

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE DE COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO (HPC) APLICADO ÀS SIMULAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS DO PROJETO ELECTROFSI

Mariana Alice Pires Leite– PIBITI/CNPq¹

Helber Henrique Moraes da Cruz¹

Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva Santos²

Introdução

No atual cenário das telecomunicações e da fotônica integrada, a constante busca pelo desenvolvimento de dispositivos que ofereçam maior largura de banda, menor latência e dimensões cada vez menores, tem requerido projetos cada vez mais complexos e com diferentes materiais e geometrias metamateriais. Buscando reduzir os custos desses projetos, as simulações computacionais tornaram-se ferramentas fundamentais para esses fins, assim como na pesquisa científica e no suporte ao ensino tecnológico. Nesse contexto, o ElectrosFI apresenta-se como um projeto em desenvolvimento no Instituto Federal Campus Itapetininga, entregando um simulador eletromagnético baseado no modelo *Software as a Service* (SaaS) para democratizar o acesso ao cálculo científico e às simulações eletromagnéticas, abstraindo a complexidade de hardware via navegador (NASCIMENTO et al., 2025). O simulador utiliza métodos numéricos como o *Finite-Difference Time-Domain* (FDTD) e o *Finite Element Method* (FEM), suportados por aplicações como Meep³ e NGSolve⁴, que funcionam através da discretização do espaço em malhas computacionais para aproximar as soluções das Equações de Maxwell (OSKOOI et al., 2010; JIN, 2015). A aplicação desses métodos, especialmente em simulações 3D, demanda malhas altamente refinadas para a representação de estruturas em escalas menores, o que amplia significativamente o número de variáveis e o esforço computacional. Esse cenário pode tornar o processamento inviável para computadores convencionais devido à intensa demanda por processamento e armazenamento de dados em memória (NAVAUX; SERPA, 2021), requerendo utilizar mecanismos de aceleração ou possibilitando que esses processos ocorram por meio de recursos de computação de alto desempenho com a implementação da computação distribuída e, ou, paralela (PADILLA-PEREZ et al., 2022). Assim, este trabalho busca mitigar tais limitações, buscando estruturar um cluster Beowulf com infraestrutura de Computação de Alto Desempenho (HPC) disponível no campus Itapetininga do IFSP, cujos servidores computacionais foram adquiridos em projeto de pesquisa com fomento conquistado junto à SETEC/MEC para a entrega deste ambiente de simulação eletromagnética. Para gerenciar a complexidade desse ambiente distribuído e garantir a reprodutibilidade dos resultados, adotou-se a

¹ Estudantes do curso de Tecnologia em Sistemas para Internet, IFSP – Itapetininga/SP. E-mail do primeiro autor: alice.mariana@aluno.ifsp.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9547-4710>

² Professor do curso de Tecnologia em Sistemas para Internet, IFSP – Itapetininga/SP. E-mail do autor: carlos.santos@ifsp.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8786-405X>

³ Disponível em: <https://meep.readthedocs.io/en/master/>

⁴ Disponível em: <https://ngsolve.org/>

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

containerização via Docker (MERKEL, 2014). Esta tecnologia permite isolar as dependências computacionais e assegurar que o simulador opere de forma idêntica em diferentes nós do sistema, eliminando inconsistências de software. No contexto do ElectrosFI, o container de processamento distribuído será dedicado aos microsserviços do simulador, que já integra ao menos outros quatro módulos interconectados para ofertar interface, soluções numéricas e o tratamento dos dados. Essa arquitetura MVP (*Minimum Viable Product*) baseada em microsserviços viabiliza a aplicação da decomposição de domínio, técnica que fragmenta o problema físico em partes menores para processamento simultâneo via protocolo *Message Passing Interface* (MPI). Assim, diante da importância de consolidar essa base tecnológica para a plena operação do simulador, o presente trabalho descreve o planejamento e a estruturação física e lógica deste ambiente de computação distribuída.

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo descrever o planejamento e a estruturação técnica de um ambiente de Computação de Alto Desempenho (HPC) dedicado ao simulador ElectrosFI. Busca-se detalhar a implementação de uma arquitetura de rede segmentada e a configuração de um ambiente distribuído orquestrado via MPI e Docker, visando garantir a escalabilidade, a baixa latência e a eficiência computacional necessárias para o processamento de simulações eletromagnéticas complexas em 2D e 3D.

Metodologia

A infraestrutura computacional foi projetada para sustentar o modelo *Software as a Service* (SaaS) do simulador ElectrosFI, integrando um cluster de quatro servidores Dell T550 que totalizam 64 núcleos de processamento Intel Xeon 4314 e 256 GB de memória RAM sob a distribuição Debian 12. Para otimizar a velocidade de escrita e leitura de grandes volumes de dados científicos, cada unidade é equipada com dois discos SSD de 960 GB. Conforme detalhado na topologia da Figura 1, a arquitetura de rede implementa uma segmentação onde o nó mestre exerce a função de interconexão e *gateway* centralizador.

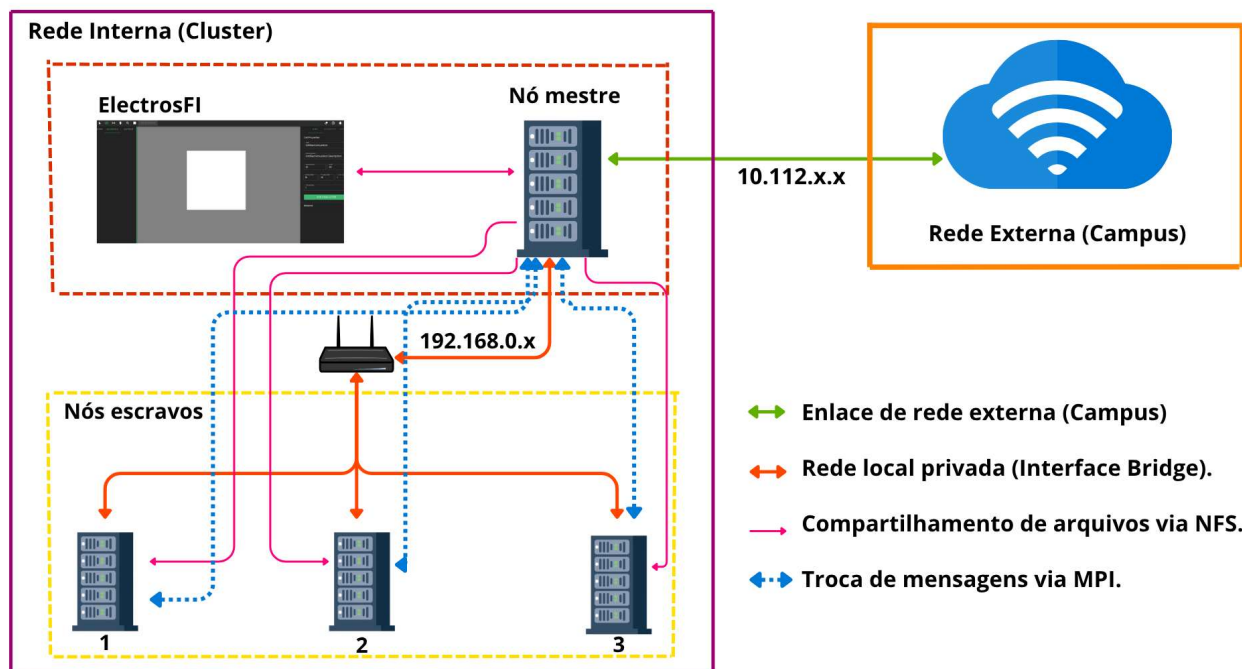
XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

Figura 1 - Topologia de rede e arquitetura lógica do cluster HPC ElectrosFI



Fonte: De autoria própria (2026).

Utilizando uma interface de rede dupla para a mediação do tráfego, a primeira interface conecta-se à rede externa do campus (10.112.x.x), enquanto a segunda gerencia a rede local privada (192.168.0.x) dedicada ao cluster. Nesta configuração, o nó mestre atua como gateway, provendo acesso à internet aos nós subordinados via encaminhamento de pacotes (*IP Forwarding*) e NAT (*Network Address Translation*). A gestão das requisições externas é centralizada pelo Kong API Gateway⁵ no mestre, que orquestra o roteamento para os microsserviços internos. O gerenciamento remoto e a execução de comandos distribuídos ocorrem via protocolo SSH com chaves RSA. Para viabilizar a decomposição de domínio, implementou-se um sistema de arquivos NFS (*Network File System*), que garante que todos os nós escravos acessem de forma síncrona os mesmos arquivos de malha e scripts de simulação armazenados no mestre. Essa persistência compartilhada é importante para que a biblioteca mpi4py⁶ distribua a carga de cálculo entre os múltiplos núcleos do cluster; enquanto cada processo MPI resolve uma partição do problema físico, os dados de entrada e os resultados parciais permanecem acessíveis globalmente no diretório compartilhado. A orquestração lógica é realizada via containers Docker, assegurando a homogeneidade do ambiente de software (Meep e NGSolve) em toda a

⁵ Disponível em: <https://developer.konghq.com/gateway/>

⁶ Disponível em: <https://mpi4py.readthedocs.io/en/stable/>

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

infraestrutura. Esta arquitetura garante que os resultados científicos sejam consolidados e devolvidos ao usuário de forma transparente, escalável e com alta integridade de dados.

Resultados

O trabalho resultou no detalhamento técnico e no projeto lógico da Infraestrutura de HPC necessária para o ecossistema ElectrosFI. A definição da topologia de rede, com segmentação via Gateway/NAT, e a especificação da biblioteca *mpi4py* garantem estabelecer as diretrizes teóricas para se fazer a comunicação de baixa latência entre os nós. O planejamento assegura que a arquitetura proposta possui capacidade nominal para suportar a carga computacional dos microsserviços Meep e NGSolve, uma vez que a segmentação projetada mitiga potenciais gargalos de tráfego. Ademais, a estruturação baseada em Docker e NFS define um modelo de portabilidade e integridade para os dados científicos, deixando a infraestrutura tecnicamente qualificada e pronta para a fase subsequente de testes e execução das primeiras simulações. Os testes com resultados de validação de desempenho da arquitetura estão sendo especificados para documentação e posterior compartilhamento em diferentes cenários.

Conclusão

A investigação atingiu o seu objetivo de consolidar o planejamento da estruturação técnica de um *cluster* de alto desempenho dedicado ao ElectrosFI. A arquitetura proposta, fundamentada em uma rede segmentada e na orquestração via MPI e Docker, apresenta-se como uma base tecnológica sólida para a democratização do cálculo científico em modelo SaaS. A estruturação deste ambiente permitirá que simulações complexas de alto custo computacional sejam realizadas de forma distribuída, superando as limitações do hardware local e garantindo a integridade dos dados processados. Espera-se, em etapas futuras, fornecer o simulador ElectrosFI de forma escalável à comunidade científica, com toda a complexidade de hardware devidamente abstraída, permitindo que pesquisadores e estudantes executem e validem suas simulações diretamente no ambiente de alto desempenho de forma transparente e acessível.

Referências

- JIN, J.-M. **The Finite Element Method in Electromagnetics**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
- MERKEL, D. Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment. **Linux Journal**, v. 2014, n. 239, 2014.
- NASCIMENTO, L. S.; FILHO, L. G. S.; NASCIMENTO, M. I. B.; SILVA, W. V. R. O Impacto da Computação em Nuvem na Eficiência Energética e na Redução de Custos Operacionais. In: **CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO (CODEC)**, 1., 2025, Piripiri/PI. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2025. p. 17-22. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/codec.2025.39145>
- NAVAUX, P. O. A.; SERPA, M. S. Desafios do Processamento de Alto Desempenho. In: **SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE (SEMISH)**, 48., 2021, Evento

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 39-49.

Disponível em: <https://doi.org/10.5753/semish.2021.15805>.

OSKOOI, A. F. et al. Meep: a flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method. **Computer Physics Communications**, v. 181, n. 3, p. 687–702, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2009.11.008>.

PADILLA-PEREZ, Diego et al. Accelerating electromagnetic field simulations based on memory-optimized CPML-FDTD with OpenACC. **Applied Sciences**, v. 12, n. 22, p. 11430, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app122211430>