

# SIMULAÇÃO CLIMÁTICA PARA A AMÉRICA DO SUL USANDO REDES NEURAIS: ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR SAZONAL

*Alex Sandro Aguiar Pessoa<sup>1</sup>, Helber Barros Gomes<sup>2</sup> e José Demisio Simões da Silva<sup>3</sup>, Cristiano Prestrelo de Oliveira<sup>1</sup>*

**ABSTRACT.** This article make use of the artificial neural network to estimate the air temperature and precipitation for one and three season forward. From these estimatives the anomaly of such variable for analysis of the austral summer of 2001 and 2002 is calculated. This methodology aims at to reduce the efforts for production of climatic forecasts, with little computational and human resources, in order to be one more tool of support and validation of existing models.

**RESUMO.** Este artigo utiliza as redes neurais artificiais para estimativa de temperatura do ar e precipitação sazonal para uma e três estações adiante. A partir desta estimativa é calculada a anomalia de tais variáveis para análise dos verões austrais de 2001 e 2002. Esta metodologia visa reduzir os esforços para produção de previsões climáticas, com menos recursos computacionais e humanos, de modo a ser mais uma ferramenta de apoio e validação aos modelos existentes.

**Palavras-Chaves:** Redes Neurais, Clima e Anomalias.

## INTRODUÇÃO

O processo de previsão de clima no Brasil é realizado basicamente de dois modos: utilizando modelos estatísticos e dinâmicos. O modelo estatístico estima o prognóstico de uma variável através da correlação entre duas ou mais variáveis. Já o modelo dinâmico, utiliza equações físico-matemáticas, onde são simulados os movimentos atmosféricos para prever os acontecimentos futuros (Cavalvanti, 2002).

A evidente transformação da Meteorologia em uma ciência imprescindível no cotidiano, visto que os fenômenos atmosféricos têm um profundo impacto econômico, exige cada vez mais aprimoramento de métodos e recursos para realização de tal tarefa. Desde os primórdios onde as previsões eram feitas apenas usando conhecimentos populares, passando pela previsão sinótica instaurada no século XIX até os tempos atuais onde máquinas com enorme capacidade computacional e programas que retratam o comportamento atmosférico, sempre houve, ao passar dos tempos, um acréscimo do volume de dados usados para previsão, inicialmente de tempo e

---

<sup>1</sup> Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra Km.39, Cachoeira Paulista. CEP:12630-000, tel: (12)3186-8541, e-mail: pessoa@cptec.inpe.br, crispo@cptec.inpe.br.

<sup>2</sup> Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), Rua do Matão, 1226, São Paulo, CEP: 05505-900, tel: (11) 3097-2852, email: helber@model.iag.usp.br.

<sup>3</sup> Laboratório de Computação e Matemática Aplicada (LAC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Avenida dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, CEP: 12227-010, tel: (12) 3945-6543, email: demisio@lac.inpe.br.

depois de clima, além do aprimoramento de equipamentos, métodos, dentre outras coisas.

Seguindo a crescente da evolução de métodos para realizar previsões de clima (Pessoa, 2004), este trabalho visa explorar novas tecnologias, oriundas da Inteligência Artificial, para servir de modelo de processamento dos dados meteorológicos para simulação de anomalias da temperatura do ar e precipitação sazonal no verão austral da América do Sul.

As redes neurais artificiais (RNA) têm sua inspiração no funcionamento do cérebro, tentando assim imitá-lo por técnicas computacionais com o fim de adquirir, armazenar e utilizar conhecimentos. Assim como no modelo biológico a unidade básica de processamento de uma rede neural é o neurônio (Haykin, 2001).

O uso de RNA aplicada a situações meteorológicas para previsão ou reconhecimento de padrões ainda constitui um desafio para os pesquisadores. Embora esta técnica nos facilite estabelecer uma relação não linear, que é característica na dinâmica de quase todos os fenômenos meteorológicos, não podemos explicar com precisão a física envolvida nesta, uma vez que neste paradigma a física está embutida nos dados.

## **METODOLOGIA**

Atualmente para a realização da previsão climática são utilizados dois métodos: o estatístico e o dinâmico. O método estatístico utiliza equações matemáticas e conceitos estatísticos. Já o método dinâmico se baseia nas equações da primeira lei da termodinâmica, equações do movimento (2° Lei de Newton), equação da continuidade de massa de ar e vapor d'água, conhecido como modelo de circulação geral atmosférico (MCGA). Com o propósito de tornar a previsão climática com um custo computacional mais baixo, este trabalho emprega as Redes Neurais Artificiais (RNA) como modelo para os prognósticos climáticos, na qual são extraídas as informações sobre a anomalia para o verão austral.

As redes neurais são instrumentos amplamente utilizados na Inteligência Artificial, pois apresenta capacidade de aprendizado, expressando um comportamento inteligente. Essa capacidade se traduz na complexidade dos problemas que as redes neurais são capazes de aprender. Por isso essa técnica foi escolhida para ser usada no aprendizado do clima, pois se trata de um problema de natureza caótica, portanto complexo, além de grande volume de dados. Este trabalho utiliza em particular uma rede neural do tipo *feedforward* com o algoritmo de aprendizado *backpropagation*.

As análises foram feitas para a previsão de precipitação e temperatura do ar sazonal de 1 e 3 estações adiante ( $\Delta$ ). Para a realização das análises foram coletados dados do *National Center Environmental Prediction* (NCEP), para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2001 e a área contida entre as latitudes 10° N e 45° S e longitudes 85° W e 30° W, referente à América do Sul,

em uma resolução espacial em ambas as dimensões ( $x, y$ ) de  $2.5^\circ$  e resolução temporal ( $t$ ) de 1 mês.

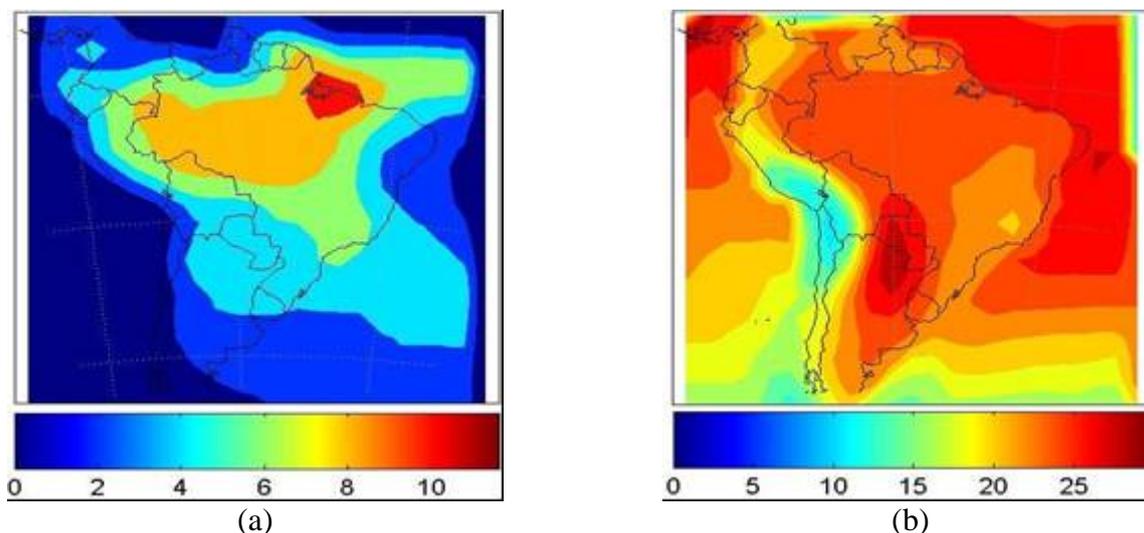
## RESULTADOS

### Climatologia

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos através da estimativa de redes neurais artificiais, para previsões de anomalias de precipitação (mm/dia) e temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) sazonal, com o alcance de uma e três estações adiantes. A Figura 1a e 1b mostram a climatologia da precipitação e da temperatura do ar sazonal para o período de 1979 a 2001, respectivamente.

A região Norte possui uma homogeneidade espacial e sazonal da temperatura, quando comparado à precipitação. Esta é a região com o maior total pluviométrico anual, sendo mais notável no litoral do Amapá, na foz do rio Amazonas e no setor ocidental da região, onde a precipitação excede 3000 mm (Nimer, 1979). Além disso, pode ser observadas precipitações (figura 1a) da ordem de 10 mm/dia sobre o norte do Pará, que pode está associada com a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Este resultado está em conformidade com Drumond e Ambrizzi (2005), os quais encontraram resultados semelhantes, porém com modelo numérico. Nota-se, também, sobre a região Amazônica precipitações da ordem de 6-8 mm/dia, que deve-se aos sistemas atmosféricos, tais como: Alta da Bolívia, Sistemas Convectivos de Mesoescala, El nino-Ocilação Sul, entre outros. Enquanto que as regiões Sudeste e Centro-Oeste são constantemente influenciados por sistemas de origem tropical e extratropical. Durante os meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam no regime de chuvas dessas regiões (Quadro e Abreu, 1994). Por fim, pode ser visto precipitações em torno de 2-4 mm/dia sobre as regiões Sul e Sudeste, região esta propicia a ocorrência de sistemas frontais, ZCAS e Complexos Convectivos de Mesoescala.

Pelo campo de temperatura do ar sazonal (figura 1b) observam-se os maiores contrastes térmicos sobre as regiões subtropical e extratropical da América do Sul (AS). Além disso, nota-se sobre o Norte da Argentina e Centro-Oeste do Paraguai um núcleo da ordem de  $30^\circ\text{C}$ , que pode está relacionado à Baixa do Chaco (Lenters e Cook, 1999).

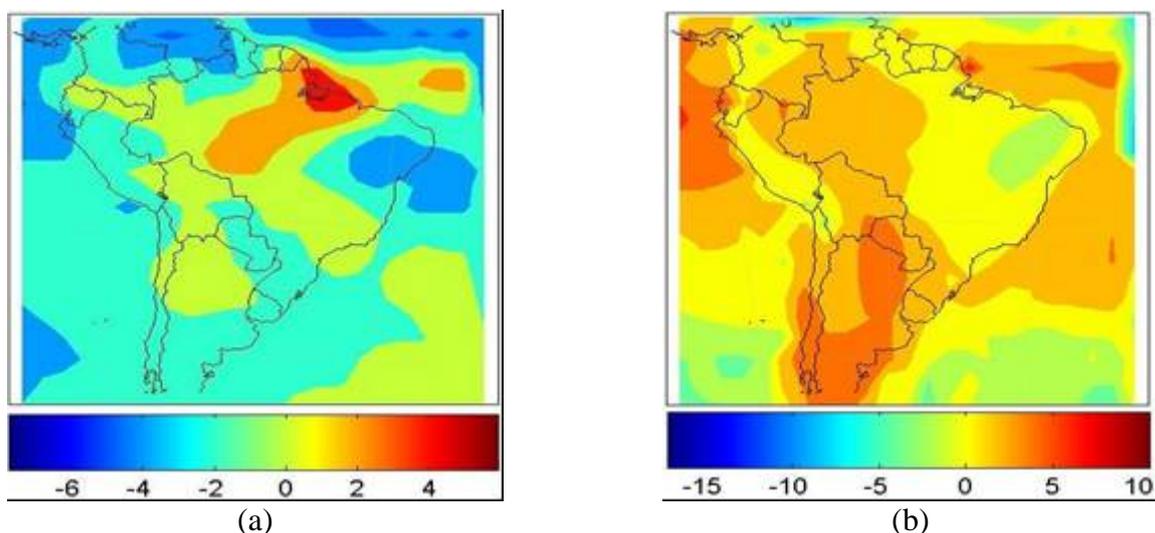


**Figura 1** - Climatologia da precipitação (mm/dia) (a) e temperatura do ar sazonal (°C) (b) durante estação de verão (DJF) da América do Sul , para o período de 1979 a 2001.

### Previsão para passo de tempo 1 e 3

A Figura 2 ilustra anomalias de precipitação (Figura 2a) e de temperatura do ar (Figura 2b) sazonal para o verão 2002. Para o passo 1 observa-se que a precipitação esteve abaixo da climatológica no sul e na costa leste do nordeste do Brasil (NEB), em parte da costa oeste e no sul da América do Sul esta redução pode estar ligada ao fenômeno La Nina (moderada) que estava instaurado neste período. Vale ressaltar um aumento da ordem de 4-6 mm/dia na região onde a precipitação climatológica é máxima (Figura 1a). Este aumento significativo da precipitação pode estar associado ao fenômeno LaNiña, que é responsável pelo aumento e melhor distribuição do mesmo nesta região. Nota-se, ainda, anomalia positiva de precipitação (0-2 mm/dia) desde o oeste da Amazônia até o sudeste brasileiro. Esta banda de precipitação de noroeste-sudeste deve está associada a ZCAS (Liebmann et al., 1999).

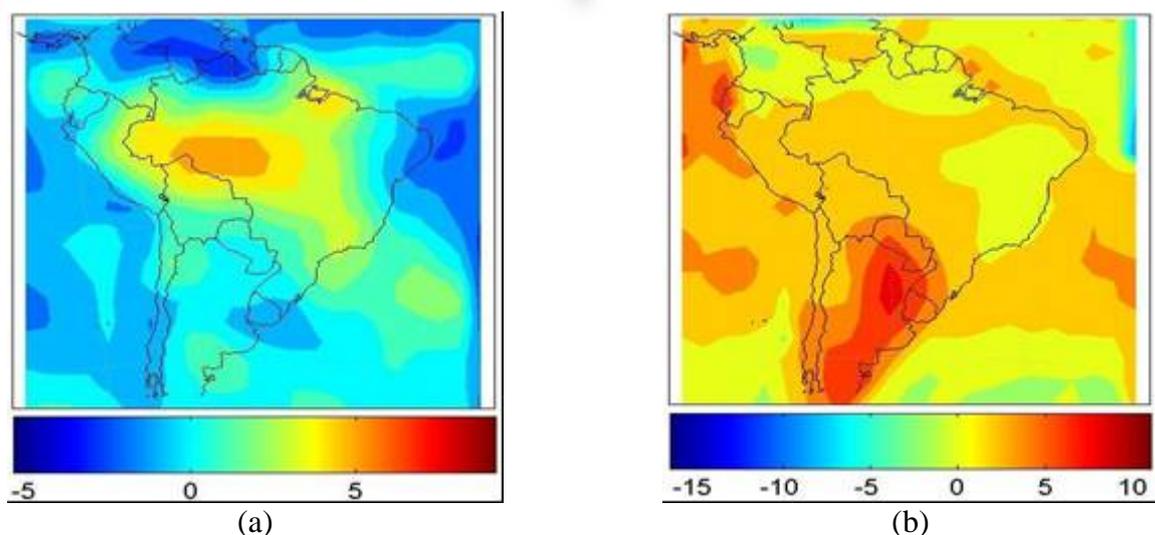
Pelo campo de anomalia de temperatura do ar (figura 2b) simulada pela RNA com passo de tempo 1, pode ser visto que a rede está simulando de forma coerente a variabilidade entre a temperatura e precipitação (Figuras 2a,b). Ou seja, onde teve anomalia negativa de precipitação o comportamento da temperatura (anomalia) esteve da ordem de 0-5°C acima da média (Figura 2b), enquanto que para as regiões onde anomalia de precipitação foi positiva o processo foi inverso.



**Figura 2** – Anomalia de Precipitação (mm/dia) (a) e Temperatura do ar (°C) (b) sazonal durante o verão de 2002, para o passo de tempo 1.

Para as simulações feita com o passo de tempo 3, nota-se de maneira geral que a precipitação (Figura 3a) esteve neutra ou ligeiramente acima da média, quando comparada ao passo de tempo 1. Em geral as simulações para o passo de tempo de 3 são melhores (Pessoa, 2004), ou seja, o erro quadrático médio é menor. Em adição, este autor mostrou que uma possível explicação para tal seria referente ao comportamento cíclico da atmosfera (estações).

Através do campo de anomalia de temperatura do ar sazonal (Figura 3b) para o passo de tempo 3, observa-se que a rede simula em quase toda parte da AS temperaturas na média ou ligeiramente acima, exceto sobre as regiões subtropical e extratropical da AS, quando comparado a climatologia (Figura 1b), o que pode está associado ao fenômeno La Nina.



**Figura 3** – Anomalia de Precipitação (mm/dia) (a) e Temperatura do ar (°C) (b) sazonal para o verão de 2002, para o passo de tempo 3.

## CONCLUSÕES

As previsões climáticas utilizando as redes neurais se mostraram uma ferramenta hábil, prática, rápidas, eficiente e eficaz no trato de variáveis meteorológicas e o comportamento médio atmosférico. A grande vantagem deste tipo de abordagem é o reduzido ônus promovido pelo emprego de tal técnica, uma vez que este demanda computadores de baixo custo (computadores pessoais) e agilidade na produção de resultados.

A mística de que as redes neurais são caixas pretas e não existe explicação física para o processamento de informações, deve ser parcialmente levada em conta, uma vez que a física da atmosfera, no caso deste trabalho, está atribuída ao comportamento das variáveis ao longo do tempo. A utilização de tal metodologia operacionalmente é algo totalmente possível e plausível, sendo que este método serviria de apoio aos modelos atualmente usados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cavalcanti, I. F. A. et al. Global Climatological Features in a Simulation Using the CPTEC-COLA AGCM. *Journal of Climate*, **15**, n 27, p. 2965-2988. 2002

Drumond AR, Ambrizzi T (2005) The role of SST on the South American atmospheric circulation during January, February and March 2001. *Climate Dynamics* 24(7-8): 781

Haykin, S. *Redes Neurais: Princípios e Práticas*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Lenters, J. D., and K. H. Cook, 1999: Summertime precipitation variability over South America: Role of the large-scale circulation. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 409-431.

Liebmann, B., Marengo, J.A., Ambrizzi, T., Glick, D., 1999. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, **12**, 1877–1891.

Nimer, E., 1979. *Climatologia do Brasil*. SUPREN/IBGE. Volume 4.

Quadro, M.F.L.; Abreu, M.L., 1994. Estudos de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8:620-623. Belo Horizonte-MG. Anais II.

Pessoa, A.S.A., 2004. Mineração de dados meteorológicos pela teoria dos conjuntos aproximativos na previsão de clima por redes neurais artificiais. São José dos Campos. 132 p. [Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais].

Ramirez, M.C.V., Weigang, L., Ferreira, N.J., 1999. Aplicação de Redes Neurais Artificiais e Transformada de Ondeletas para Estimativas de Precipitação usando imagens do satélite GOES-8 : Resultados Preliminares. IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais, pp. 252-256. São José dos Campos – SP.