UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA INFERÊNCIA DE PERFIS VERTICAIS DE TEMPERATURA A PARTIR DE INFORMAÇÕES DO SENSOR AIRS/AQUA: RESULTADOS PRELIMINARES

Rodrigo Augusto Ferreira de Souza[1]
Elcio H. Shiguemori[1]
Marcus Jorge Bottino[1]
Haroldo F. de Campos Velho[1]
José Demísio S. da Silva[1]

RESUMO: Nas últimas décadas, a inferência de perfis atmosféricos a partir de dados de satélites tem se tornado muito importante para análise do tempo e para o processo de assimilação de dados em modelos de previsão numérica de tempo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é inferir perfis verticais de temperatura a partir de radiâncias do sensor AIRS/AQUA ("Atmospheric Infrared Sounder") utilizando a técnica das Redes Neurais Artificiais (RNA). Uma RNA Perceptron de Múltiplas Camadas (PMC), treinada com algoritmo de retropropagação do erro, é usada para resolver o problema inverso. Comparações entre os perfis de radiossondagens e perfis inferidos utilizando a RNA e outras técnicas de inversão são apresentadas. Em geral, a RNA apresenta resultados concordantes com os demais perfis de temperatura analisados, principalmente, no que concerne a localizar com precisão a inversão da tropopausa. No entanto, é necessário testar a RNA com diferentes conjuntos de dados e diferentes campos de visada do sensor, para investigar completamente sua potencialidade em recuperar perfis atmosféricos.

ABSTRACT: In the last decades, the inference of atmospheric profiles from satellite data has become very important in weather analysis and in the assimilation data process in Numerical Weather Prediction models. In this context, the objective of this work is to retrieve vertical profiles of temperature from AIRS/AQUA radiances ("Atmospheric Infrared Sounder") using Artificial Neural Network (ANN) technique. An ANN Multi-layer Perceptron, with back propagation learning strategy, is used to solve the inverse problem. Comparisons between temperature profiles inferred by radiosondes, and retrieved with ANN, and with others inversion techniques are presented in this work. In general, the ANN presents results in agreement with others inversion techniques, mainly concerning with the localization of the tropopause. However, for a better understanding of ANN technique is necessary to analyze its performance with different data sets and different fields of view.

Palavras chaves: Problemas Inversos, Redes Neurais Artificiais, Sondagem Remota por Satélites.

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos, SP, 12227-010. Fone: (12) 3186-9372; e-mail: rodrigo@cptec.inpe.br, elcio@lac.inpe.br, bottino@cptec.inpe.br, haroldo@lac.inpe.br, demisio@lac.inpe.br

1. INTRODUÇÃO

A condição inicial para o modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT) é um dos elementos essenciais para fornecer uma boa previsão de tempo. Gerar uma condição inicial realística depende, por sua vez, da disponibilidade de observações meteorológicas provenientes de fontes convencionais (estações meteorológicas de superfície e de altitude) ou não convencionais (satélites em geral). Consequentemente, devido à escassez de dados convencionais em diversas regiões do globo, a inferência de perfis atmosféricos a partir de dados de satélites tem se tornado muito importante para análise do tempo e para processos de assimilação de dados em modelos de PNT.

Medidas de radiâncias efetuadas por sensores a bordo de satélites podem ser interpretadas pela inversão da Equação de Transferência Radiativa (ETR). Várias metodologias e modelos têm sido desenvolvidos tentando melhorar esse processo de extração de informação dos dados de radiância de satélites. Dentre essas metodologias encontram-se os métodos físicos para inferência de perfis (Chahine, 1970; Smith, 1970; entre outros), no entanto, esses métodos requerem uma boa condição inicial além do modelo direto. Por outro lado, técnicas estatísticas baseadas em análises de regressão também têm sido usadas para recuperar perfis atmosféricos (Smith e Woolf, 1976; Rodgers, 1976; entre outros). Comparado com os modelos físicos, os modelos estatísticos são mais simples e robustos na presença de ruídos. Além disso, algumas técnicas estatísticas encontradas na literatura, por exemplo, a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA), leva em conta a não linearidade do problema. Trabalhos anteriores mostram um bom desempenho na inferência de perfis atmosféricos utilizando a técnica da rede neural (Blackwell, 2005).

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é inferir perfis verticais de temperatura a partir de informações do sensor AIRS/AQUA (“Atmospheric Infrared Sounder”) utilizando a técnica das Redes Neurais Artificiais (RNA) e compará-los com outras fontes de dados. Uma RNA Perceptron de Múltiplas Camadas (PMC) (Haykin, 1994), treinada com algoritmo de retropropagação do erro, é usada para resolver o problema inverso. As vantagens do uso desta técnica são: a tolerância a dados ruidosos, a capacidade de adaptação para diferentes regiões e no baixo custo computacional, uma vez a RNA treinada. A natureza do treinamento supervisionado da rede PMC requer que o conjunto de treinamento seja composto de entrada e de saída desejada. As entradas são medidas de temperatura de brilho em diferentes canais espectrais e as saídas são os correspondentes perfis de temperatura em 43 níveis de pressão. Os resultados preliminares apresentados neste artigo foram obtidos com a RNA treinada com um banco de dados de perfis de temperatura muito utilizado pela comunidade científica, o banco de perfis “Thermodymanic Initial Guess Retrieval” - TIGR (Chédin et al. 1985).

2. METODOLOGIA

Os dados para o treinamento da rede podem ser obtidos de forma experimental (observacional) ou, utilizando um modelo direto para simular a temperatura de brilho do sensor. Neste artigo utilizaram-se os dados obtidos pela solução do modelo direto RTTOV-7 (Saunders et al., 1999). Este modelo simula as informações de temperatura de brilho de um determinado sensor a partir de informações de perfis atmosféricos. Sendo assim, o conjunto de perfis atmosféricos utilizado foi o TIGR (1761 perfis de radiossondas, distribuídas globalmente) e, devido a sua alta resolução espectral (2378 canais) e sua capacidade para obter perfis atmosféricos de temperatura e umidade (Aumann et al., 2003), o AIRS é o sensor utilizado nesse estudo. No entanto, as simulações de temperatura de brilho com o RTTOV-7 foram realizadas apenas para condições de céu claro e com ângulos de visada no nadir, para um subconjunto de 149 canais do AIRS. Esses canais AIRS simulados correspondem às mesmas freqüências utilizadas operacionalmente pelo modelo de inversão da NASA, na Divisão de satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do CPTEC. Realizadas as simulações com o modelo RTTOV-7, dividiu-se esse banco de dados em três subconjuntos de 587 pares de entrada/saída (temperatura de brilho/perfil): um para o treinamento da rede, outro para a generalização e um terceiro para a validação. Os conjuntos de treinamento e validação são utilizados durante o treinamento da rede, enquanto o de generalização nos testes da RNA.

Durante a fase de treinamento, espera-se que a rede aprenda o suficiente com base no conjunto de treinamento, mas que seja capaz de generalizar com novos dados. Para evitar que a rede não se especialize nos dados treinados, utiliza-se a técnica de validação cruzada, que consiste em apresentar um subconjunto de pares entrada/saída para a validação e parar antes da especialização (Haykin, 1994). Detalhes da RNA utilizada podem ser encontrados em Shiguemori et al. (2004).

Uma vez a rede treinada, fez-se um estudo de caso para verificar seu desempenho. Os resultados foram comparados com as respectivas informações de radiossondagens (projeto SHADOZ), no mesmo horário da passagem do satélite sobre a cidade de Natal (RN), e com os perfis inferidos por outros modelos de inversão, operacionais, para os sensores AIRS/AMSU (Modelo físico-estatístico da NASA, Susskind et al., 2003) e MODIS (Modelo estatístico da Universidade de Wisconsin, Smith e Woolf, 1976), para três casos estudados. Um para o dia dezesseis de março (16/03), outro para o dia três de maio (03/05) e o último para o dia dez de maio (10/05) de 2006. Além disso, fez-se a diferença absoluta entre os resultados da RNA e os resultados do modelo da NASA em três diferentes níveis de pressão (850 hPa, 500 hPa e 250 hPa) para o dia 22/07/2006 sobre a América do Sul. Nessa análise, o modelo da NASA foi utilizado como referência (ou verdade) por apresentar uma boa concordância com dados de radiossondas (Divakarla, 2006). Os resultados dessa análise preliminar são apresentados a seguir.

3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta perfis de temperatura obtidos pela RNA, pelos sistemas de sondagem AIRS/AMSU e MODIS, e pela radiossonda. Além disso, são mostradas as diferenças entre os perfis calculados e as respectivas radiossondas, para os três dias estudados. De maneira geral, pode-se notar que a RNA apresenta resultados concordantes com os demais perfis verticais de temperatura. É importante observar que a RNA conseguiu localizar com precisão a inversão da tropopausa, que é uma região de grande interesse para a meteorologia. No entanto, em ralação ao perfil da radiossonda, a RNA apresenta as maiores diferenças comparadas com os resultados do AIRS/AMSU, que apresentou o melhor desempenho, e do MODIS.

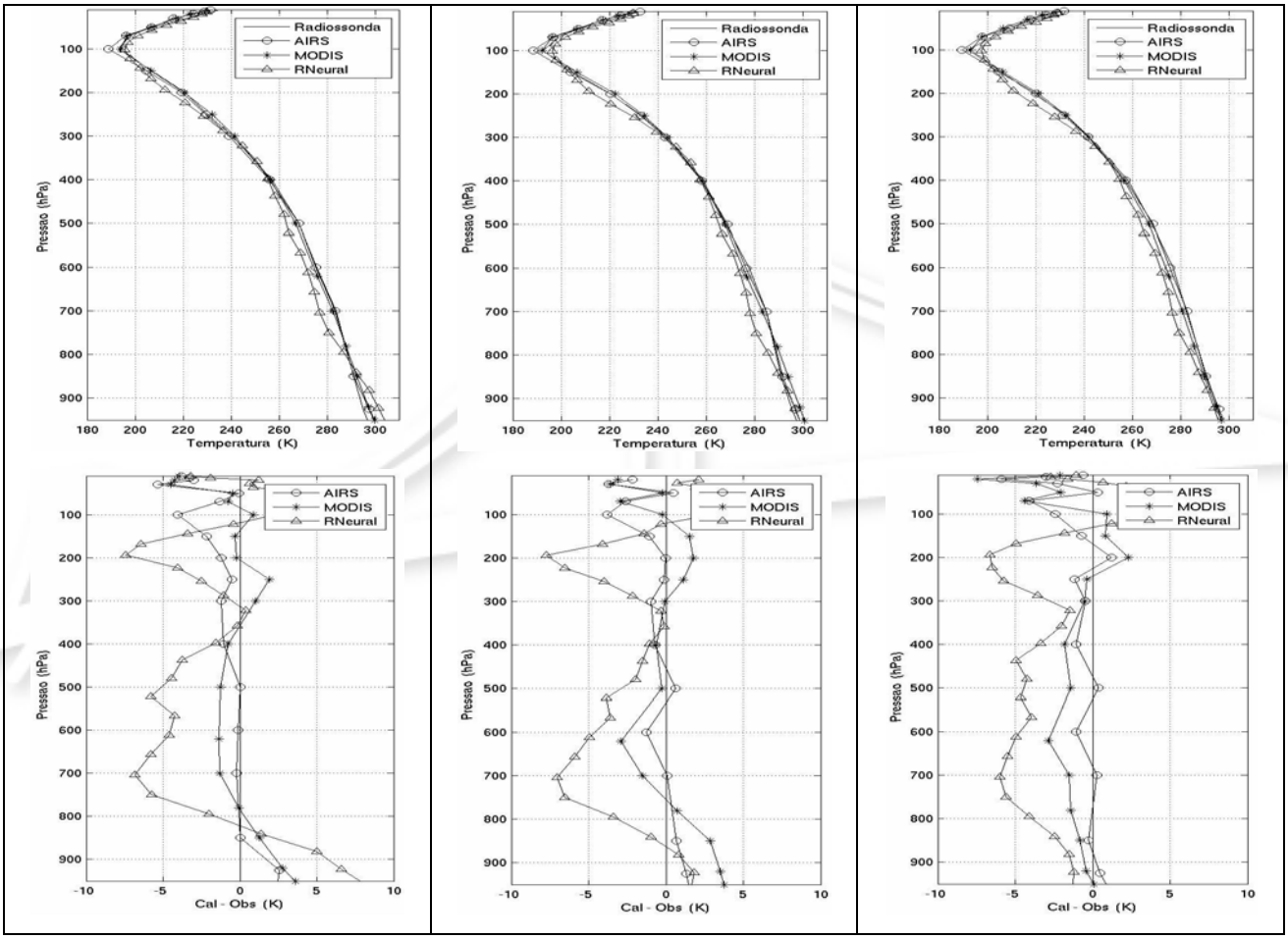

Figura 1 - Perfis de temperatura inferidos por diferentes sistemas de sondagem (acima) e diferenças entre os perfis inferidos a partir de dados de satélite e as respectivas radiossondagens (abaixo), para os três dias analisados.

A diferença absoluta entre os resultados da RNA e os resultados do modelo da NASA em três diferentes níveis de pressão, 850 hPa, 500 hPa e 250 hPa, para um único dia de passagem do satélite AQUA (22/07/2006) sobre a América do Sul, é ilustrada na Figura 2. Nota-se claramente que a distribuição espacial das diferenças entre a RNA e o AIRS esta relacionada ao ângulo de visada do sensor. Menores diferenças concentram-se sobre as regiões onde o satélite faz observações próximas ao nadir. Isso sugere a necessidade de aprimorar o conjunto de treinamento incluindo

informações para deferentes ângulos de visada com o objetivo de aprimorar os resultados da RNA. Resultados similares são observados para outros dias (não apresentados aqui).

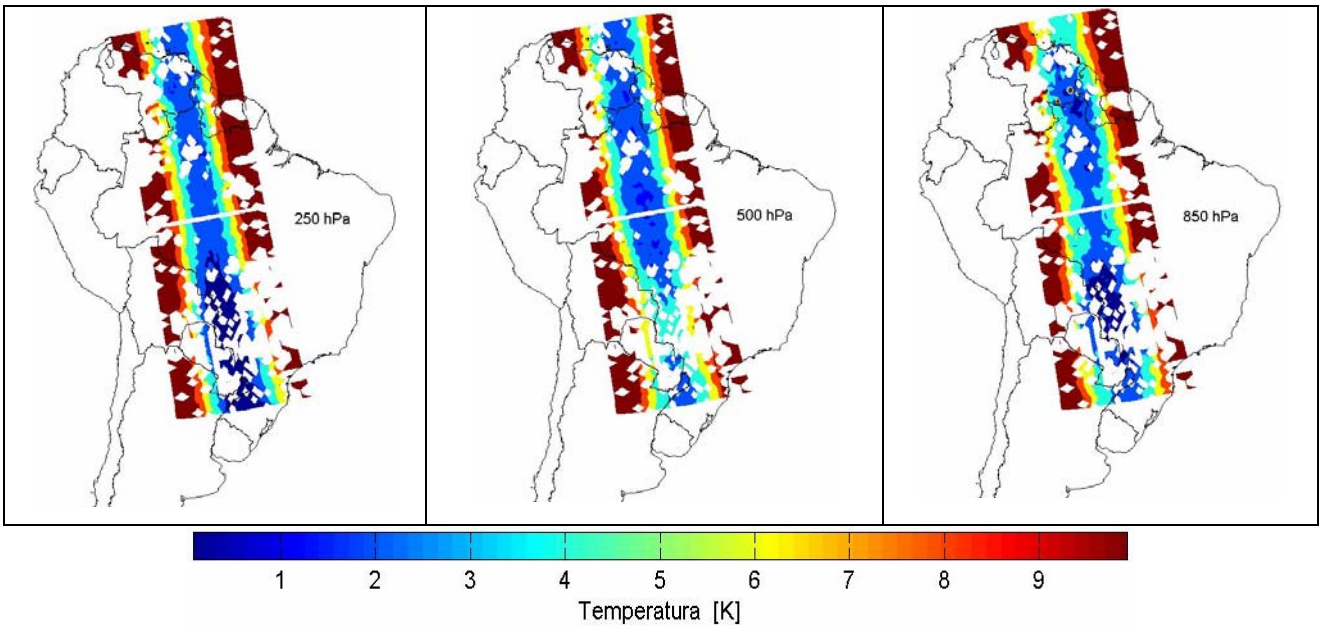

Figura 2 - Diferença absoluta entre os campos de temperatura obtidos pela RNA e os inferidos pelo modelo de inversão da NASA, em três diferentes níveis de pressão: 250 hPa (esquerda), 500 hPa (centro) e 850 hPa (direita), para uma de passagem do AQUA sobre a América do Sul.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta resultados preliminares da utilização da técnica de RNA na inferência de perfis verticais de temperatura a partir de informações de satélite. Nesta análise inicial pode-se notar que a RNA apresenta resultados concordantes com os demais perfis de temperatura, principalmente, no que concerne a localizar com precisão a inversão da tropopausa, que é uma região de grande interesse para a meteorologia. No entanto, a RNA apresenta maiores diferenças em relação aos perfis de radiossondagens, quando comparada com os resultados do AIRS/AMSU e do MODIS. Os erros encontrados para os perfis da RNA podem ser atribuídos a dois fatores principais: a) a representatividade do banco de treinamento às características regionais da região estudada e b) a representatividade do banco de treinamento em relação aos ângulos de visada do satélite (a RNA foi treinada apenas para ângulos de visada no nadir). Devido ao fato que a precisão do perfil pode variar para diferentes regiões, é necessário que o conjunto de treinamento represente da melhor forma possível a região de interesse. Nesse estudo somente uma amostra do banco de dados TIGR é utilizada no treinamento da rede. Sendo assim, é indispensável testar a RNA com diferentes conjuntos de dados, para investigar completamente sua capacidade. Contudo, a RNA mostra resultados promissores para recuperar de forma operacional perfis de temperatura a partir de medidas do sensor AIRS.

Outrossim, a inversão com redes neurais artificiais é mais rápida que métodos tradicionais. As RNA podem ser implementadas em hardware ("neurocomputadores") tornando o método de inversão mais rápido que as RNA emuladas em software. Trabalhos futuros incluem a construção de um banco de dados representativo para a América do Sul, simulação das radiâncias para diferentes ângulos de visada e, particularmente para o sondador AIRS, um estudo do desempenho da rede com diferentes subconjuntos de canais espectrais. Vale ressaltar que os resultados dessas análises são preliminares e resultados futuros serão comparados novamente com modelos de inversão operacionais do CPTEC.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aumann, H. H.; Chahine, M. T.; Gautier, C.; Goldberg, M. D.; Kalnay, E.; Mcmillin, L. M.; Revercomb, H.; Rosenkranz, P. W.; Smith, W. L.; Staelin, D. H.; Strow, L. L.; Susskind, J. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products and processing systems. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41, 253-264, 2003.

Blackwell, W. J. A Neural-Network Technique for the Retrieval of Atmospheric Temperature and Moisture Profiles from High Spectral Resolution Sounding Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.43, n.11, 2005.

Chahine, M. T. Inverse problems in radiative transfer: Determination of atmospheric parameters, **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.27, p. 960-967, 1970.

Chédin A., Scott, N. A., Wahiche, C. and Moulini P. 1985. The improved initialization inversion method: A high resolution physical method for temperature retrievals from TIROS-N series. J. *Climate Appl. Meteor*, 24, 128-143.

Divakarla, M. G.; et al. Validation of atmospheric Infrared Sounder temperature and water vapor retrievals with matched radiosonde meansurements and forecasts. Journal Geophysical Research, 111, D09S15, doi:10.1029/2005JD006116, 2006.

Haykin, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Macmillan. New York, 1994.

Rodgers, C. D. Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v.14, n.2, p. 609-624, 1976.

Saunders, R.; Matricardi, M.; Brunel, P. An improved fast radiative transfer model for assimilation of satellite radiance. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, v.125, n.5, p. 1407-1425, 1999.

Shiguemori, E. H; Silva, J. D. S; Campos Velho, H. F; Carvalho, J. C. Neural Network based Models in the Inversion of Temperature Vertical Profiles from Satellite Data. Inverse Problems, Design and Optimization Symposium (IPDO), Rio de Janeiro (RJ), 2004.

Smith, W. L. Iterative solution of the Radiative Transfer Equation for the temperature and absorbing gas profile of an atmosphere. **Applied Optics**, v.9, n.9, p. 1993-1999, 1970.

Smith, W. L.; Woolf, H. M. The Use of Eigenvectors of Statistical Covariances Matrices for Interpreting Satellite Sounding Radiometer Observations. *J. Atmos. Sci***.**, 33, 1127-1140, 1976.

Susskind, J.; Barnet, C.; Blaisdell, J. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***.,** 41, 390-409, 2003.