

SIMULAÇÃO DE UM AMBIENTE NA TECNOLOGIA UWB USANDO O MÉTODO FDTD E IMPLEMENTAÇÃO EM JAVA

Elson MUNIZ (1); Carlos FONTINELLE (2)

(1) CEFET-AM, Av. Danilo Aersa s/n, +559236468893, e-mail: emuniz@tj.am.gov.br

(2) CEFET-AM, e-mail: carlos_fontinelle@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo mostra o desenvolvimento de um aplicativo *web* direcionado para simular um ambiente em tecnologia UWB (Ultra Wide Band) – Banda Ultra Larga. O aplicativo será desenvolvido a partir do método FDTD (Finite Difference Time Domain), método numérico que discretiza as Equações de Maxwell no domínio do tempo, possibilitando implementação computacional de um ambiente que tem como sinal de entrada um pulso gaussiano, peculiar em ambientes UWB. Com a crescente evolução do poder de processamento dos computadores e a crescente migração de aplicativos para a arquitetura *web* é evidente a importância de se desenvolver uma simulação FDTD que possa se aproveitar das vantagens dessa plataforma. O artigo discute as principais características da tecnologia UWB e do Método FDTD. Em seguida é descrito o ambiente de desenvolvimento e as principais características da implementação do software.

Palavras-chave: UWB, método FDTD, Java.

1. INTRODUÇÃO

A conectividade através de sistemas de comunicação sem fio proporcionou às pessoas um novo estilo de vida com a conveniência da mobilidade. Conexões de dispositivos móveis em computadores pessoais, tais como discos rígidos externos, câmeras de vídeo digitais, *mp3 players*, projetores, caixas de som de alta fidelidade, *set top boxes*, exigem uma alta taxa de transferência de dados, o que inviabiliza conexões destes dispositivos utilizando as tecnologias de comunicação sem fio, como Bluetooth e *Wi Fi*. Estas tecnologias não suprem a necessidade de transferência de dados desta nova geração de dispositivos eletrônicos que possibilita a construção das Redes Pessoais Sem Fio (WPAN).

É necessária uma evolução na área de transferência de dados sem fio para que o conceito de convergência digital, ou seja, dispositivos de diversos propósitos como aparelhos de entretenimento doméstico, aparelhos de comunicação móveis e periféricos de computadores, possam trocar dados através de uma plataforma que tenha como característica a alta taxa transferência de dados, interoperabilidade e baixa interferência entre os dispositivos e as tecnologias sem fio existentes.

Uma das tecnologias emergentes nesta área é a UWB (Ultra Wide Band). O sistema UWB é capaz de emitir e receber na ordem de bilhões de pulsos por segundo através de um espectro de frequência extenso, distribuindo a potência ao longo desta faixa. Com isso, sistemas UWB têm despertado cada vez mais interesse na comunidade científica e na indústria eletrônica. O pulso UWB é transmitido em baixa potência, fazendo com que não haja interferência com outros sistemas de comunicação sem fio já existentes. A outra vantagem do sinal UWB é que, por utilizar pulsos estreitos, este tem maior robustez com respeito à interferência de multi-percursos.

Para uma melhor compreensão das características do sinal UWB, este trabalho propõe além do estudo de aspectos como a propagação eletromagnética e as aplicações dos sistemas em UWB, seja realizada uma implementação computacional simulando um sistema em banda ultra larga.

2. SISTEMAS EM BANDA ULTRA LARGA (UWB)

A tecnologia UWB é baseada em transmissores e receptores que são capazes de emitir e receber pulsos eletromagnéticos curtíssimos, com duração de nanossegundos ou menos, enviando bilhões de pulsos por segundo através de um espectro de frequência muito extenso, da ordem de GHz. Isto permite alcançar taxas de dados acima de 100 Mbit/s, usando pouca potência e podendo operar nas mesmas faixas de comunicações existentes sem produzir interferência significativa. Devido as suas características, a tecnologia UWB tem sido alvo de grande atenção por parte de diversas áreas da indústria como a eletrônica de dispositivos de comunicação, hardware para PC's e radares. Estas indústrias vêm continuamente incentivando pesquisas na área e buscando uma padronização para a tecnologia. A Figura 1 ilustra a comparação entre um sistema UWB e um sistema de banda estreita.

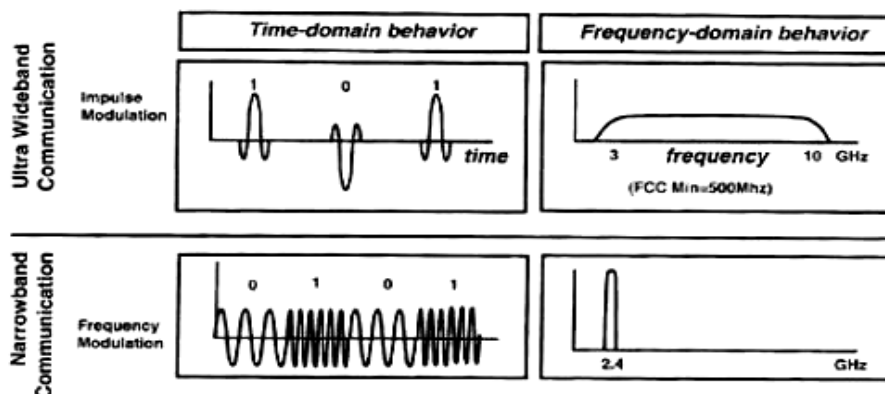


Figura 1. Comparação entre um sistema em banda ultra larga e um sistema em banda estreita.

Observando a figura 1 percebe-se que os sistemas UWB têm como característica a baixa densidade de potência ao longo de uma larga faixa de frequência. Enquanto a potência média de transmissão do sistema UWB é distribuída ao longo de uma larga faixa de espectro de frequência, o sistema de banda estreita distribui a potência média de transmissão ao longo de uma pequena faixa do espectro produzindo alta densidade espectral de potência. Temos que os sistemas de banda estreita somente exercerão interferência sobre uma pequeníssima fração do espectro de UWB.

Hoje o método dominante de comunicação sem fio se baseia em ondas senoidais. A modulação através de ondas eletromagnéticas senoidais se tornou tão universal que poucas pessoas se lembram que o primeiro sistema de radiocomunicação foi baseado em pulsos. Muitas pessoas vêem o UWB como uma nova tecnologia, no sentido de que ela provê algo que até então não era possível: altas taxas de transferência de dados e baixo consumo de energia. O fato é que a tecnologia UWB é uma evolução baseada em propriedades físicas há muito já descobertas. Durante muito tempo, o foco do desenvolvimento da tecnologia esteve voltado para os radares, principalmente para uso militar. Foi através dos militares, mais precisamente o exército Americano através de sua Agência Americana de Pesquisas Avançadas em Projetos de Defesa (DARPA), que o UWB ganhou aplicação prática e veio demonstrar suas vantagens também quando aplicado em comunicação de dados. Devido a essas vantagens, várias organizações estão incentivando pesquisas na área e buscando uma padronização. Dentre estas, podemos citar o instituto IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), a agência DARPA e a Comissão de Comunicações Federal dos EUA (FCC).

Dentre os principais desafios para a padronização da tecnologia está a regulamentação das frequências utilizadas, pois geralmente os equipamentos de UWB possuem de 1,5 a 4 GHz de banda o que gera um problema regulatório, já que maior parte das frequências entre 1 e 6 GHz já foi destinada para outros usos pelos órgãos supracitados. Então para transmitir nestas frequências, sem que seja requerida uma licença para o aparelho eletrônico, é necessário limitar a potência do sinal para que não haja interferência em outras transmissões.

3. O MÉTODO FDTD

O método FDTD foi inicialmente proposto por Kane Yee em um artigo publicado em 1966, onde é apresentado o desenvolvimento de uma solução numérica para os problemas de espalhamento eletromagnético baseado nas equações de Maxwell no domínio do tempo. Desde então, devido a sua robustez e simplicidade, este método tem sido continuamente aperfeiçoado, sendo objeto de muitas pesquisas nos últimos anos, pois é comprovadamente uma técnica que reúne uma grande potencialidade na solução de uma enorme variedade de tipos de problemas aplicados em antenas, óptica, difração, circuitos eletrônicos de alta velocidade, semicondutores, etc.

A formulação de aproximação do método é obtida pela substituição dos termos relativos às derivadas parciais das equações de Maxwell em relação ao espaço e tempo por aproximações algébricas, fundamentadas pela definição de derivada centrada, com solução envolvendo precisão de segunda ordem. Este esquema resulta em um método explícito o que implica em um menor custo computacional quando comparado com os métodos que envolvem inversão de matrizes em seu desenvolvimento. Com a aproximação, o cálculo dos campos elétrico e magnético é feito de forma direta, tornando possível a discretização destas equações e sua conseqüente implementação computacional.

O método FDTD foi inicialmente usado para analisar o espalhamento de ondas eletromagnéticas por objetos com estruturas simples. Com o tempo houve uma grande evolução de técnicas numéricas e o surgimento de novas gerações de computadores que permitiram que o método FDTD pudesse ser utilizado na análise de estruturas complexas. Dentre as técnicas numéricas, destaca-se a de Condição de Contorno Absorvente, Perfectly Matched Layer ou PML. Esta técnica tem como objetivo absorver ondas que incidem sobre as superfícies que limitam as regiões de análise de maneira a simular propagação para o infinito. Isso é necessário para a viabilização de simulações computacionais, já que é o método mais eficiente em termos de tempo de processamento e facilidade de desenvolvimento e programação.

O princípio do FDTD é baseado no método das diferenças finitas (FDM), desenvolvido por A. Thom em 1920. O FDM é uma técnica de aproximação transformando equações diferenciais em discretizadas ou finitas. Baseado neste método, Yee introduziu um conjunto de equações diferenciais finitas para discretizar as equações diferenciais de Maxwell que descrevem uma onda eletromagnética em um sistema de coordenadas retangulares tridimensional (x, y, z).

No método de Yee, as componentes do vetor campo elétrico E e do vetor campo magnético H são dispostas no espaço de forma que cada componente de E é circundada por quatro componentes de H e vice versa. As componentes de campo elétrico e magnético são dispostas em um conjunto de células tridimensionais (Δx , Δy , Δz). Na figura 2 está ilustrada a célula de Yee.

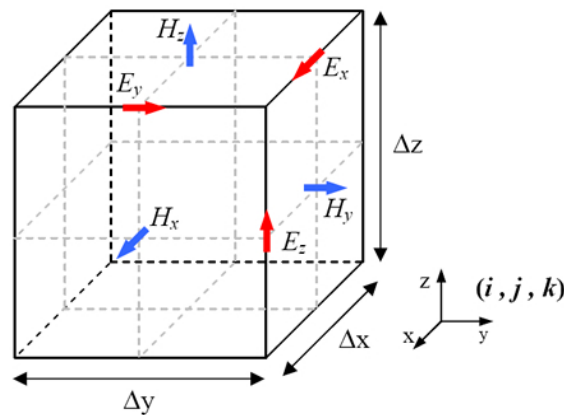


Figura 2. Célula de Yee.

4. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

4.1. A plataforma de desenvolvimento Java

A linguagem de desenvolvimento presente neste trabalho é a linguagem Java. Java é uma linguagem orientada a objetos que oferece todas as vantagens trazidas por este paradigma de desenvolvimento. Ela tem como base a criação de objetos através de classes que encapsulam funções e dados que podem herdar comportamentos e características assim como interagir através de mensagem com outros objetos para a realização das funções esperadas do software. A abstração através de objetos que interagem para realizar determinada tarefa encontra paralelo no mundo real, sendo uma forma mais natural de dominar a complexidade de muitos problemas a serem resolvidos computacionalmente.

A arquitetura orientada a objetos de Java quando combinada com a biblioteca gráfica padrão da plataforma, resulta numa interface com o usuário mais intuitiva, pois ao invés de realizar a entrada de parâmetros manipulando diretamente o código ou apenas visualizar o resultado de uma simulação previamente preparada, o usuário pode manipular barras de rolagem, botões e menus. Adicionalmente, o fato da API gráfica (Java 2D) estar integrada com a plataforma de desenvolvimento possibilita ao programador um melhor controle sobre a manipulação de eventos na interface com o usuário.

O software descrito neste artigo utilizou *applets* Java para embutir as simulações em páginas Web, incorporando assim a portabilidade entre as diversas plataformas computacionais que possuem suporte a Java.

4.2. Arquitetura Web

Por se tratar de uma aplicação centrada no desenvolvimento da *applet* Java não há a necessidade de gerar o código fonte em HTML de modo dinâmico. Optou-se então por não usar um servidor web. As páginas foram produzidas em conformidade com o padrão XHTML, utilizando páginas de estilo em cascata (CSS) e a linguagem de script Javascript para dar dinamismo à navegação da página e renderizar o menu similar aos encontrado em ambientes desktops, como mostrado na Figura 3.



Figura 3. Página inicial do aplicativo web.

4.3. Parâmetros do Sinal da Simulação

As simulações são feitas usando o método 2D-FDTD baseado na formulação de Yee. A discretização espacial foi feita com células quadradas de lado igual a 1,5 cm. Este valor corresponde a um décimo do comprimento de onda em 2 GHz. Para assegurar estabilidade numérica, adotamos 70% do limite de *Courant* para o incremento temporal. Isto leva ao seguinte valor para Δ_t :

$$\Delta_t = 0,7 \Delta_s / c \sqrt{2}$$

[Eq. 01]

Onde c é a velocidade da luz no espaço livre. Os limites do domínio computacional devem apresentar reflexões insignificantes. Desta forma, esses contornos não influenciam o comportamento eletromagnético do ambiente em estudo. A forma de onda utilizada para transmissão é o monociclo gaussiano dado pela função

$$p(t) = -A_p \sqrt{\frac{2e}{\tau^2}} (t - t_o) \exp \left[-\frac{(t - t_o)^2}{\tau^2} \right]$$

[Eq. 02]

onde A_p é o valor de pico do pulso, e é a base do logaritmo Neperiano, t estabelece a duração do pulso e depende da frequência de pico do espectro, f_o , dado por

$$f_o = \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \frac{1}{\tau}.$$

[Eq. 03]

O espectro do pulso é obtido pela transformada de Fourier, resultando em

$$P(f) = A_p \tau^2 \sqrt{\frac{\pi e}{2}} \exp\left[1 - (2\pi f)^2\right] \exp(-j2\pi t_o f)$$

[Eq. 04]

O pulso e o espectro do monociclo são mostrados na figura 4 para $f_o = 1$ GHz. Observe que o espectro do pulso se estende para além de 2 GHz.

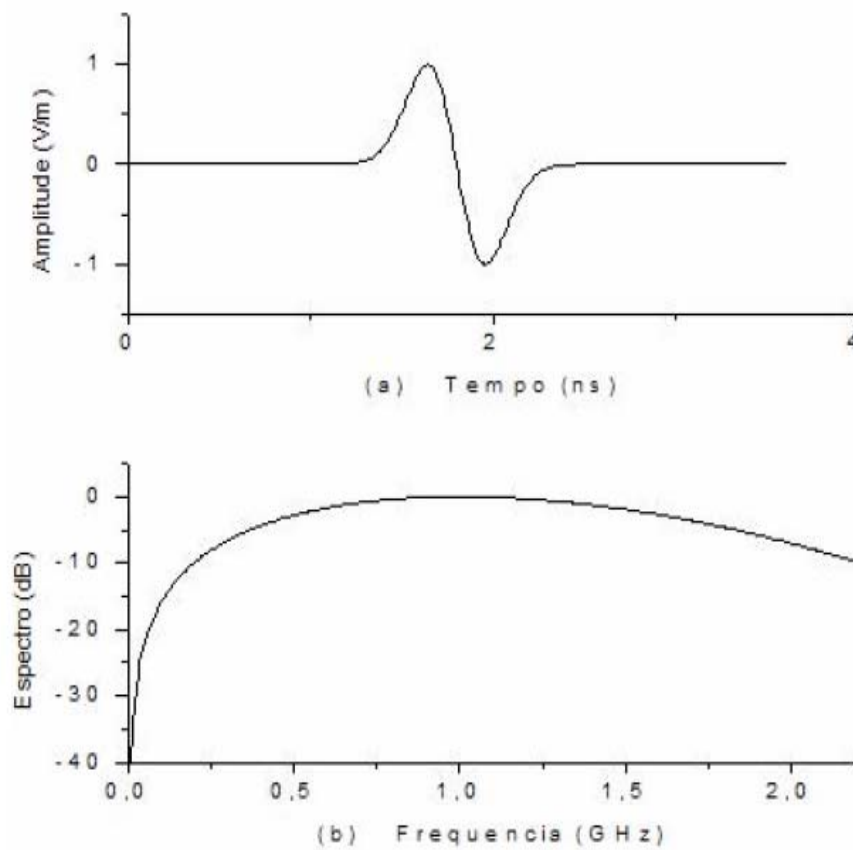


Figura 4. (a) Pulso monociclo (b) Espectro

4.4. Simulação em 1D

Na *applet* do método FDTD em 1D (1ª dimensão), simulou-se a incidência de ondas planas uniformes. É o caso mais simples onde é possível verificar a concordância do método numérico FDTD com a teoria das ondas planas. É gerado um pulso monociclo gaussiano (fig. 04) que começa a se propagar a partir do centro da *applet*. Os campos E_x e H_y têm seus valores calculados em diferentes *loops* o que configura uma fonte de excitação “hard”. (Milagre, 2007). O usuário interage com a *applet* através dos botões iniciar/parar. Também é possível visualizar o código-fonte em uma nova página.

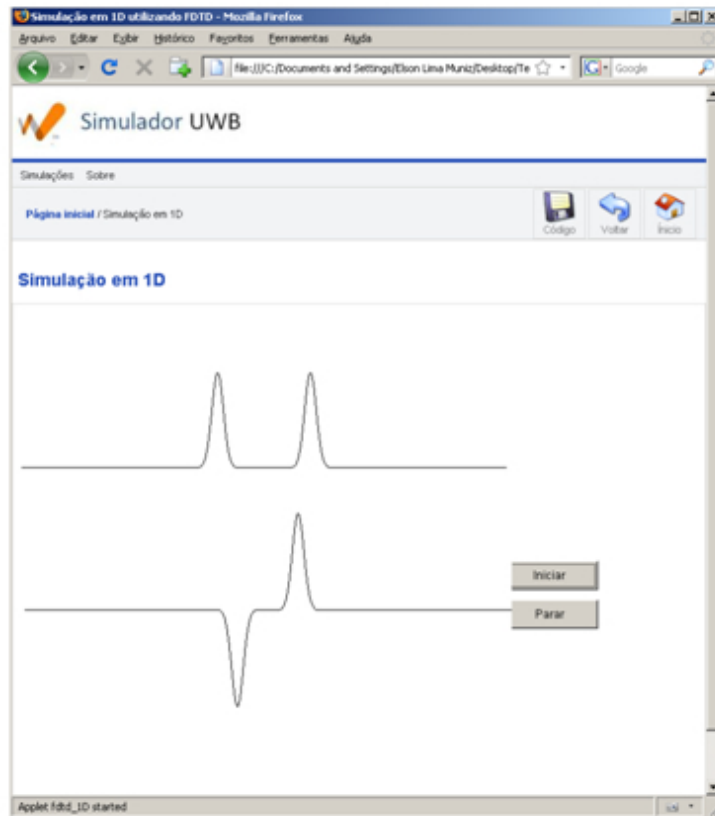


Figura 5. Simulação em 1D.

4.5. Simulação em 2D

Na figura 6 é visualizado a *applet* desenvolvida a partir do método bidimensional 2D-FDTD para a simulação de uma onda plana interagindo com diversos tipos de materiais com diferentes índices de permissividade e condutividade. A malha FDTD foi definida com dimensões de 1200x1200 células. Na figura 7 são apresentados os resultados da simulação após 670 iterações. A perspectiva é da visão superior da propagação do monociclo gaussiano. Nota-se as difrações sofridas pela onda ao entrar em contato com materiais de diferentes permissividades como dielétricos. Na interface da *applet*, o usuário pode aumentar a amplitude da onda ou acompanhar passo a passo a execução do algoritmo.

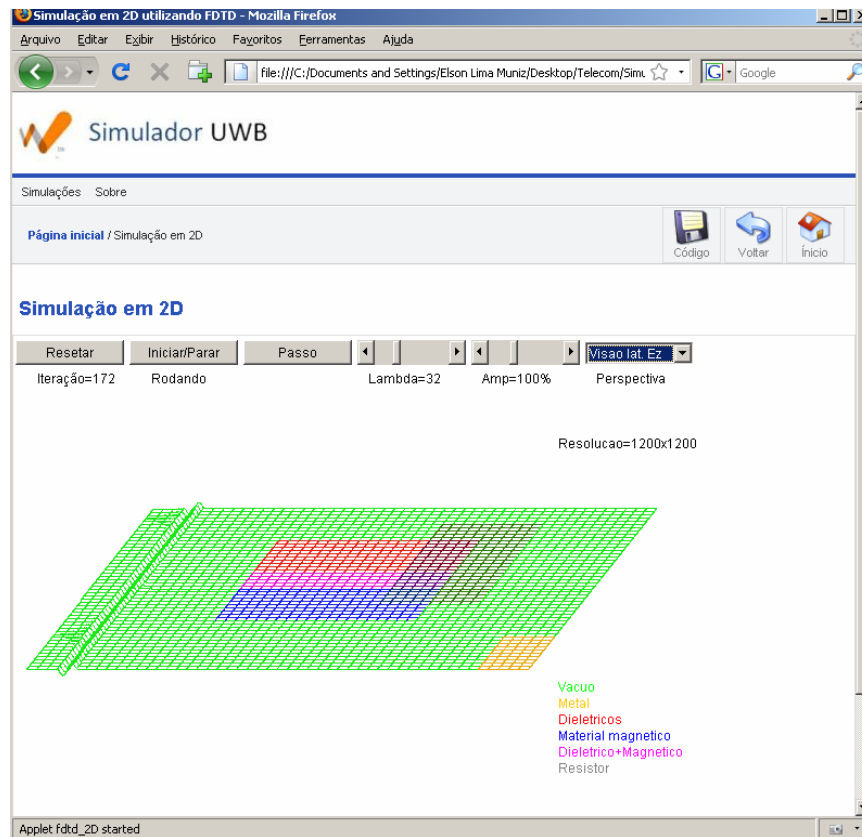


Figura 6. Simulação em 2D. Visão lateral.

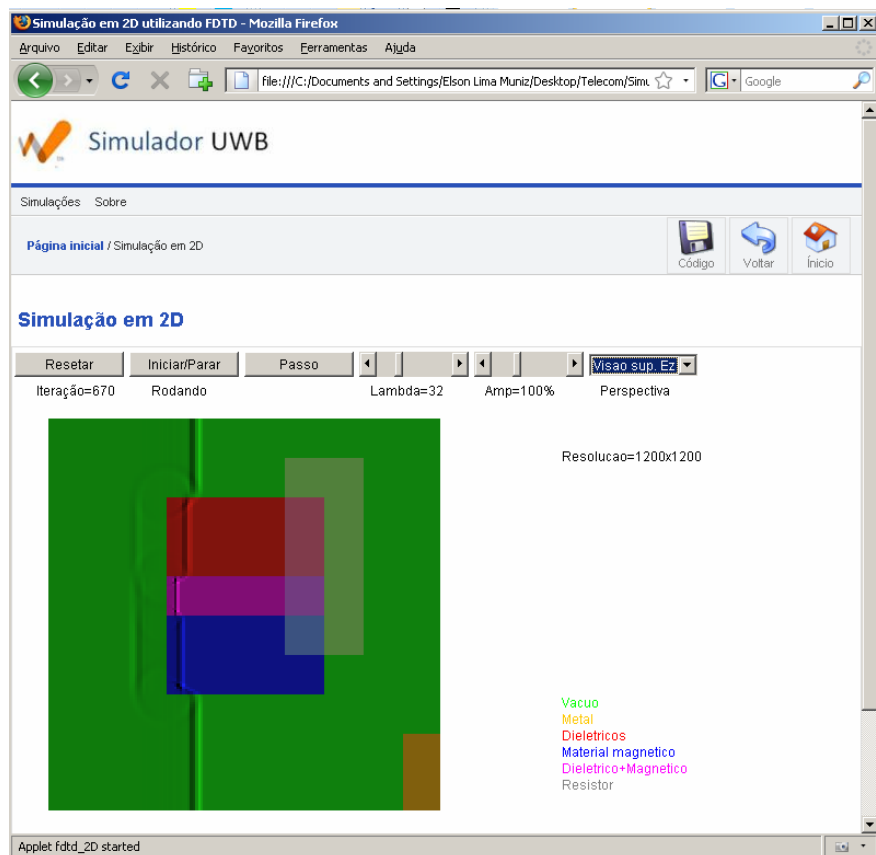


Figura 7. Visão superior da propagação em 2D.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, utilizou-se a implementação de um aplicativo *web* no método FDTD em 1D e 2D (1ª e 2ª dimensões) para simular um ambiente operando com pulsos UWB. O método se mostrou muito útil, pois trata sinais impulsivos naturalmente. Sendo uma técnica no domínio do tempo, calcula diretamente a resposta impulsiva de um sistema eletromagnético.

O algoritmo mostrou-se eficiente mesmo sendo em ambiente *web*, o que demonstra a evolução dos métodos numéricos para simulação de ambientes eletromagnéticos e a viabilidade da publicação da *applet* via *web*. Devido generalidade do método FDTD, problemas como compatibilidade eletromagnética, aterramento elétrico, antenas dentre outros poderão ser analisados com pequenas modificações no código.

Apesar de ter sido desenvolvido na plataforma Windows, o fato de ser desenvolvido em ambiente *web* faz com que o aplicativo possa ser visualizado em qualquer plataforma que possua suporte a Java, como sistemas baseados em Unix.

REFERÊNCIAS

SULLIVAN, Dennis M. **Electromagnetic Simulation Using FDTD Method**, IEEE Press Series on RF and Microwave Technology, 2006.

GHAVAMI, M., MICHAEL, L. B., KOHNO, R. **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.

TAFLOVE, A., **Computation Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method**. Artech House, Boston, 1995.

SADIKU, M. N. O., **Numerical Techniques in Electromagnetics – 2nd ed.** Boca Raton.

YEE, K. S., **Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media**. IEEE Trans. Antennas Propagate, v. 14, p. 302-307, May. 1966.

MILAGRE, A. M., **Condições de Fronteiras de Absorção no Método FDTD**, Master's thesis, Universidade de São Paulo, 2007.