

Simulação da Atenuação de uma OEM Plana Verticalmente Polarizada ao Atravessar um *Radome* Utilizando a Técnica FDTD

Ronald F. Stahlke, *Membro, IEEE*

Sumário— O método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) é considerado uma ferramenta versátil e eficiente para a solução das equações de Maxwell em estruturas complexas para qualquer dependência temporal. Neste artigo, mostra-se os resultados obtidos por simulações, utilizando o método da FDTD, de atenuações que uma onda eletromagnética plana (OEM), com frequência central de 2.8GHz, sofre ao atravessar a região plana, sem bordas, de uma placa de *radome* composta de Goretex®, e outra composta de Nylon 6/6 com 10% de fibra de vidro, comparando os resultados obtidos para cada uma destas placas com a situação na qual o *radome* não está presente.

Termos para Indexação— Atenuação, radar, *radome*, técnica FDTD.

I. INTRODUÇÃO

NA maioria dos sistemas de radar meteorológico, a fim de proteger a antena de intempéries, faz-se o uso de um domo de proteção, mais conhecido como *radome*. No caso particular do sistema de radar operado pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), instalado em 1997 e que encontra-se no município de Teixeira Soares, Paraná, o domo é composto de placas triangulares de Goretex® [7], cujo formato é ilustrado na figura 1. Entretanto até o presente momento não havia sido feito um estudo sobre qual seria a influência deste no que se refere a possível atenuação sofrida pelas ondas eletromagnéticas, geradas pela antena, que o atravessam.

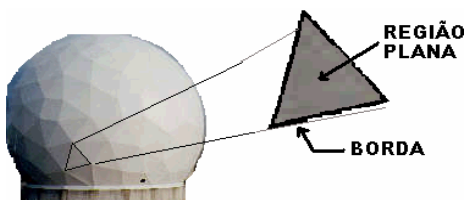


Fig. 1. *Radome* do SIMEPAR

Manuscrito recebido em 30 de junho de 2004; revisado em 28 de junho de 2004. Este trabalho teve suporte do Instituto Tecnológico SIMEPAR e da Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica.

R. F. Stahlke está no PPGE da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR 80050450 BRASIL (e-mail: stahlke@pop.com.br).

Neste artigo aplica-se a técnica da FDTD na simulação do caso real descrito acima. Primeiramente será feita uma breve descrição de como foi elaborado o modelo geométrico que representa a estrutura em questão. A seguir serão comparados três casos particulares, o primeiro quando a placa do *radome* é composta por Goretex®, o segundo quando ela é composta de Poliamida 6/6 (Nylon 6/6) com 10% de fibra de vidro, que eram utilizados nos sistemas de radar mais antigos, e o terceiro quando não há a presença do *radome* (ar). Todos os testes foram repetidos para várias inclinações das placas começando quando esta se encontra normal (90°) em relação a OEM verticalmente polarizada incidente, conforme mostra a figura 2. Esta variação angular corresponde, na prática, a variar a elevação da antena (inclinação) em relação as placas do *radome*.

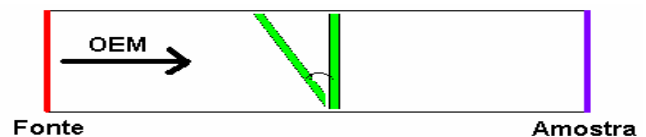


Fig. 2. Variação da inclinação da placa em relação a OEM incidente.

As características elétricas do Goretex® foram obtidas através de um relatório publicado por Koller [2] e através de um ensaio prático realizado em uma amostra do material do próprio *radome*. Já as características elétricas da Poliamida 6/6 com 10% de fibra de vidro foram obtidas de [1].

II. MODELAMENTO DO PROBLEMA

As características elétricas relevantes dos materiais utilizados encontram-se na tabela 1.

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Materiais	ϵ_r^*	μ_r^*	σ_v^* (S/m)	σ_s (S)
Ar	1.0	1.0	0.0	1/377
Goretex®	1.25	1.0	14.7e-15	417e-15
Poliamida 6/6 10% fibra de vidro	8.0	1.0	1e-16	-
PEC ¹	1.0	1.0	-	1e6
ABC ²	1.0	1.0	-	1/377

* Válidos para as direções x, y e z.

¹ Condutor Elétrico Perfeito

² Condição de Absorção

A fim de realizar a simulação foi necessário, primeiramente, modelar o problema e delimitar o espaço computacional. Após a análise, verificou-se que o problema apresenta simetria magnética e, portanto, não é necessário simular toda a estrutura, que tem mais de 12 metros de diâmetro e cuja parte plana de cada placa tem espessura de 2mm, e sim apenas um pequena parte bastando que a mesma fosse maior que o um comprimento de onda (λ) e que englobasse três volumes, ar-parte plana da placa do radome-ar. Aproveitando este ponto, a fim de simplificar a escrita do texto, a parte plana da placa de *radome*, figura 1, será referida simplesmente como placa do *radome*. Tendo isto em vista foi definido, para representar a estrutura do domo, um volume de 120mm X 30mm X 30mm. O volume que representa a placa do *radome* encontra-se no meio da estrutura e tem 2mm X 30mm X 30mm. O desenho da estrutura pode ser visto na figura 3.

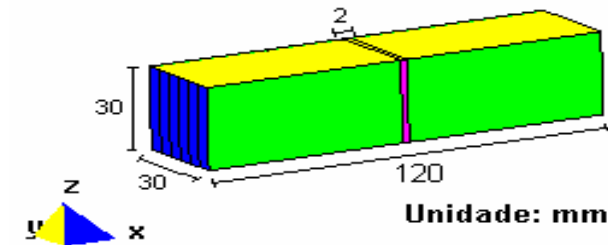


Fig. 3. Estrutura Utilizada

Uma vez definida as dimensões do objeto, utilizou-se o programa Gid 6.1.2 [4] para que fosse feita a modelagem do problema propriamente dita. A fim de casar a impedância da OEM emitida, e portanto evitar reflexões, foi definida uma condição de absorção nas superfícies contidas pelo plano yz em $x=0$ e $x=120$ (início e fim da estrutura). A fim de confinar a OEM a estrutura foi definida outra condição de contorno, desta vez com Condutor Elétrico Perfeito (PEC), nas superfícies contidas pelo plano xy em $z=0$ e $z=30$ (parte de baixo e de cima da estrutura), conforme pode ser visto na figura 4. A partir daí foram definidos os volumes, seus materiais e suas características elétricas. Foram alocadas sete fontes de corrente no início da estrutura, de (0,0,0) a (0,30,0) espaçadas de 5mm entre si, de forma a simular uma OEM plana, e foi também alocada uma amostra de tensão no final da estrutura, ponto (120,30,0), onde são feitas todas as medições. Estas estruturas estão detalhadas na figura 5.

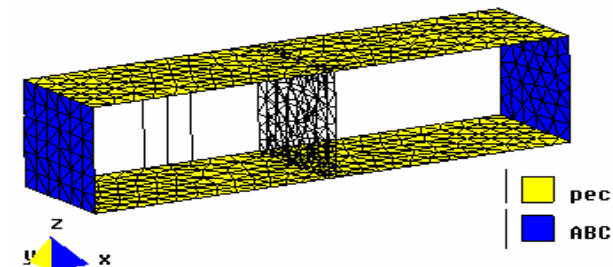


Fig. 4. Detalhes da Estrutura Utilizada

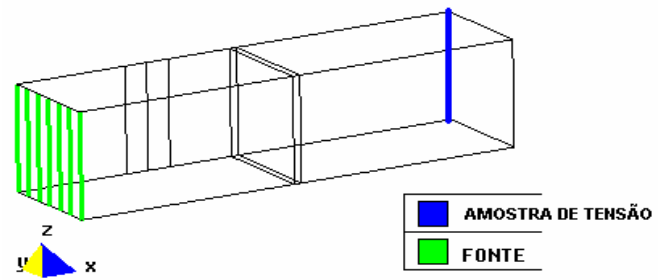


Fig. 5. Posição das Fontes e da Amostra de Tensão

As simulações foram feitas com a inclinação da placa variando de 90° a 60°, em intervalos de 10°, conforme figura 6, para a placa de Goretex® e para a de Nylon 6/6. A modelagem utilizada para se calcular a FDTD foi apresentada por Artuzi [6], com pequenas modificações recentemente introduzidas pelo próprio autor mas até o presente momento não publicadas, e utiliza elementos tetraédricos ao invés da tradicional malha hexaédrica. Este tipo de modelamento apresenta uma série de vantagens detalhadas em [6].

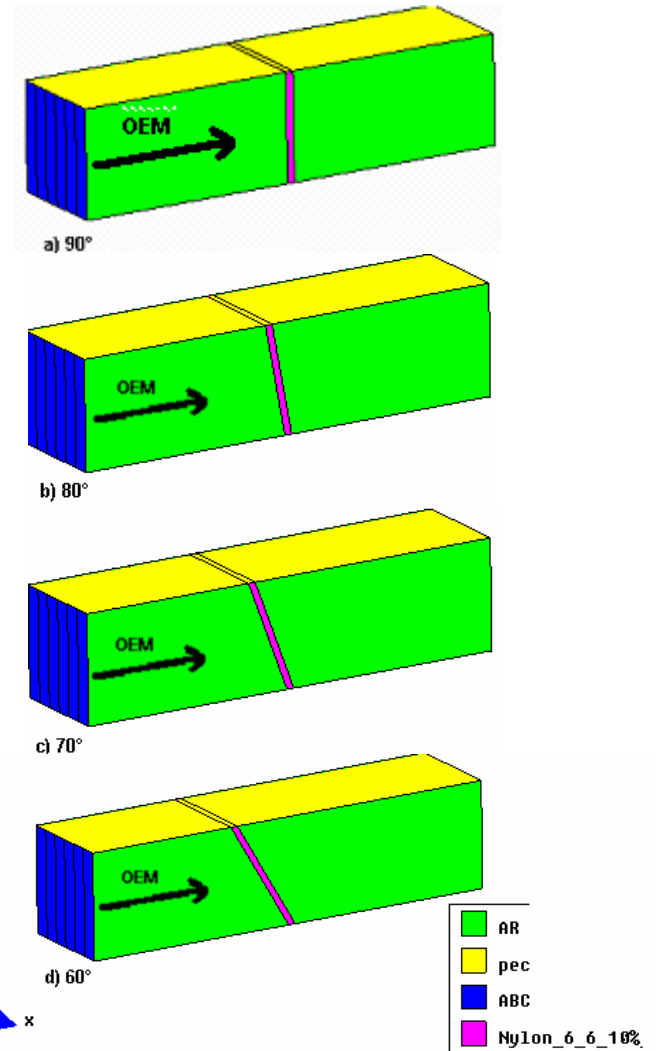


Fig. 6. Ângulos da placa em relação a OEM

Foram ajustados os seguintes parâmetros de simulação: a duração (T) do pulso de corrente, a duração da simulação e o comprimento médio ($L_{\text{méd}}$) das arestas, respeitando os critérios de estabilidade numérica do método FDTD e para este caso em particular garantindo uma resposta confiável até a frequência de 6GHz. Os valores dos parâmetros de simulação utilizados encontram-se na tabela 2.

TABELA 2
VALORES DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Parâmetros	Valores Utilizados
Duração do Pulso (T)	0,5357ns
Duração da Simulação	3ns
$L_{\text{méd}}$	5mm
Frequência de Interesse (f)	2,8GHz

Tendo sido definido o tamanho da estrutura, os materiais utilizados, bem como suas características elétricas, os dados do problema (duração do pulso, tempo de simulação, etc.), foram gerados as malhas e os arquivos, que contêm os dados dos problemas e as matrizes geradas pelo algoritmo FDTD, correspondentes a cada uma das situações.

A partir deste ponto foi utilizado o programa Matlab 6.5 [5] para resolver as matrizes e desenhar os gráficos relevantes, a saber: Atenuação (dB) x Frequência (GHz).

III. RESULTADOS OBTIDOS

1. Ar

Primeiramente foi feita a análise da propagação sem obstáculos (ar). Então, obteve-se a FFT (transformada rápida de Fourier) das tensões amostradas, e esta foi tomada como base, referência, para que pudesse ser feita uma comparação entre os outros casos. Para tal, atribuiu-se um ganho de 0dB ao caso do ar, conforme indicado na tabela 3.

TABELA 3
VALOR OBTIDO PARA A PROPAGAÇÃO NO AR

Ângulo de Incidência	Valor de Referência (dB)
---	0

* Não se aplica o ângulo de incidência, uma vez que neste caso não há fibra.

2. Goretex®

Para a placa composta por Goretex®, foi feita a simulação para quatro ângulos de inclinação (90° a 60°).

Analisando a FFT das amostras de tensão obtidas, e tendo o ar como referência, tabela 3, obteve-se a atenuação da OEM x frequência. Limitando a busca apenas a frequência de interesse, 2,8GHz, obteve-se os valores indicados na tabela 4.

TABELA 4
VALORES OBTIDOS DO GORETEX® NA FREQUÊNCIA DE INTERESSE

Ângulo de Incidência	Atenuação com a placa de Goretex em relação ao Ar, na frequência de 2,8GHz (dB)
60°	0,02
70°	0,02
80°	0,02
90°	0,03

3. Nylon 6/6 com 10% de Fibra de Vidro

Para a placa composta por Nylon 6/6 reforçada com 10% de fibra de vidro, foi feita a simulação para os mesmos quatro ângulos (90° a 60°).

Analisando a FFT das amostras de tensão obtidas, e tendo o ar como referência, tabela 3, obteve-se a atenuação da OEM x frequência. Limitando a busca apenas a frequência de interesse, 2,8GHz, obteve-se os valores indicados na tabela 5.

TABELA 5
VALORES OBTIDOS DO NYLON 6/6 COM 10% DE FIBRA DE VIDRO NA FREQUÊNCIA DE INTERESSE

Ângulo de Incidência	Atenuação obtida com a placa de Nylon 6/6 com 10% de fibra de vidro em relação ao Ar, na frequência de 2,8GHz (dB)
60°	0,32
70°	0,52
80°	0,65
90°	0,70

IV. GRÁFICOS COMPARATIVOS

Das figuras 7, 8, 9 e 10, geradas no MatLab, tem-se a relação entre os valores obtidos para as placas de Goretex® e Nylon 6/6 em relação ao ar (dB) x Frequência (GHz). As figuras 7 e 8 mostram o caso onde a placa é composta por Nylon 6/6 com 10% de fibra de vidro, com a inclinação variando de 90° a 60° , tendo o ar como referência. As figuras 9 e 10 apresentam o mesmo caso das figuras 7 e 8, respectivamente, onde se tem apenas a mudança da composição da placa para Goretex®.

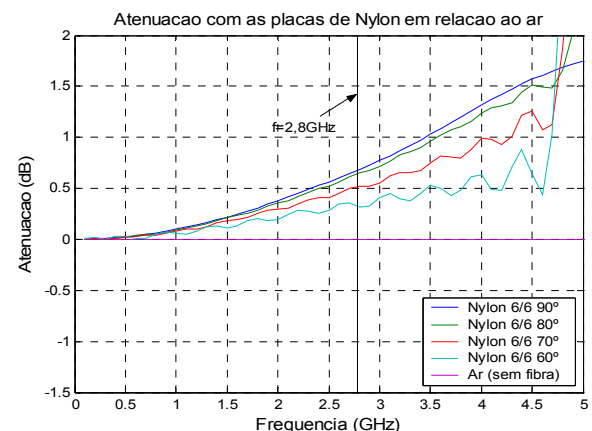


Fig. 7. Comparativo entre os gráficos obtidos para a placa de Nylon 6/6 com 10% de fibra de vidro e para o ar.

V. CONCLUSÃO

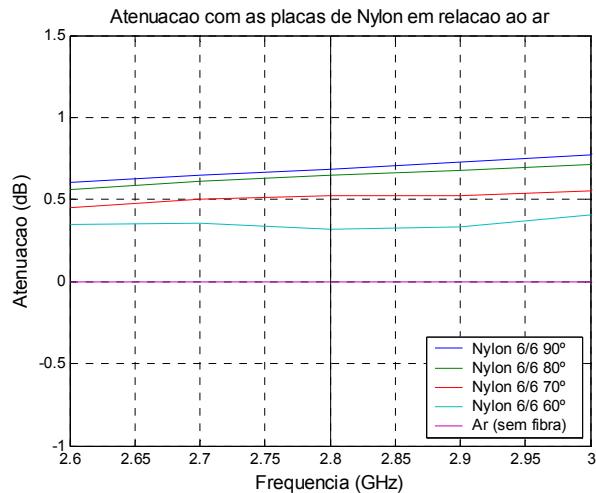


Fig. 8. Detalhe da figura 7 para a frequência de 2,8GHz.

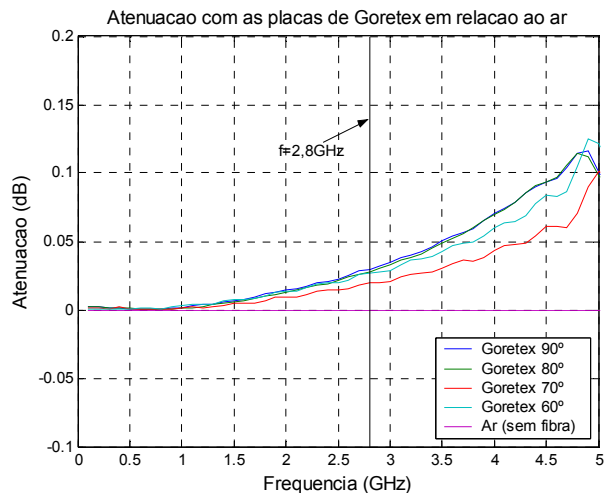


Fig. 9. Comparativo entre os gráficos obtidos para a placa de Goretex® e para o ar.

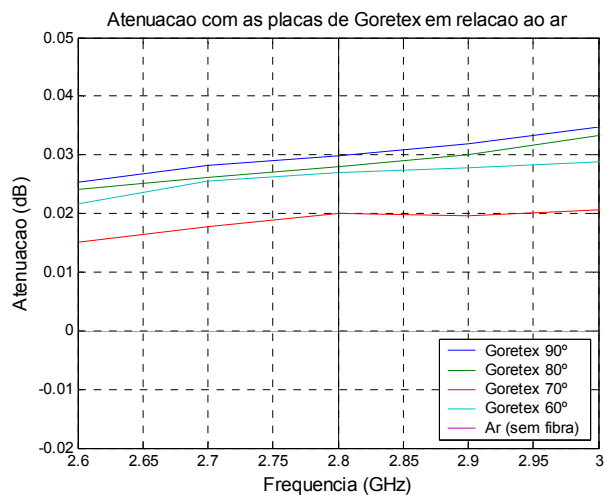


Fig. 10. Detalhe da figura 9 para a frequência de 2,8GHz.

Analisando os resultados obtidos através das simulações, verifica-se que para a placa de Goretex® a atenuação é desprezível, sendo quase constante ao longo da faixa de frequência de interesse, além de ser praticamente independente da variação do ângulo da fibra em relação a OEM incidente, visto que os gráficos e valores obtidos são muito próximos ao do ar (sem *radome*). Entretanto ao realizar-se as mesmas simulações com uma placa composta por Nylon 6/6, observa-se uma atenuação de até 0,7dB (pior caso, para $f=2,8\text{GHz}$), e nota-se que a atenuação varia, ligeiramente, com a variação do ângulo da fibra em relação a OEM, conforme pode ser visto na tabela 5 e nas figuras 7 e 8.

Por fim, tomando por base os resultados obtidos, pode-se dizer que o *radome* hoje utilizado pelo SIMEPAR causa uma atenuação mínima a OEM, e considerando-se apenas este aspecto pode-se dizer que o mesmo é transparente à faixa de operação do sistema de radar, 2,8GHz.

REFERÊNCIAS

- [1] AZoM, A to Z of Materials. (23 de junho de 2004). [Online]. Disponível em: <http://www.azom.com/details.asp?articleID=491>
- [2] D. Koller, G. A. Ediss, A. K. Kerr. (18 de maio de 2000). Dielectric Constant of Goretex RA7956/7957 Radome Material in the frequency range 1MHz-2THz [Online]. Disponível em: http://www.alma.nrao.gov/memos/html_memos/alma309/memo309.pdf
- [3] R. Shavit. (janeiro de 2004). Scattering Effect of Seams on Sandwich Radome Performance. [Online]. Disponível em: http://www.esscoradomes.com/html/scat_effect_in_sand_radomes_ver2_0104.pdf
- [4] GiD, vers.6.1.2, Centre Internacional de Mètodes Numèrics em la Enginyeria (CIMNE), Barcelona, Espanha. Disponível em: <http://gid.cimne.upc.es>.
- [5] MATLAB, versão 12. The MathWorks, Inc. Disponível em: <http://www.mathworks.com>.
- [6] W. A. Artuzi, Jr, "Finite Element Time Domain Method Using Piecewise Constant Basis Functions," *Proceedings of SBMO/IEEE MTT-S, IMOC 2003*, Foz do Iguaçu, Brasil, 2003, pp 1029-1032.
- [7] W. L. Gore & Associates.

Ronald F. Stahlke (M'03) recebeu seu diploma de Engenheiro Eletricista da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil em 2002. Ele está trabalhando para obter grau de mestre em Engenharia Elétrica, ênfase em Telecomunicações, na Universidade Federal do Paraná.

Ele é bolsista do Instituto Tecnológico SIMEPAR, Curitiba, Brasil. Atualmente, desenvolve trabalhos na área de Sistemas de Radar Meteorológico, analisando a influência dos lóbulos secundários nas medidas obtidas por um Sistema de Radar Doppler.