



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO
CARLOS



Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC)

Relatório Parcial

Estudo e implementação de redes neurais hierárquicas de aprendizado profundo para cálculo de interpolações em elementos finitos

Autor: Pedro Azevedo Coelho Carriello Corrêa

Orientador: Dr. Pablo Giovanni Silva Carvalho

São Carlos, SP

Março, 2024

1 Introdução e Motivação

A dinâmica dos fluidos é uma área na qual tendem a surgir sistemas de equações bastante complexas e, por isso, desde o início do uso de computadores para simulações, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) se fez uma das suas grandes vertentes de estudo. Atualmente, com uma grande expansão do uso de Inteligência Artificial em diversos setores, naturalmente são aplicados diversos métodos de aprendizado de máquina na área de CFD. Nesse contexto, um dos métodos que se destacam são as Redes Neurais Artificiais, em especial as de *Multi-Layer Perceptron* (SHARMA et al., 2023).

1.1 Mudança de direcionamento da pesquisa

No início da pesquisa bibliográfica, o foco era o estudo da implementação de redes neurais para o aprimoramento de solução de sistemas por meio do Método de Diferenças Finitas. Porém, após um estudo inicial desse método (baseado em Langtangen e Linge (2017)) e do Método de Elementos Finitos (a partir de Becker e etc. (1981)), da formação de um grupo de estudo com professores e alunos de pós-graduação focados na biblioteca FEniCSx (que se baseia em elementos finitos), uma decisão foi feita para uma mudança na metodologia do projeto. Por contar com o apoio dos integrantes do grupo de estudos de elementos finitos, e após a realização que a mudança de foco no estágio inicial do projeto seria possível, a alteração foi considerada uma decisão sensata pelo aluno e pelo orientador da pesquisa.

Tanto o de diferenças finitas, quanto o de elementos finitos, são métodos de solução numérica extensivamente aplicados e consolidados historicamente no contexto de equações de dinâmica dos fluidos (THOMÉE, 1984) e, no contexto de aprendizado de máquina, as redes neurais artificiais já se provaram como uma ferramenta capaz de aperfeiçoar ambos os métodos, como se pode verificar em Pantidis e Mobasher (2023), Meethal et al. (2023), Le-Duc, Nguyen-Xuan e Lee (2023) para elementos finitos e Tu e Nguyen (2022), Shi et al. (2020) para diferenças finitas. Assim, a mudança da metodologia da pesquisa ainda conserva o uso de métodos já consolidados para soluções numéricas.

1.2 Redes Neurais *Multi-Layer Perceptron*

1.3 Método de Elementos Finitos

2 Atividades

3 Resultados

4 Próximas Etapas

Referências

- BECKER, E. B.; etc. **Finite Elements: v. 1: An Introduction**. Harlow, England: Longman Higher Education, 1981. Citado na página 1.
- LANGTANGEN, H. P.; LINGE, S. **Finite difference computing with PDEs: A modern software approach**. 1. ed. Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. Citado na página 1.
- LE-DUC, T.; NGUYEN-XUAN, H.; LEE, J. A finite-element-informed neural network for parametric simulation in structural mechanics. **Finite Elem. Anal. Des.**, v. 217, n. 103904, p. 103904, 2023. Citado na página 1.
- MEETHAL, R. E.; KODAKKAL, A.; KHALIL, M.; GHANTASALA, A.; OBST, B.; BLETZINGER, K.-U.; WÜCHNER, R. Finite element method-enhanced neural network for forward and inverse problems. **Adv. Model. Simul. Eng. Sci.**, v. 10, n. 1, 2023. Citado na página 1.
- PANTIDIS, P.; MOBASHER, M. E. Integrated finite element neural network (I-FENN) for non-local continuum damage mechanics. **Comput. Methods Appl. Mech. Eng.**, v. 404, n. 115766, p. 115766, 2023. Citado na página 1.
- SHARMA, P.; CHUNG, W. T.; AKOUSH, B.; IHME, M. A review of physics-informed machine learning in fluid mechanics. **Energies**, v. 16, n. 5, p. 2343, 2023. Citado na página 1.
- SHI, Z.; GULGEC, N. S.; BERAHAS, A. S.; PAKZAD, S. N.; TAKAC, M. Finite difference neural networks: Fast prediction of partial differential equations. In: **2020 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)**. [S.l.]: IEEE, 2020. p. 130–135. Citado na página 1.
- THOMÉE, V. The finite difference versus the finite element method for the solution of boundary value problems. **Bull. Aust. Math. Soc.**, v. 29, n. 2, p. 267–288, 1984. Citado na página 1.
- TU, S. N. T.; NGUYEN, T. FinNet: Solving time-independent differential equations with finite difference neural network. 2022. Citado na página 1.