

## Proposta de Uso de Redes Neurais para Simulação Térmica em um Simulador Operacional de Satélites

REIS JUNIOR, J. D.<sup>1,2</sup>, AMBROSIO, A. M.<sup>1</sup>, SOUSA, F. L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Aluno de Doutorado da área de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais

daniel.reis@inpe.br

**Resumo.** *Este trabalho tem como objetivo desenvolver um simulador em tempo real para o comportamento térmico de um satélite, utilizando Redes Neurais Artificiais. Os resultados obtidos até o momento demonstram a capacidade das Redes Neurais, não só de reproduzir resultados conhecidos, como também de generalizar para situações não fornecidas no treinamento.*

**Palavras-chave:** Simulador Operacional; Simulação Térmica; Redes Neurais Artificiais; Tempo Real.

### 1. Introdução

O desenvolvimento de satélites mudou significativamente na última década, sendo acelerado e otimizado pelas modernas técnicas de simulação. Esta nova abordagem tem reduzido a necessidade de se construir alguns modelos físicos de teste para o satélite e seus subsistemas, substituindo-os por simulações computacionais [Eickhoff, 2009].

Atualmente, está sendo desenvolvido no INPE um simulador operacional para o satélite CBERS 4, que poderá ser estendido para outras plataformas. Um simulador operacional possui como funções primárias testar e validar os procedimentos operacionais de voo e o sistema do Centro de Controle, além de servir como plataforma de treinamento para os operadores de solo [Ambrosio, 2006].

Quanto à simulação térmica, a principal abordagem utilizada, e que apresenta maior fidelidade, consiste na integração de sistemas de equações diferenciais [Perpiñán, 1994]. Contudo, essas simulações, aplicadas em diferentes cenários, exigem um alto custo computacional, podendo levar até 6 horas para produzir o resultado desejado.

A capacidade de generalização das Redes Neurais Artificiais (RNAs) pode ser utilizada para interpolar pontos de uma superfície multidimensional formada a partir de um conjunto de dados de saída como função de dados de entrada. As RNAs também possuem a vantagem de fornecer resultados rapidamente, pois após o processo de treinamento, o "conhecimento" fica armazenado em sua estrutura [Haykin, 1994].

O objetivo deste trabalho é, portanto, desenvolver um simulador em tempo real do comportamento térmico de satélites, utilizando RNAs.

### 2. Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste primeiramente na realização de simulações térmicas preliminares, para cenários específicos de órbita, utilizando um software de prateleira, como o SINDA/FLUINT.

Em seguida, os resultados dessas simulações serão utilizados para treinar uma RNA, de forma que ela possa reproduzir os resultados simulados previamente, e também possa fornecer dados para cenários não previstos.

Por fim, essa RNA será integrada em um módulo do Simulador Operacional, para obter a distribuição de temperaturas do satélite em tempo real, para qualquer cenário de operação e de ambiente térmico espacial que esteja sendo analisado no simulador.

### 3. Resultados e Discussão

Inicialmente, realizamos testes com RNAs para testar a sua capacidade de interpolar qualquer ponto de uma função matemática ( $\sin(x)\cos(2x)$ ) a partir de alguns pontos fornecidos para treinamento. Realizamos testes para uma e duas camadas ocultas, variando o número de neurônios e os parâmetros da rede. Na Fig. 1 podem ser vistos a convergência da RNA após o treinamento (esquerda) e a influência da taxa de aprendizagem (direita) no erro obtido (E) e no número de passos (Épocas) necessários para atingir a convergência dentro de uma determinada tolerância.

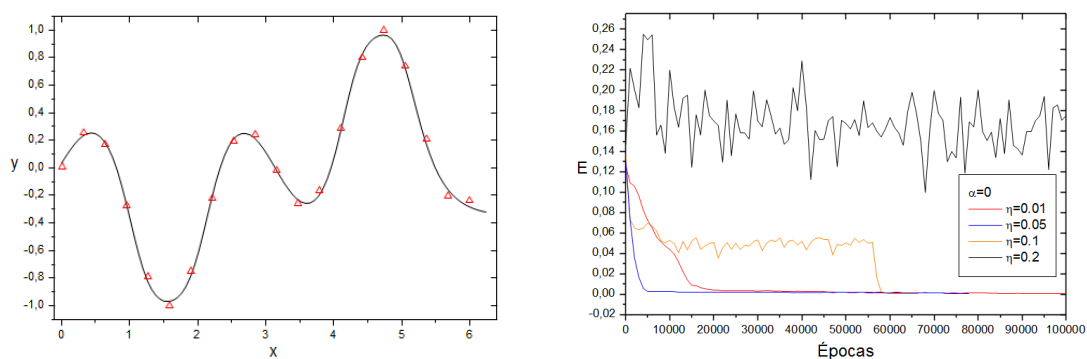


Figura 1: Resultados para redes E/3/3/1 (esquerda) e E/4/3/1 (direita).

Com esses resultados, verificamos que a RNA foi capaz de reproduzir a função com erro pequeno, dentro de um determinado intervalo de parâmetros. Além disso, também observamos a influência da variação da taxa de aprendizagem ( $\eta$ ) e da constante de momento ( $\alpha$ ), na convergência da RNA.

### 4. Conclusão

Os resultados apresentados demonstram a capacidade de aproximação de funções das RNAs. Verificamos que é necessária uma estrutura mínima (número de neurônios e camadas) e também que existe um intervalo ideal dos parâmetros para obter a convergência dentro de uma tolerância especificada.

Esses resultados demonstram uma forte dependência dos parâmetros utilizados. O que implica que um dos maiores desafios para aplicação de RNAs é a determinação do intervalo ideal de parâmetros para cada problema específico.

### Referências

- Ambrosio, A. M., Cardoso, P. E., Orlando V., Bianchi-Neto, J. (2006). Brazilian Satellite Simulators: Previous Solutions Trade-off and New Perspectives for the CBERS Program. Proceedings of the 8th Conference on Space Operations.
- Eickhoff, J. (2009). Simulating Spacecraft Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Haykin, S. (1994). Neural Networks a Comprehensive Foundation, Prentice Hall, Inc.
- Perpiñán, M. A. C. (1994). The Modelling of the Thermal Subsystem in Spacecraft Real Time Simulators, Simulation Systems Section ESA-ESOC.