

## ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DAS TÉCNICAS DE ESPELHO TERMICO E LENTE TERMICA

Hygor Benati Gonçalves (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Nelson Guilherme Castelli  
Astrath (Orientador), e-mail: ra109695@uem.com.br

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas e da Terra  
/Maringá, PR.

### Ciências Exatas e da Terra: Física

**Palavras-chave:** FDTD, Condições de contorno, TF/SF.

### Resumo

Neste projeto, foi estudado mais profundamente o método teórico para soluções de problemas eletromagnéticos: o método de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD). Em especial, foram estudadas algumas condições de contorno aplicadas no FDTD em uma dimensão, complementando os trabalhos já estudados no período anterior.

### Introdução

Nas últimas décadas, o método de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) vem ganhando cada vez mais atenção, principalmente para solução de problemas que envolvem propagação de ondas eletromagnéticas em meios dielétricos.

Nesse contexto, o FDTD pode ser usado para a simulação numérica da interação de ondas eletromagnéticas com um sólido ou líquido dielétrico e com isso verificar o efeito de pressão de radiação em um meio material. Um dos maiores desafios no desenvolvimento deste método é a implementação das condições de contornos absorvedoras (ABC's), uma vez que elas determinam como os campos eletromagnéticos devem se comportar nas extremidades do domínio.

Nesse seguimento, as ABC's determinam como as ondas devem interagir nos extremos. No caso deste trabalho, é do interesse fazer com que toda onda que chegue ao extremo seja completamente atenuada de modo a não interferir na região do material sob investigação. Mais especificamente, foi estudado uma condição de contorno chamada Total-Field/Scattered-Field (TF/SF) [1], onde o campo é dividido em dois (o campo total e o campo de dispersão). Em resumo, aprender e aplicar as condições de contorno junto ao FDTD é, portanto, de extrema importância para a utilização do método e ao desenvolvimento de rotinas numéricas robustas para descrever meios materiais reais.

## Materiais e métodos

As ABC's têm o papel de fazer com que os campos elétricos e magnéticos que chegam às extremidades não retornem para o espaço do problema considerado. Nesse sentido, um exemplo mais simples de ABC seria simplesmente fazer com que não tenhamos nenhuma energia entrando na rede "por fora". Em outras palavras, o valor do campo elétrico atualizado no ponto  $E_x(0)$  deve ter o mesmo valor anterior que existia no ponto  $E_x(1)$ . Como não haverá energia "entrando" pela esquerda do campo, o ponto  $E_x(1)$  estará propagando somente para esquerda. O mesmo serve, analogamente, para o outro extremo do campo onde o valor atualizado de  $H_y(99)$  será  $H_y(98)$  (em um campo com tamanho 100).

Logo, adicionando estas duas condições ao domínio FDTD, teríamos a mais simples ABC descrita como

$$E_x(0) = E_x(1) \quad (1)$$

e

$$H_y(\text{tamanho} - 1) = H_y(\text{tamanho} - 2). \quad (2)$$

Entretanto, essa condição não funciona para todos os casos. Por outro lado, um método mais adequado para tratar este problema nas condições de contorno é o TotalField/Scattered Field Boundary (TF/SF) [1], ou método do Campo total/Campo de dispersão. O TF/SF, ou método da superfície de Huygens, consiste em substituir a onda que incide para fora do campo por fontes colocadas em superfícies irrealis ao redor da região principal. Assumindo  $E_{inc}$  e  $H_{inc}$  os campos incidentes produzidos dentro de um domínio por fontes ao redor da região principal, o Total Field estará presente na região interna ao Scattered Field. Sejam  $E_{inc}$  e  $H_{inc}$  os campos incidentes produzidos dentro de um domínio por fontes ao redor da região principal. Se houver uma perturbação na região principal, os campos  $E_{total}$  e  $H_{total}$  se tornam os campos totais (Total Field). Dessa forma, o campo de dispersão (Scattered Field) é, por definição, a diferença dos dois campos:

$$E_{disp} = E_{total} - E_{inc} \quad (3)$$

$$H_{disp} = H_{total} - H_{inc}. \quad (4)$$

Com o TF/SF aplicado, o domínio do FDTD apresenta-se dividido em dois: a região externa, campo de dispersão, e a região interna, campo total. Na separação dessas regiões, a onda incidente passa por uma modificação causada pelas equações do FDTD, o que fisicamente corresponde a substituir a onda incidente por uma malha fictícia que depende dos campos incidentes na própria superfície. Esquemáticamente, pode-se observar na Figura 1 a ilustração de como o domínio do FDTD fica dividido com o método TF/SF.

Condição de contorno absorvente Superfície de Huygens

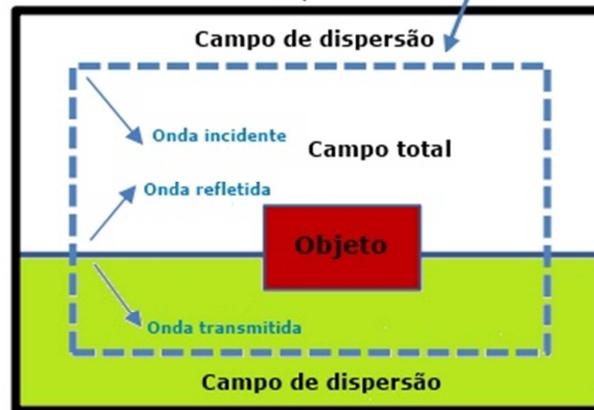


Figura 1- Domínio do FDTD esquematizado com o método de Campo total/Campo de dispersão.

Neste caso, a onda incidente sai do vácuo (em branco), passa pela superfície de Huygens e então interage com o material, onde parte é refletida e parte é transmitida para o material dielétrico (em verde).

## Resultados e Discussão

O TF/SF vem sendo implementado no domínio do FDTD por conta do sucesso em lidar com ondas planas que incidem fora do campo. Exemplificando, na Figura 2 pode-se observar a simulação do código desenvolvido durante o projeto.

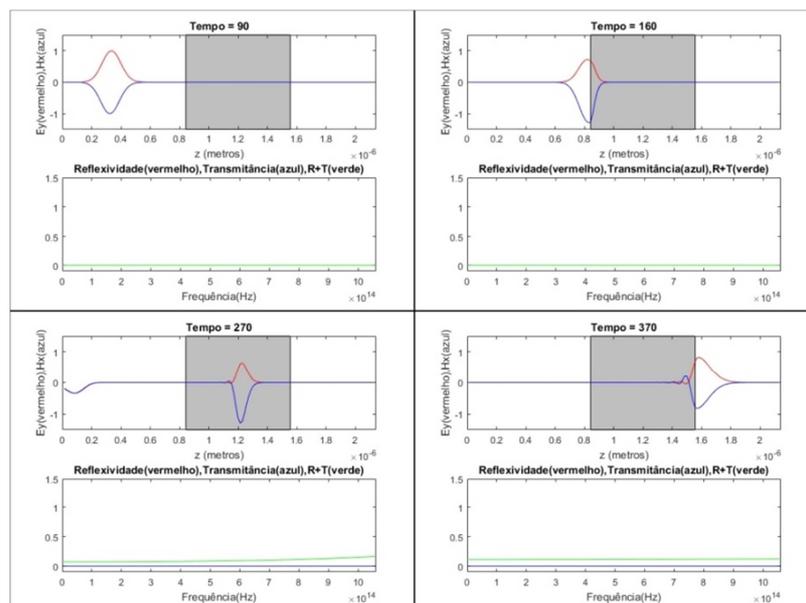


Figura 2 – Simulação do código FDTD nos tempos 90, 160, 270 e 370 segundos, com suas respectivas refletividade e transmitância.

Na Figura 2, temos a simulação de uma onda plana incidente ( $E_{inc}$  e  $H_{inc}$ ) em uma região TF/SF absorvendo-a e refletindo parte dessa onda. Além disso, a refletividade, transmitância e a soma das duas são apresentadas em função da frequência para melhor analisar o retorno da onda aos extremos.

Nesse sentido, a região que apresenta o TF/SF tem como função “aprisionar” o pulso de fonte até que não se tenha mais onda refletindo dentro da região. Nesse exemplo, a onda plana, composta pelo campo elétrico ( $E_y$ ) e campo magnético ( $H_x$ ), propaga em um meio isotrópico não dispersivo e quando chega a um extremo, através das transformadas de Fourier, temos o valor da transmitância e da reflexividade.

## Conclusões

Em síntese, o método de Campo total/Campo de dispersão (TF/SF) mostrou-se eficaz na contenção de ondas incidentes e de muita utilidade para o domínio FDTD, tornando seu estudo e aprimoramento muito relevante para o desenvolvimento deste projeto.

## Agradecimentos

Agradeço às agências Capes, Fundação Araucária e CNPq pelo apoio financeiro.

## Referências

- [1] D.E. Merewether, R. Fisher, F.W. Smith, “On Implementing a Huynges Source Scheme in a Finite Difference Program to Illuminate Scattering Bodies”, IEEE Trans. Nucl. Sc., vol. 27, pp. 1829-1834. 1980.
- [2] University of Utah, Numerical Methods for Electromagnetics, Departament of Electrical and Computer Engineering, 2012.
- [3] R. L. Luz, O método das diferenças finitas no domínio do tempo em eletromagnetismo, Trabalho de conclusão de curso no Curso de Matemática, UFSV (2013).