

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS FORÇAS INDUZIDAS EM SUPERFÍCIES DIELÉTRICAS PELA APLICAÇÃO DE LASERS (FASE II)

Vitória Estércio Zanoni (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Prof. Dr. Nelson Guilherme Castelli  
Astrath (Orientador), e-mail: ngcastrath@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Maringá, PR.

**Física – Física da matéria condensada.**

**Palavras-chave:** Método FDTD, Método ASR, Ondas Eletromagnéticas.

### Resumo:

O principal objetivo do projeto foi desenvolver as equações de Maxwell utilizando o método de diferenças finitas no domínio do tempo FDTD, e também através desse método foi desenvolvido um código em MATLAB e gerado um gráfico da simulação da propagação de ondas eletromagnéticas no espaço. Além disso, nesse projeto foi demonstrado o que e como funcionam as células de Yee, e ainda dentro do método FDTD foi citada a técnica de camadas perfeitamente casadas PML que é uma ferramenta para desenvolver tal método. Para finalizar, foi mostrado um pouco sobre o método de representação de espectro angular ASR, que é um outro método de simulação um pouco mais simples do que o método FDTD.

### Introdução

O método de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD – *Finite-Difference Time-Domain*) [1-2], vem ganhando uma grande popularidade na última década por ser um algoritmo numérico que resolve as equações de Maxwell. Este método foi apresentado por Kane Yee em 1966, e é um algoritmo que a partir de campos passados, calcula valores de campos futuros utilizando diferenças centradas no tempo e espaço. A principal vantagem de utilizar esse método é a relativa facilidade de discretização das coordenadas das equações parciais. O método FDTD apenas destacou-se quase duas décadas depois de sua criação. Isso se deu por conta de que na época os computadores convencionais não possuíam uma grande quantidade de memória computacional que esse método requer, e também por conta das maiorias das pesquisas em eletromagnetismo estarem concentradas nos métodos “*Method of Moments – MoM*” que é o Método dos Momentos, e o “*Finite Element Method – FEM*” que é o Método dos Elementos Finitos. No entanto, houve um grande avanço da microeletrônica e os computadores começaram a possuir maiores velocidades de processamento e maior capacidade de memória. Com isso, o uso do método FDTD ganhou força entre os pesquisadores por promover um ótimo avanço em pesquisas utilizando esse método.

O desenvolvimento do (ABCs – *Absorbing Boundary Conditions*), titulado em português como Condições de Fronteiras de Absorção, que permitem a simulação de estruturas que operam em regiões definidas como abertas (em outras palavras, em um domínio espacial ilimitado), também desencadeou o progresso do método FDTD. Desenvolvidas primeiramente por Madja e Engquist e aperfeiçoadas por Mur, essas aproximações de primeira e segunda ordem para as ABCs são utilizadas até hoje. Outra categoria de ABCs são as Camadas Perfeitamente Casadas, do inglês (*PML – Perfectly Matched Layers*), essa técnica é uma ferramenta para desenvolver o método FDTD e consiste em uma ferramenta de absorção para poder simular um espaço pequeno em um espaço que supostamente seria infinito. Essa aplicação PML, foi desenvolvida por Berenger e aperfeiçoada mais tarde por Gedney, ela se baseia no modelamento de materiais absorsores com propriedades não refletoras que são usados nas fronteiras do domínio computacional.

Outro método é a representação de espectro angular (*ASR – Angular Spectrum Representation*) [3], que consiste em uma técnica matemática para descrever campos ópticos em meios homogêneos. O método ASR é uma representação integral de campos de ondas que expressa um campo como uma superposição de ondas planas que se propagam em várias direções e ondas evanescentes decaindo exponencialmente em taxas diferentes. Esse método tem grande força na descrição da propagação do feixe de laser e focalização da luz.

## Materiais e Métodos

Para as simulações o programa utilizado foi o MATLAB. Para simular a propagação de uma onda eletromagnética no espaço foi estudado o método FDTD.

## Resultados e Discussão

A seguir, nas imagens 1, 2 e 3 é mostrada a simulação da propagação das ondas eletromagnéticas no espaço:

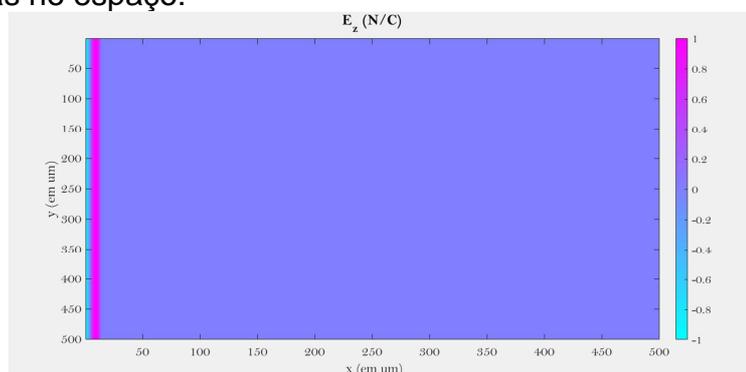
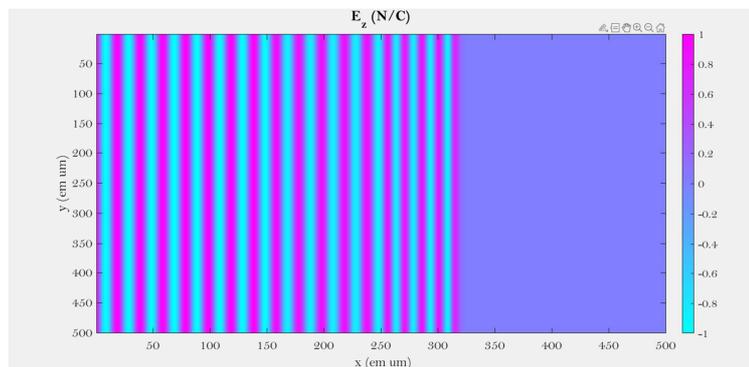
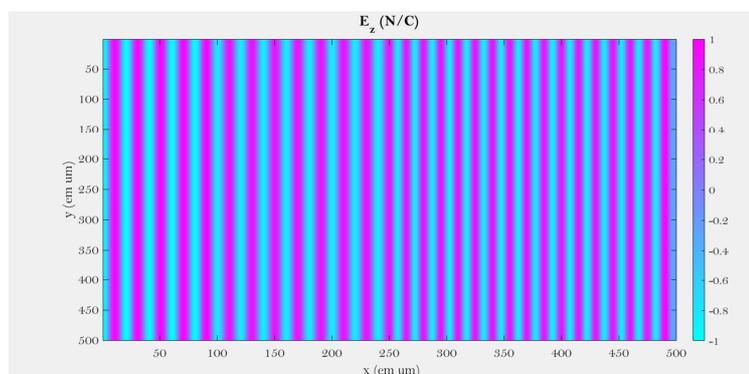


Figura 1 – Início da simulação em MATLAB da propagação das ondas eletromagnéticas no espaço.



**Figura 2** – Continuação da simulação em MATLAB da propagação das ondas eletromagnéticas no espaço.



**Figura 3** – Final da simulação em MATLAB da propagação das ondas eletromagnéticas no espaço.

## Conclusões

O método de diferenças finitas no domínio do tempo FDTD é muito eficaz para simular propagações de ondas eletromagnéticas no espaço, e podemos enxergar isso nas imagens acima e também em todo desenvolvimento do projeto. Tal método é muito simples e prático para simulações em 2D, porém para experimentos maiores e mais complexos é preciso de mais processamento e inputs de variáveis maiores também. Por isso, é possível chegar a conclusão de que, em alguns casos, o método ASR se torna uma boa alternativa para conseguir resolver essas dificuldades que as vezes são encontradas no método FDTD. Também chegamos a conclusão de que a técnica PML é uma ferramenta de absorção auxiliar para o método FDTD, e pode ser aplicada em contornos para absorver as ondas eletromagnéticas.

## Agradecimentos

Agradeço a Fundação Araucária e o CNPQ pelo apoio financeiro. E agradeço também o professor Dr. Nelson Guilherme Castelli Astrath pela oportunidade, orientação e ensinamentos.

## Referências

- [1] A. Z. Elsherbeni e V Demir, **The Finite-Difference Time-Domain Method for Eletromagnetics with MATLAB Simulations**, SciTech Publishing, 2016.
- [2] John B. Schneider, **Understanding the Finite-Difference Time-Domain Method**, Notas de John B. Schneider, 2017.
- [3] P. C. Clemmow, **The Plane Wave Spectrum Representation of Electromagnetic Fields**, 2nd ed. (IEEE Press, 1996) pp. 23-35.