



Análise dos efeitos de radomes na banda X

Filipe O. Andrade¹, Canisio Barth¹, Rodolfo A. Lima¹ e Vanessa P. R. Magri²

¹Instituto de Pesquisas da Marinha – IPqM, Rio de Janeiro/RJ – Brasil e ²Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói/RJ - Brasil

Resumo — Este artigo apresenta uma análise dos efeitos de radomes na banda X, no qual o desempenho da antena corneta pode melhorar ou deteriorar sistematicamente. Os valores da perda de retorno, do ganho e da largura de feixe da antena são analisados em função dos seguintes parâmetros do radome: espessura, curvatura e constante dielétrica do material. O padrão de radiação e a perda de retorno da antena corneta são obtidos pela simulação eletromagnética, baseada no método dos elementos finitos, fornecendo informações para otimizar o desempenho das antenas na presença de radomes dielétricos. A perda de retorno da antena corneta na banda X é alterada de forma significativa em função da constante dielétrica e espessura do radome, de modo que esses parâmetros devem ser escolhidos em função da frequência de operação da antena. Os valores do ganho e da largura de feixe da antena também são alterados pela presença do radome, apresentando variações menores que 2dB e 5,3°, respectivamente.

Palavras chaves — Antena corneta; radome; perda de retorno.

I. INTRODUÇÃO

O radome é uma estrutura projetada para proteger as antenas dos efeitos adversos do ambiente. Em geral, o radome é projetado com o intuito de causar o menor impacto possível no desempenho da antena. Porém a presença de uma estrutura dielétrica ao redor de uma antena pode afetar consideravelmente seu padrão de radiação e sua perda de retorno [1]. Na literatura técnica existem diversos estudos em aplicações militares, embasados em análises práticas da influência do radome em antenas [2] [3] [4].

Em aplicações com requisitos mecânicos mais rigorosos, como é o caso em aeronaves e submarinos, devido a instalação em ambientes mais hostis, os requisitos eletromagnéticos também devem ser levados em consideração, encontrando um bom equilíbrio entre eles. Nesse contexto, torna-se primordial compreender os parâmetros de projeto do radome, para ser possível reduzir o impacto no desempenho das antenas. Neste trabalho, é realizado um estudo paramétrico do radome, que consiste em alterar individualmente cada parâmetro de projeto do radome, verificando seus efeitos no ganho, na HPBW e na perda de retorno de uma antena. Foi selecionada uma corneta, operando na banda X. Os resultados foram obtidos por simulação eletromagnética, baseada no método dos elementos finitos, *finite element method* (FEM).

O objetivo deste estudo é fornecer uma visão da influência do radome, baseada em dados simulados, a fim de encontrar tendências nas características da antena, permitindo melhorar o projeto do radome, otimizando seus parâmetros e reduzindo os impactos no desempenho final.

II. MÉTODO DE ANÁLISE

Antenas cornetas piramidais são alimentadas por um guia de ondas retangular e têm a abertura expandida em ambos os planos. A antena corneta utilizada neste trabalho foi dimensionada a partir do modelo comercial SAS-585-20, do fabricante A.H. Systems [5] e simulada usando o software Ansys® HFSS. A entrada da antena é padrão WR-90 e, para a simulação, foi acrescentado um trecho de guia de ondas de 25,4 mm de comprimento antes da porta de entrada e não foi considerado, por simplicidade, o adaptador coaxial para guia de ondas retangular. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho da antena na banda X, sendo obtido o padrão de radiação nas frequências de 8, 10 e 12 GHz. A Fig. 1 apresenta os valores das dimensões da antena corneta utilizada na simulação.

A Fig. 2 apresenta os parâmetros de projeto do radome. Eles podem ser classificados em parâmetros de material: constante dielétrica relativa (ϵ_r) e tangente de perdas ($tg\delta$); e parâmetros dimensionais: espessura (t), distância radome-antena (d), comprimento de borda (e) e raio de curvatura (r).

Neste trabalho são analisados individualmente os parâmetros ϵ_r , t e r . Consideram-se apenas radomes constituídos com materiais dielétricos, portanto a permeabilidade complexa do material é igual a 1. Nas simulações dos parâmetros t e r , utiliza-se um modelo aproximado de material dielétrico homogêneo e uniforme, baseado em um composto laminado nobre e específico para utilização em radome, cujo modelo é o TC250 (7781 Fg), fabricado pela Toray Advanced Composites [6]. Esse material é reforçado com fibra de vidro especial (E-glass) pré impregnado com uma resina epóxi, cujas características na banda X são $\epsilon_r = 4,73$ e $tg\delta = 0,026$.

Além do radome plano, foi analisado o desempenho da antena dentro de um radome cilíndrico. Esse seria o caso, por exemplo, de uma antena DF rotacional dentro de um radome, de um sistema de antenas dentro do mesmo radome, ou alguma situação em que o formato do radome faça parte de alguma estrutura externa, como uma fuselagem. Para avaliação da influência do raio de curvatura r do radome cilíndrico no desempenho do sistema antena-radome, foram escolhidos 5 valores arbitrários para r entre $0,25L_2$ e $1,3L_2$, conforme apresentado na Fig. 3. A posição do centro de curvatura p varia em função dos valores de L_2 , d e r .

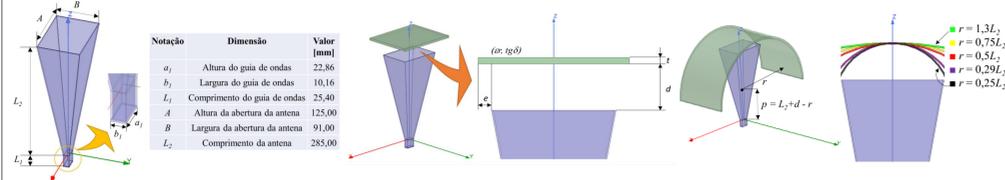


Fig. 1. Dimensões da antena.

Fig. 2. Parâmetros de projeto do radome.

Fig. 3. Variações dos radomes cilíndricos.

O sistema antena-radome foi simulado no Ansys® HFSS e os valores da perda de retorno, do ganho e da HPBW da antena corneta são obtidos pelo resultado dessa simulação, utilizando o FEM para solucionar o campo eletromagnético. O método divide automaticamente o espaço geométrico do sistema em milhares de regiões pequenas (tetraedros). Essa coleção de tetraedros é conhecida como malha de elementos finitos. As equações de Maxwell que governam o comportamento dos campos eletromagnéticos formam um modelo matemático preciso que representa o espaço geométrico do sistema [7]. Com o objetivo de não sobrecarregar a memória e o poder de processamento do computador, aproveitou-se da simetria do espaço geométrico, dividindo-o no plano E e H. Assim, após todas as simulações realizadas, observou-se a convergência das malhas com um valor médio de 21800 elementos gerados.

II. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 4 e a Tabela I apresentam os efeitos da variação da constante dielétrica relativa ($\epsilon_r = 1$ (sem radome); 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 2,2; 3,4; 4,73 e 5,5) do radome, com os seguintes parâmetros fixos: $t = 1$ mm, $d = 0$ mm, $e = 15$ mm e $tg\delta = 0$.

Os efeitos da variação da espessura do radome ($t = 0,05$; 0,1; 1; 6,3; 6,9; 7,5 e 8,3 mm) são apresentados na Fig. 5 e na Tabela II, com os seguintes parâmetros fixos: $d = 0$ mm, $e = 15$ mm, $\epsilon_r = 4,73$ e $tg\delta = 0,026$; correspondendo ao material TC250 conforme comentado anteriormente.

A Fig. 6 e a Tabela III apresentam os efeitos da curvatura do radome ($r = 1,3L_2$; $0,75L_2$; $0,5L_2$; $0,29L_2$ e $0,25L_2$), com os seguintes parâmetros fixos: $d = 45$ mm, $t = 6,9$ mm, $\epsilon_r = 4,73$ e $tg\delta = 0,026$.

O aumento da constante dielétrica do radome diminuiu a perda de retorno da antena, ou seja, radomes com materiais dielétricos de alta permissividade podem aumentar significativamente a taxa de onda estacionária da antena transmissora, tornando o sistema ineficiente. A presença do radome alterou o ganho e a HPBW da antena, de modo que o maior valor de ϵ_r provocou o maior impacto na antena.

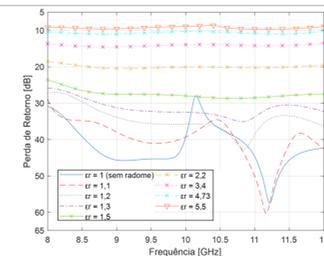


Fig. 4. Efeitos da permissividade do radome plano na perda de retorno da antena.

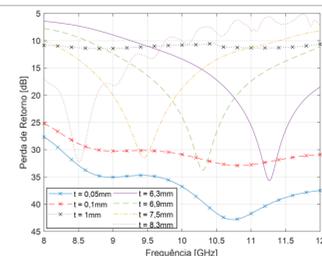


Fig. 5. Efeitos da espessura do radome plano na perda de retorno da antena.

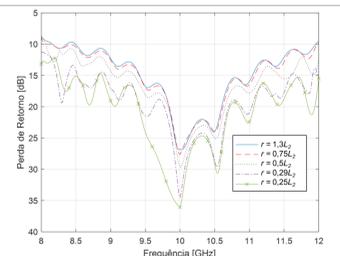


Fig. 6. Efeitos da curvatura do radome na perda de retorno da antena.

TABELA I
Efeitos da constante dielétrica relativa do radome plano no ganho e HPBW da antena.

Variável	ϵ_r	Frequência		
		8 GHz	10 GHz	12 GHz
Ganho (dB)	1 (sem radome)	19,06	20,82	22,19
	1,1	19,06	20,83	22,15
	1,2	19,06	20,84	22,12
	1,3	19,06	20,86	22,10
	1,5	19,07	20,90	22,08
	2,2	19,09	21,01	21,94
	3,4	19,12	21,13	21,66
	4,73	19,17	21,24	21,38
	5,5	19,21	21,34	21,40
	HPBW (deg)	1 (sem radome)	H 20,48	16,63
E 20,91		16,77	13,85	
1,1		H 20,48	16,59	14,21
E 20,89		16,75	13,83	
1,2		H 20,52	16,55	14,26
E 20,92		16,91	13,79	
1,3		H 20,54	16,51	14,30
E 20,84		16,70	13,78	
1,5		H 20,56	16,41	14,37
E 20,77		16,63	13,84	
2,2	H 20,64	16,12	14,77	
E 20,58	16,47	13,70		
3,4	H 20,71	15,78	15,53	
E 20,32	16,91	13,19		
4,73	H 20,68	15,42	16,15	
E 20,03	16,12	12,87		
5,5	H 20,72	15,25	15,99	
E 19,84	16,00	12,64		

TABELA II
Efeitos da espessura do radome plano no ganho e HPBW da antena.

Variável	t	Frequência		
		8 GHz	10 GHz	12 GHz
Ganho (dB)	0,05	19,06	20,84	22,07
	0,1	19,06	20,87	22,02
	1	19,10	21,16	21,39
	6,3	18,35	19,80	21,52
	6,9	18,57	20,20	21,16
	7,5	18,72	20,35	20,65
	8,3	18,64	20,60	20,31
	0,05	H 20,63	16,55	14,32
	E 20,80	16,71	13,86	
	0,1	H 20,64	16,48	14,43
E 20,75	16,71	13,85		
HPBW (deg)	1	H 20,62	15,40	15,89
	E 20,33	16,11	12,92	
	6,3	H 19,61	19,01	14,82
	E 21,20	16,93	13,35	
	6,9	H 19,36	16,92	15,64
	E 21,43	16,79	12,83	
	7,5	H 19,32	16,12	15,76
	E 21,23	16,58	12,78	
	8,3	H 19,74	15,13	15,01
	E 20,95	16,07	12,81	

TABELA III
Efeitos da curvatura do radome no ganho e HPBW da antena.

Variável	r	Frequência			
		8 GHz	10 GHz	12 GHz	
Ganho (dB)	1,3L ₂	18,59	20,63	21,95	
	0,75L ₂	18,40	20,59	21,72	
	0,5L ₂	18,11	20,52	21,22	
	0,29L ₂	17,36	20,48	21,18	
	0,25L ₂	17,10	20,47	21,29	
	HPBW (deg)	1,3L ₂	H 23,37	16,74	14,21
		E 21,33	15,74	12,96	
		0,75L ₂	H 21,49	16,69	13,97
		E 21,59	15,79	13,54	
		0,5L ₂	H 22,34	16,74	14,21
E 21,59		15,83	13,08		
0,29L ₂		H 25,29	16,67	13,94	
E 20,96		16,08	13,71		
0,25L ₂		H 26,18	16,62	12,72	
E 20,81		16,30	14,34		

O aumento da espessura do radome diminuiu a perda de retorno da antena, porém, é possível observar vales nas curvas da Fig. 5 que remetem a efeitos de interferometria. O campo eletromagnético é parcialmente refletido nas duas paredes do radome, provocando múltiplas reflexões do campo elétrico no interior do dielétrico, de acordo com uma taxa de onda estacionária, *Standing Wave Ratio* (SWR) [8], [9].

É possível observar que se a espessura é muito baixa ou está próxima da metade do comprimento de onda de propagação no dielétrico (λ_d), a perda de retorno da antena é maior, situação em que os valores de SWR são mínimos ($t = n\lambda_d/2$, para n inteiro) [1], em contrapartida, os valores máximos de SWR ocorrem em radomes com $t = n\lambda_d/4$, para n ímpar. A presença do radome dielétrico também altera o ganho e a HPBW da antena, de modo que o menor impacto é encontrado quando a espessura é muito baixa ou está próxima de $0,5\lambda_d$.

A diminuição do raio de curvatura do radome aumentou a perda de retorno e diminuiu o ganho da antena. A HPBW também foi alterada pela curvatura do radome e, de modo geral, no plano-E, aumentou com a diminuição do raio de curvatura, enquanto no plano-H, a HPBW aumentou em 8 GHz e 10 GHz e diminuiu em 12 GHz. O maior impacto na antena foi observado no menor raio de curvatura do radome, pois em 8 GHz, o ganho foi 1,96dB menor e a HPBW, no plano-H, foi 5,28° maior que sem radome.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um estudo paramétrico das seguintes dimensões e propriedades elétricas do radome: espessura, curvatura e constante dielétrica. Foi analisado o impacto do radome no padrão de radiação e na perda de retorno de uma antena corneta operando na banda X. Os valores de perda de retorno, ganho e HPBW da antena foram obtidos em função dos parâmetros de projeto do radome utilizando o software Ansys® HFSS. Os resultados obtidos mostraram que a presença do radome pode impactar significativamente na perda de retorno, no ganho e na HPBW da antena. Analisando os resultados das Fig. 4-6 e das tabelas I-III, observa-se que a perda de retorno pode ser impactada significativamente pela constante dielétrica e espessura do radome. Além disso, variando a curvatura do radome, o ganho máximo da antena pode diminuir 1,96dB e a HPBW pode aumentar 5,28°. Conclui-se que o projeto da antena e do radome devem ser considerados em conjunto.

REFERÊNCIAS

- R. Shavit, *Radome Electromagnetic Theory and Design*, 1st ed. EBook: Wiley - IEEE Press, 2018, vol. 1.
- A. Lakshmaiah, K. P. Ray e N. Prasad, "Analysis of Nosecone Radome Effects of Active Electronically Scanned Array (AESA) Radar Performance of Fighter Aircrafts," in *2019 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP)*, pp. 1-3.
- S. Miwa, "Radome effect on the miss distance of a radar homing missile," *Electronics and Communications in Japan (Part I)*, vol. 81, no. 7, pp. 14-22, 1988.
- M. A. Al-Tarifi e D. S. Filipovic, "Impact of flat radomes on amplitude-only direction finding performance," *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, pp. 1-2, 2018.
- A. H. Systems, "Standard Gain Horn Antennas," [Online] Disponível em: <https://www.ahsystems.com/datasheets/SAS-585-20-Horn-Antenna-Datasheet.pdf>, acesso em 22/04/2022.
- Toray Advanced Composites, "TORAY TC250 product data sheet," [Online]. Disponível em: <https://www.toraytac.com/product-explorer/products/ho0/TC250>, Acesso em 23/03/2022.
- ANSYS, "HFSS Help ANSYS Electromagnetics Suite 2019R1." [Online] Disponível em: <https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/Electronic/s/v193/PDFs/HFSS.pdf>, acesso em 21/06/2022.
- C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, Wiley, 2012.
- L. Griffiths et al., "A fundamental and technical review of radomes," *Microwave Product Disgest Featured Article*, pp. 1-4, 2008.