SALLJEX, constantes da Tabela 2. Nesses sítios foram lançadas radiossondas principalmente nos horários de 6 e 18 UTC.

Tabela 2. Localizações das estações de radiossonda do Projeto SALLJEX, adquiridas para o experimento.

	Peru	Santiago Estero (Argentina)	Resistência (Argentina)	Mariscal (Paraguai)	Santa Cruz (Bolívia)	Córdoba (Argentina)	Rio Branco (Brasil)	Dourados (Brasil)
lat	12,0°S	27,76°S	27,44°S	22,06°S	17,39°S	31,32°S	9,96°S	22,28°S
lon	77,17°W	64,25°W	59,05°W	60,60°W	63,77°W	64,21°W	67,87°W	54,82°W

O objetivo do trabalho é apresentar e atestar a qualidade da estimativa de IWV com utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) aplicada à estimativa de observações, técnica que facilita estabelecer relações não lineares, característica dinâmica de quase todos os fenômenos meteorológicos. A rede proporciona maior desempenho e facilidade computacional nas estimativas de água precipitável. A nova técnica consiste em aplicação de uma RNA supervisionada utilizando temperatura de brilho de satélites meteorológicos AMSUB/NOOA para estimar IWV comparando com os valores calculados, a partir do perfil temperatura de ponto de orvalho (T_d) medido por radiossonda. Como T_d é função da pressão de vapor, calcula-se a pressão do vapor d'água, utilizando a fórmula aproximada de Magnus:

$$\log_{10}(ev) = -2937.4/T_d - 4.9283 \cdot \log_{10}(T_d) + 23.5470 \quad (1)$$

onde ev é pressão do vapor d'água em hPa, e T_d é temperatura do ponto de orvalho em graus Kelvin. Obtendo ev , calcula-se a umidade em cada nível de pressão observado pela radiossonda:

$$\rho_w = 0.622 * ev \quad (2)$$

onde ρ_w é a umidade absoluta do vapor d'água. Para o cálculo do IWV desde a superfície (h_0) até a altitude em que exista presença do vapor d'água (h) em uma coluna de ar de seca transversal unitária

(Vianello & Alves, 1991), seja:

$$IWV = \int_{h_0}^h \rho_w dh$$

(3)

O IWV foi calculado como descrito acima para camada total e também para camadas: da superfície até 800 hPa, de 800 a 600 hPa e de 600 a 400 hPa.

MÉTODO

Para aplicação da técnica de RNA, desenvolveu-se um “Perceptron” de Múltiplas Camadas (PMC) com neurônios totalmente interconectados, composto por três camadas: uma camada de entrada, uma camada escondida e uma camada de saída. Uma rede “Feed Forward”, com treinamento supervisionado para ajustar os pesos das conexões e obter a variável estimada. A melhor topologia encontrada foi: cinco entradas, sendo uma Tb correspondente aos canais do AMSU-B, 15 neurônios na camada escondida, e quatro neurônios de saída correspondente a $IWVs$ calculadas.

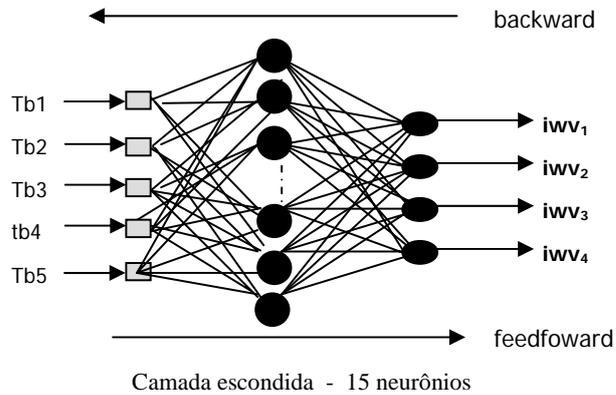


Figura 2 – Topologia da PMC utilizada na estimativa de água precipitável.

Para treinar o PMC, ou seja, encontrar um conjunto de pesos w_{ji} de modo que um conjunto de entradas tb_i forneça um conjunto de saídas desejadas iwv_i , utilizou-se o algoritmo de retropropagação que calcula o gradiente dos erros das multicamadas até obter os pesos adequados respectivos de cada conexão que produzem a saída desejada. O treinamento ocorre em duas fases: *forward* e *backward*. A relação entre os exemplos de entrada e o resultado obtido é verificada e logo que a média dos erros for menor que o critério pré-determinado, o treinamento está completo. A função de ativação dos neurônios e as derivadas do erro foram calculadas (neste trabalho) utilizando a função logística na camada escondida e a função linear na camada de saída.

Aplicação

Foram adquiridos dados de temperaturas de brilho do satélite, de 18 de janeiro a 15 de fevereiro de 2003 na região da América do Sul entre 35S e 5S de latitude e entre 80W a 50 W de longitude. A seleção dos vetores de entrada e saída e a construção da rede são usualmente determinadas por conhecimento empírico. Foram selecionados 252 grupos Tb separadas pela proximidade (20 Km) e horários (6 hs) aos perfis (Td). Destes dados, 127 grupos de Tb dos cinco canais do AMSU-B foram escolhidos como vetores de entrada junto com IWV calculado com informações de perfis de radiossonda de oito estações, como vetores de saída. Os dados se ajustaram em 52 ciclos e o erro médio em relação à saída foi de 0,000082. O ajuste dos dados no treinamento da PMC são apresentado na Figura 3. Do restante dos dados, 125 grupos de Tb (5 canais AMSU-B) correspondente aos grupos IWV calculadas por estação, foram usados na recuperação da água precipitável. A relação entre os vetores de entrada e os vetores de saída é representada como:

$$IWV_k = f(Tb); \quad k = 1, \dots, N \quad (4)$$

onde T_b é a temperatura de brilho em Kelvin, N é a camada da atmosfera (superfície-800 hPa, 800-600 hPa, 600-400 hPa e total), $f(\cdot)$ representa a RNA-PMC e IWV_k é a água precipitável em milímetros.

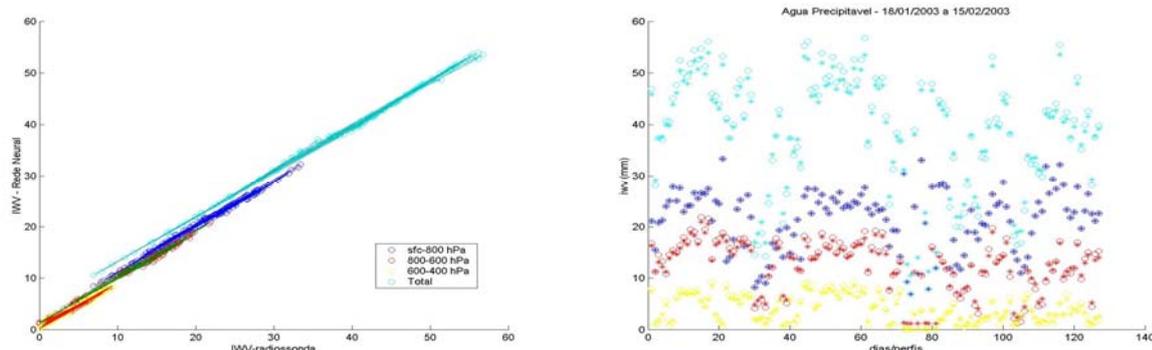


Figura 3 – Ajuste dos dados de treinamento da RNA com os dados das radiossondas.

RESULTADOS

No processo de recuperação da água precipitável, os dados não utilizados no treinamento foram separados por estação e o número de perfis teve distribuição de acordo com a disponibilidade de cada estação. A Figura 4 apresenta os resultados da RNA com os dados de cada estação. A IWV recuperada pela RNA (em preto e pontilhado) é comparada com cada IWV calculado dos perfis de temperatura (cian – IWV Total, azul – IWV 800 hPa, verde – IWV 600 hPa e vermelho – IWV 400 hPa), o IWV recuperado pela RNA revela as modificações detalhadas, cuja estrutura é semelhante à correspondente da estação. Na Tabela 3, são apresentadas as estatísticas em relação às diferenças do IWV estimado e do IWV das radiossondas.

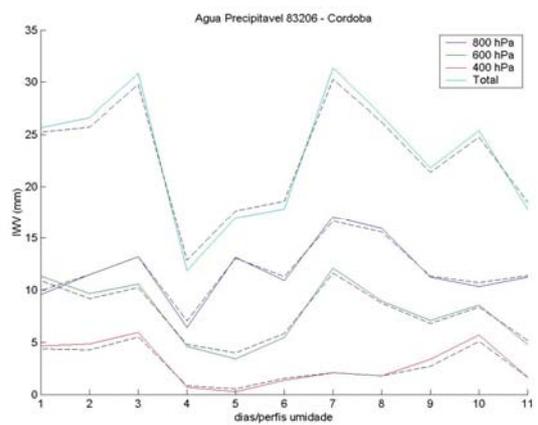
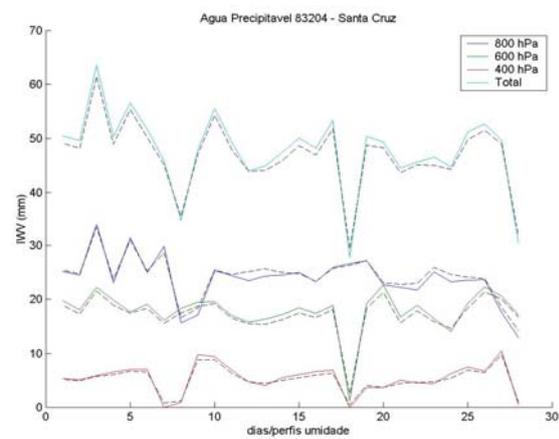
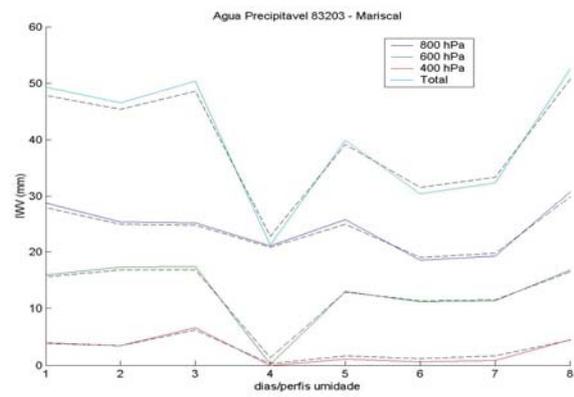
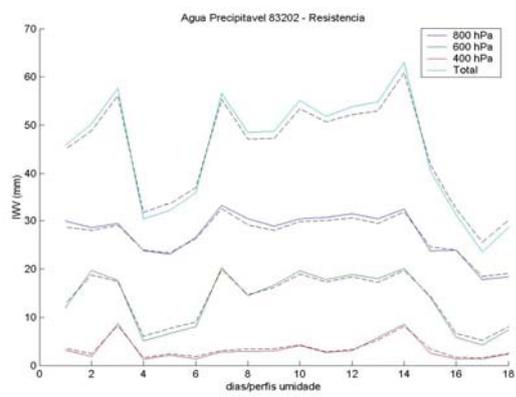
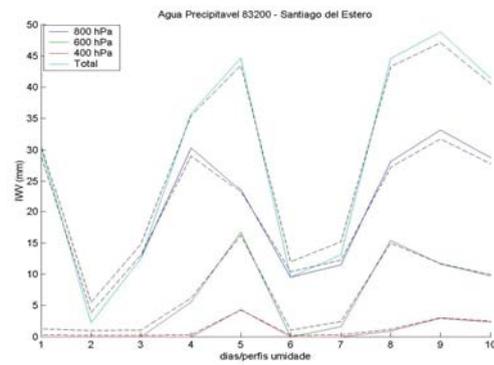
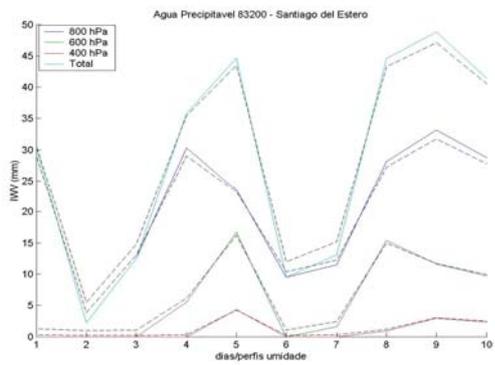
Tabela 3 – Estatísticas das diferenças do IWV separado por camadas.

camada	Média RNA	Média radiossonda	Desvio Padrão RNA	Erro quad.	Erro quad (mm)	bias
sfc-800	22.224	22.229	6.220	0.031	0.682	0.006
800-600	13.329	13.526	3.351	0.046	0.614	0.196
600-400	4.203	4.292	2.616	0.093	0.391	0.089
Total	40.109	40.665	11.899	0.033	1.311	0.566

A aplicação de Redes Neurais Artificiais como técnica de estimação de variável meteorológica, tem potencial para prover informação de umidade (IWV) a partir de observações de Temperatura de Brilho do AMSU-B dos satélites NOAA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CINTRA, R. S.; SIMÕES, J. D. S.: *Aplicação de Redes Neurais para Estimativa de água Precipitável utilizando dados do sensor HSB do satélite AQUA*. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz de Iguaçu, Brasil, April 24-28, 2006. INPE, p. 11-15.
- LIMA, W. F. A., MACHADO, L. A. T.: *Análise do Sensor HSB na estimativa do conteúdo integrado de vapor D'água durante o experimento RaCCI/LBA*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n.2, 211-219, 2006.
- GRODY, N.; ZHAO, J.; FERRARO, R.; WENG, F.; BOERS, R.: *Determination of precipitable water and cloud liquid water over oceans from the NOAA 15 advanced microwave sounding unit*. *Journal of Geophysical Research*, vol.106, no. D3, pages 2943-2953, February 16, 2001.
- RANDEL, D. L.; HAAR, V. T. H.; RINGERUD, M.A.: *Observed variability of total column water vapor related to atmospheric temperature*. In 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, UNESCO, Paris, France, 25-29 May, 1998. Pre-Prints. American Meteorological Society, 1998 v.1, p. 15-17



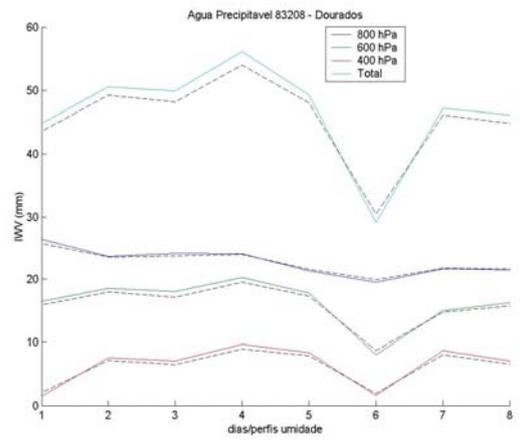
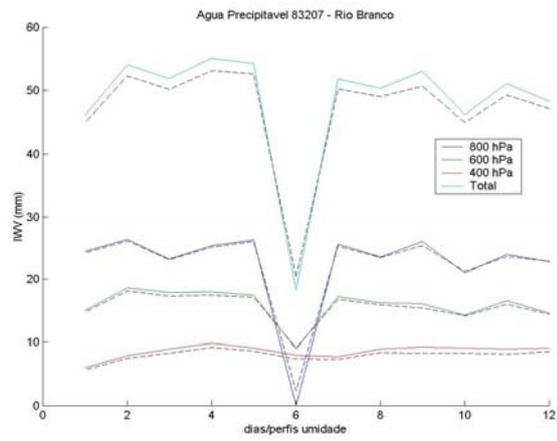


Figura 4- IWV RNA x IWV radiosondas 18 de janeiro a 15 de fevereiro, 2003. (a) Peru (b) Estero (c) Resistência (d) Mariscal (e) Santa Cruz (f) Córdoba (g) Rio Branco (h) Dourados.

