

Antenas Helicoidais Isoladas e em Agregado

Nuno Garcia¹, Sérgio Abreu¹, Alexandre Silva¹
Henrique Silva², Carlos Correia²

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Rua Conselheiro Emídio Navarro,
1949-014, Lisboa, Portugal
Tel: +351.1.8317208; Fax: +351.1.8317114
anms@bigfoot.com

Resumo

Apresenta-se neste artigo o estudo teórico da antena helicoidal e as equações e parâmetros caracterizadores do seu funcionamento no modo axial.

Projecta-se uma antena helicoidal para funcionar a 11 GHz e comparam-se os resultados obtidos por simulação, com base em software desenvolvido para o efeito, com os resultados práticos obtidos em laboratório.

Projecta-se igualmente um agregado plano de 4 antenas helicoidais, iguais à anterior, e discutem-se as vantagens e desvantagens da nova estrutura.

I. INTRODUÇÃO

A antena helicoidal pode ser encarada como uma antena da qual a antena de quadro e a antena linear são casos particulares. Se o espaçamento entre espiras tender para zero estamos perante uma antena de quadro. Se fizermos tender para zero o diâmetro de uma hélice, de diâmetro fixo, obtemos um condutor linear. Esta analogia é importante para a análise teórica do dispositivo radiante.

Definem-se para a antena helicoidal, as seguintes grandezas e respectiva simbologia:

D_λ = diâmetro da hélice (centro a centro)	L_λ = comprimento de uma espira
C_λ = circunferência da hélice = πD	n = nº de espiras
S_λ = espaçamento entre espiras (centro a centro)	A = comprimento axial = nS
α = ângulo de passo = $\arctg(S/\pi D)$	d = diâmetro do condutor da hélice

O diâmetro D e a circunferência C referem-se ao cilindro imaginário cuja superfície passa através da linha do condutor da hélice. O índice λ significa que as dimensões da grandeza em causa são medidas em comprimentos de onda no espaço livre.

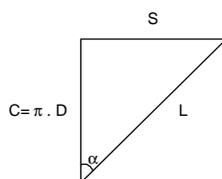


Figura 1: Definição de ângulo de passo

a) Modos de Radiação e Transmissão

O termo, “modo de radiação”, descreve a forma geral do diagrama do campo distante de uma hélice finita. Os modos de radiação possíveis são dois:

- O modo normal, para o qual o campo é máximo na direcção normal ao eixo da hélice, sendo a polarização circular para uma dada relação entre o espaçamento entre espiras e o seu diâmetro. Para o funcionamento neste modo as dimensões da hélice têm de ser pequenas relativamente ao comprimento de onda ($n \times L \ll \lambda$). A largura de banda da antena é nestes casos pequena.

- O modo axial ou de feixe, para o qual o campo é máximo na direcção do eixo da hélice, com polarização circular ou elíptica. Este modo de radiação é conseguido quando se aumenta a circunferência da hélice C_I até ser da ordem de um comprimento de onda.

b) Parâmetros da Antena no Modo Axial

A impedância da antena é bastante variável com a frequência, para valores

$$C_I < \frac{2}{3}$$

No entanto se

$$\frac{3}{4} < C_I < \frac{4}{3}$$

e a antena estiver a radiar no modo axial, a impedância é mais ou menos constante em função da frequência, tendo como condição que a e n não sejam demasiado pequenos. A relação empírica que permite determinar a impedância com uma tolerância de $\pm 20\%$ é:

$$R = 140 \times C_I [\Omega] \quad (1)$$

esta relação aplica-se para as seguintes condições

$$12^\circ < \alpha < 15^\circ \quad \text{e} \quad \frac{3}{4} < C_I < \frac{4}{3}$$

A largura de feixe, para meia potência e entre os primeiros zeros, são determinadas de forma quase empírica por:

$$\text{Largura de Feixe}_{(3dB)} = \frac{52}{C_I \sqrt{n \times S_I}} \text{ [graus]} \quad (2)$$

$$\text{Largura de Feixe}_{(\text{primeiros zeros})} = \frac{115}{C_I \sqrt{n \times S_I}} \text{ [graus]} \quad (3)$$

Estas expressões são válidas nas condições anteriores de α e C_I , e para $n > 3$.

Determina-se a directividade, D , de uma hélice no modo axial pela expressão:

$$D = 15 \times C_I^2 \times n \times S_I \quad (4)$$

O diagrama total da hélice é dado pelo produto do diagrama de uma única espira pelo factor espacial. Assim a componente ϕ total (E_ϕ) é dada por:

$$E_\phi = E_{\phi r} \times F \quad (5)$$

Do mesmo modo, a componente θ total (E_θ) é dada por:

$$E_\theta = E_{\theta r} \times F \quad (6)$$

Para obtermos o diagrama aproximado de qualquer componente do campo, no caso da direcção de radiação máxima de uma só espira, estar aproximadamente na direcção axial, e da hélice ser longa ($n \times S_I > 1$), basta calcular o factor espacial, não sendo assim necessário determinar o diagrama de uma só espira.

Se a antena for constituída por algumas espiras e se a condição de hélice longa se mantiver válida, o efeito do plano de terra nos diagramas, para o modo axial, é pequeno. A relação frente-costas é por seu lado bastante elevada.

O diagrama de radiação total normalizado pode então ser calculado por (7):

$$E = \left(\sin \frac{90^\circ}{n} \right) \times \frac{\sin \left(n \times \frac{y}{2} \right)}{\sin \left(\frac{y}{2} \right)} \times \cos(f) \quad (7)$$

onde:

$$y = 360^\circ \left[S_I \times (1 - \cos(f)) + \left(\frac{1}{2 \times n} \right) \right] \quad (8)$$

A relação axial (RA), é definida pela relação entre o semi-eixo maior e o semi-eixo menor da “elipse de polarização”. Quando a antena está a funcionar em modo axial o valor da relação axial é aproximadamente 1, isto significa que a polarização da antena é circular.

As expressões para o cálculo da relação axial são as seguintes [1]:

$$RA = \frac{2 \times n + 1}{2 \times n}, \quad (\text{Directividade aumentada}) \quad (9)$$

$$RA = \left| L_I \times \left(\sin(a) - \frac{1}{r} \right) \right|, \quad (\rho \text{ sem restrições}) \quad (10)$$

onde ρ representa a velocidade de fase relativa e ϕ o ângulo com relação ao eixo da hélice. As expressões acima referidas, foram desenvolvidas, para antenas helicoidais no modo axial, com um número de espiras, n , que continua a ser superior a 3.

II. SOFTWARE PARA ESTUDO DA ANTENA

Com base nas expressões matemáticas apresentadas no ponto anterior desenvolveu-se uma aplicação em MATLAB que permite a simulação das características da antena. Na figura 2 apresenta-se o quadro de atribuição de valores às várias variáveis. Os campos são preenchidos de

cima para baixo, e como tal, o primeiro parâmetro a ser escolhido é a frequência de trabalho da antena.

Para que esta funcione em modo axial é necessário que:

$$\frac{3 \times I}{4 \times p} < D < \frac{4 \times I}{3 \times p} \quad (11)$$

Para que permaneça o modo axial, $12^\circ < a < 15^\circ$, e como:

$$tg(a) = \frac{S}{C} \quad (12)$$

o espaçamento entre espiras deverá ser:

$$C \times tg(12^\circ) < S < C \times tg(15^\circ) \quad (13)$$

Escolhido o espaçamento entre espiras é então determinado o ângulo do passo com base na seguinte expressão:

$$a = tg^{-1} \left(\frac{S}{C} \right) \quad (14)$$

O número de espiras é, $n > 3$.

Escolhidos os valores das variáveis, o software desenvolvido permite o traçado do diagrama de radiação na forma rectangular, polar e a três dimensões. Determina-se e traça-se igualmente a largura de feixe, a directividade e a impedância da antena.

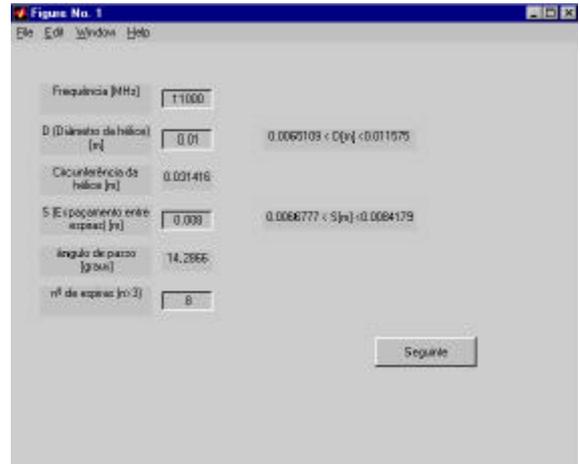


Figura 2: Definição das características do elemento

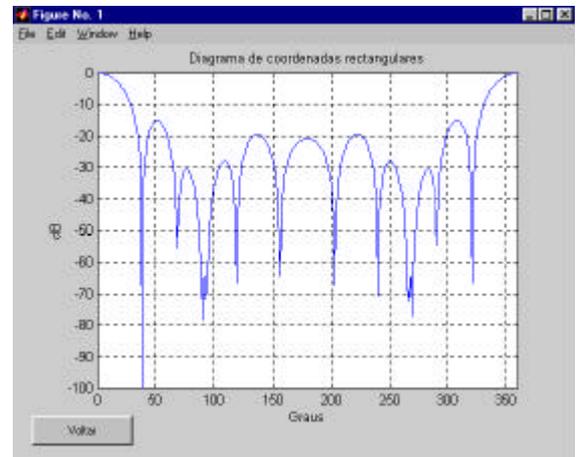


Figura 3: Diagrama de coordenadas rectangulares

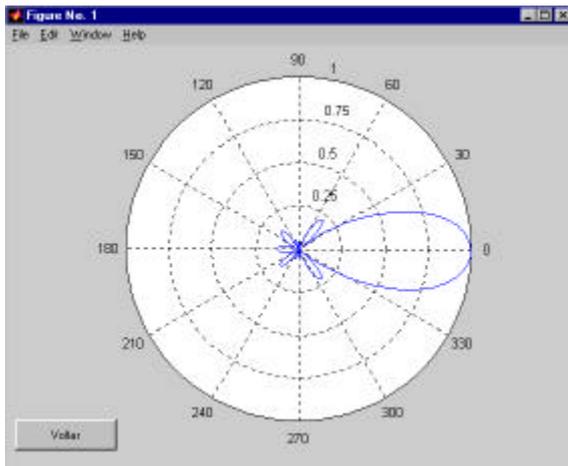


Figura 4: Diagrama em coordenadas polares

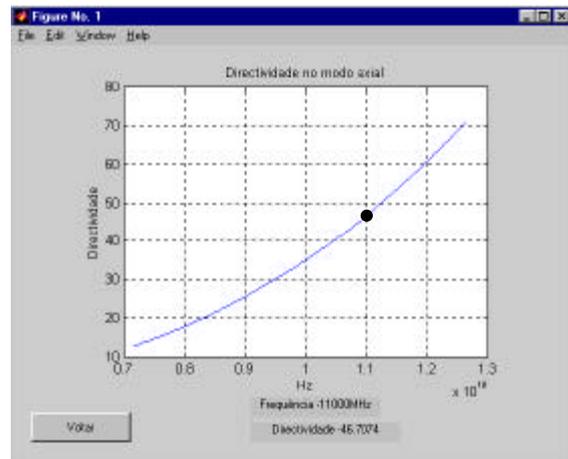


Figura 7: Directividade no modo axial

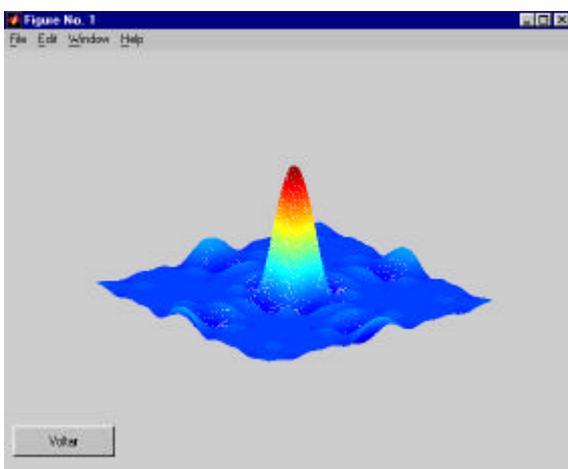


Figura 5: Diagrama a três dimensões

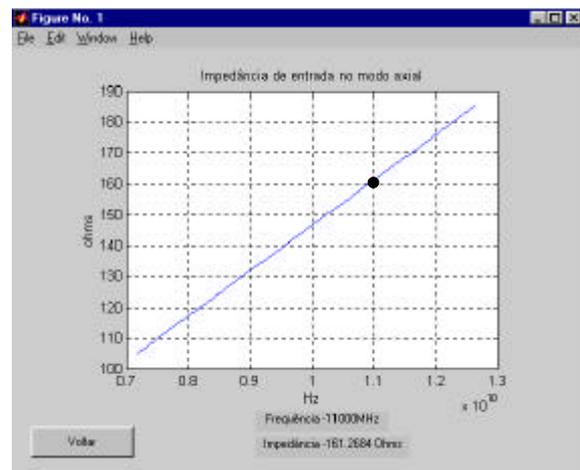


Fig 8: Impedância de entrada

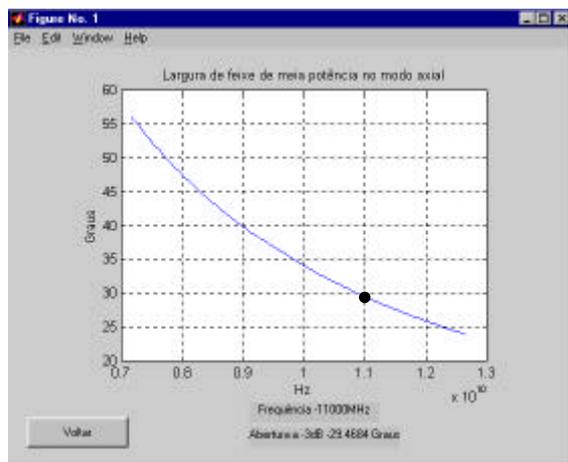


Figura 6: Largura de feixe no modo axial

A banda de frequência que aparece no eixo de abscissas dos vários gráficos, corresponde ao funcionamento da antena no modo axial, considerando as dimensões físicas especificadas no quadro de valores da figura 2.

Nos gráficos da largura de feixe (figura 6), da directividade (figura 7) e da impedância de entrada da antena (figura 8), surge um ponto no traçado correspondendo à frequência escolhida no quadro da figura 2, e a indicação do valor da grandeza em causa.

III. RESULTADOS PRÁTICOS

Utilizando-se o *software* anterior, obtiveram-se as características da antena para a frequência 11 GHz. A antena apresenta em termos de estrutura física, um diâmetro de hélice igual a 1cm, espaçamento entre espiras igual a 8 mm e comporta 9 espiras. O resultado obtido para o diagrama de radiação está representado no gráfico da figura 9.

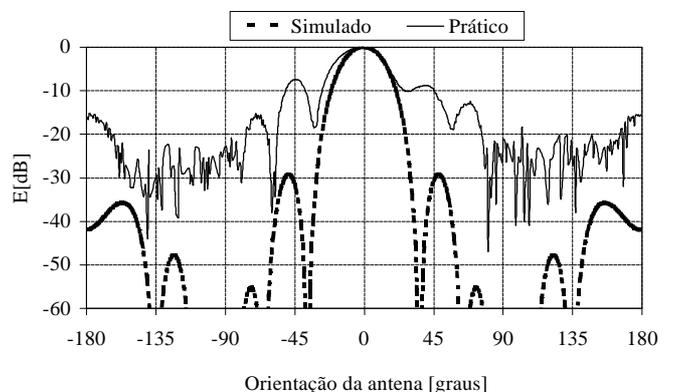


Fig 9: Comparação entre o diagrama teórico e prático

No mesmo gráfico, apresenta-se o resultado prático obtido com uma antena de referência que acompanha o equipamento de medida e que apresenta em termos de

robustez mecânica e de dimensões físicas uma construção rigorosa. Os dois diagramas, simulado e prático apresentam boa concordância do lobo principal. Relativamente ao resultado obtido por simulação, a antenna de referência apresenta, no entanto, um nível de radiação mais elevado em todas as outras direcções, com lobos secundários a 45° apenas 7 dB abaixo do lobo principal.

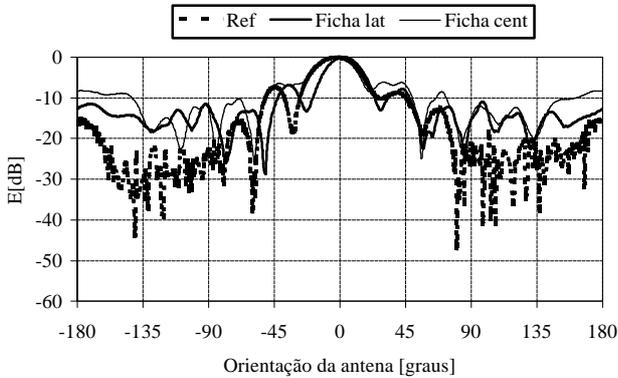


Figura 10: Comparação entre as 3 antenas

No gráfico da figura 10 comparam-se os resultados práticos obtidos com a antenna de referência anterior e com duas antenas construídas no âmbito deste trabalho.

Uma vez mais, é nas direcções mais afastadas da direcção do lóbulos principal que se verificam as maiores divergências. Nomeadamente nas direcções próximas dos 180°, as duas antenas construídas apresentam um nível de radiação crescente. Este facto está relacionado com a estrutura de alimentação. Num dos casos, referido no gráfico como 'Ficha_lat', a antenna é alimentada por uma linha de transmissão, desenhada na face oposta da placa de circuito impresso que constitui o plano de massa. Tomando em consideração que o substrato utilizado apresenta uma espessura significativa, 1.5 mm, e constante dieléctrica efectiva relativamente baixa, $\epsilon_{\text{reff}} = 3.5$, a linha de transmissão apresenta um nível de radiação relativamente elevado, comportando-se como um dipolo. Dependendo da sua posição face à polarização vertical radiada pela corneta de emissão, este nível de radiação é mais ou menos perturbador.

Sem um isolamento apropriado, a outra antenna construída e alimentada por ficha coaxial, 'Ficha_cent', não apresenta melhor relação frente-costas. Pelo contrário apresenta piores resultados logo a partir dos $\pm 135^\circ$.

IV. AGREGADO DE 4 HELICOIDAIS

Pretende-se com a construção do agregado, um aumento da directividade da antenna e a obtenção de um ganho maior. O agregado é constituído por 4 antenas helicoidais, tendo cada uma delas 10 espiras, com um ângulo de passo de 14.7°. As 4 antenas helicoidais distam entre si de 1.5λ , relação que minimiza a interferência entre cada um dos elementos do agregado [2].

Medidas da impedância de entrada (figura 11), efectuadas sobre as antenas isoladas (de referência e construída no ponto anterior), mostram a 11 GHz valores próximos dos valores esperados. No caso da antenna de referência encontramos o valor $117+j17.9 \Omega$, enquanto

que no caso da antenna construída o valor é superior, sendo igual a $180+j26 \Omega$. Irregularidades na construção da antenna e conseqüentes imperfeições na sua geometria, tomando em consideração o pequeno comprimento de onda de trabalho, justificam o valor medido.

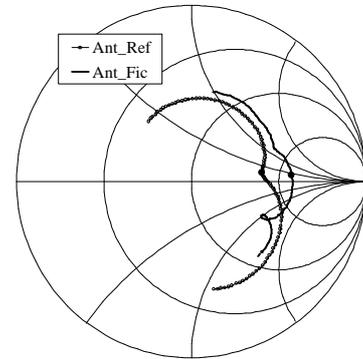


Figura 11: Impedância de entrada da antenna isolada

O plano de massa reflector tem um diâmetro igual a 12.6 cm e a forma de alimentação está esquematizada na figura 12. Utilizam-se uma vez mais linhas de transmissão impressas, desenhadas na face oposta do plano de massa reflector.

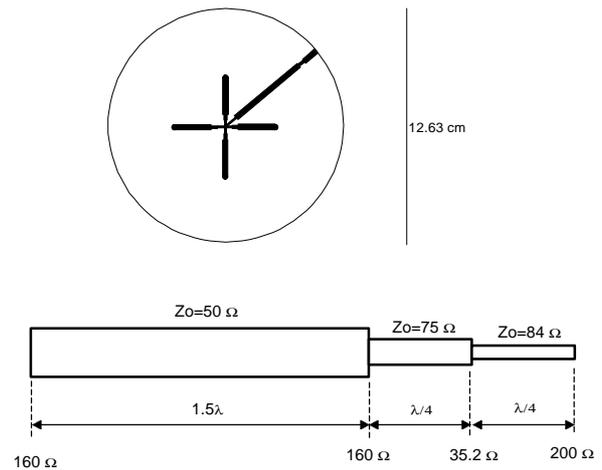


Figura 12: Estrutura de alimentação e adaptação do agregado

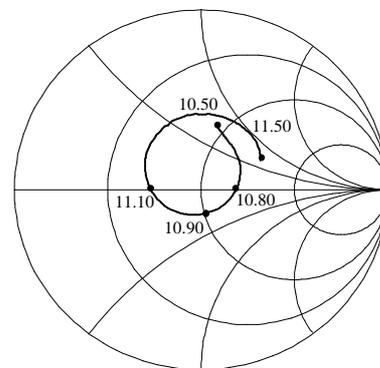


Figura 13: Impedância de entrada do agregado. Os valores de frequência indicados estão em GHz

Considerando o valor da impedância de entrada obtido por simulação e não o medido, estudou-se a forma de adaptação do agregado à carga de 50 Ω . No ponto de

união das linhas de transmissão da figura 12, a impedância de cada linha é igual a 200Ω .

Na figura 13 apresenta-se o resultado obtido para a impedância de entrada do agregado. A 10.9 GHz, a antenna apresenta uma impedância igual a $50-j10 \Omega$. A 10.8 GHz e a 11 GHz a componente imaginária anula-se mas a componente real passa a ser respectivamente 60 e 25Ω . O gráfico da figura 14, mostra o factor de reflexão medido na entrada do agregado, e na figura 15 mostra-se uma fotografia do agregado, posicionado numa pequena câmara anecóica para medida do diagrama.

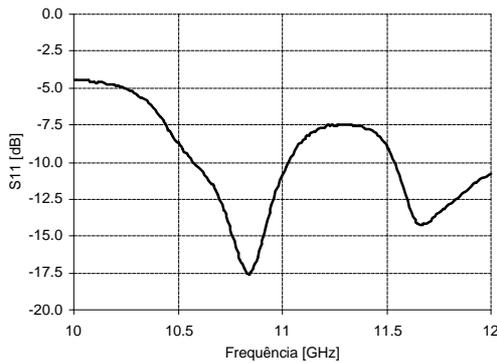


Fig 14: Factor de reflexão de entrada do agregado

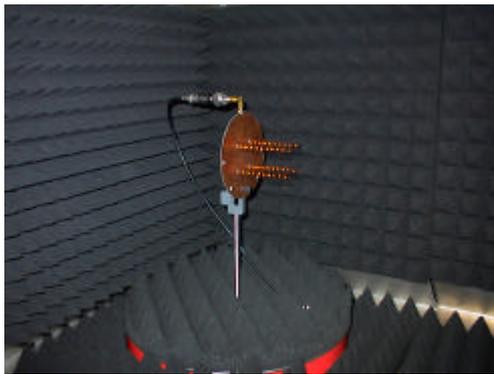


Fig 15: Fotografia do agregado posicionado para medição

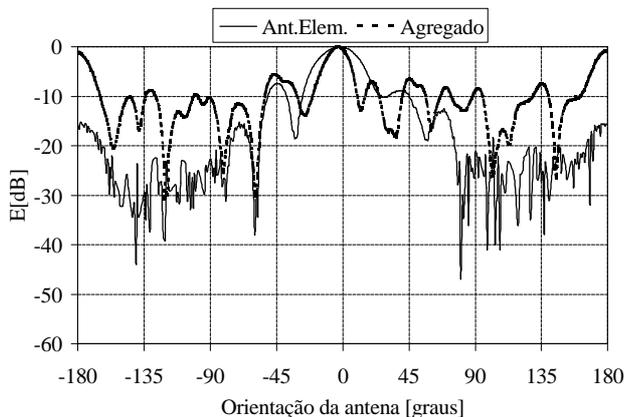


Fig 16: Comparação do diagrama de um agregado e uma antena elementar

A vantagem do agregado relativamente à antena isolada é visível pela maior directividade do lobo principal. No agregado a relação frente-costas é inicialmente baixa, devido uma vez mais à forte radiação

proveniente das linhas de alimentação. Este problema é aqui eliminado pela cobertura das linhas com um material absorvente. Na figura 17 comparam-se os diagramas de radiação obtidos por simulação "Simulado", medido sem a cobertura referida "Prático", e medido com cobertura "Agreg. Isol". É neste último caso notória a melhoria da relação frente-costas, principalmente a partir dos $\pm 90^\circ$. Observa-se igualmente uma diminuição dos lobos secundários em torno do lobo principal, encontrando-se 10 dB abaixo deste.

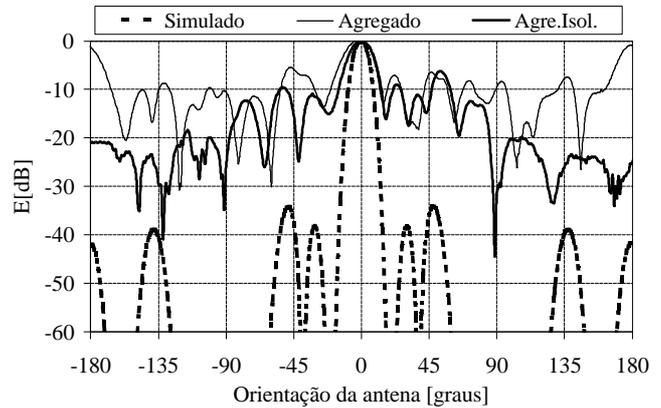


Fig 17: Comparação do diagrama do agregado, prático e simulado.

VI. CONCLUSÕES

Foram construídas, no âmbito deste trabalho, duas antenas helicoidais isoladas e um agregado de 4 antenas idênticas. Foi também desenvolvido software para o estudo deste tipo de antenas. Os diagramas de radiação, medido e simulado, obtidos para as helicoidais isoladas, apresentam boa concordância, nomeadamente a nível do lobo principal. É igualmente boa a concordância com o diagrama de uma antena de referência utilizada para o efeito e que apresenta idêntica estrutura física. Devido ao pequeno comprimento de onda, a construção das antenas apresenta aspectos críticos, sendo por isso aceitáveis alguns desvios nos valores medidos para a impedância de entrada.

Com o agregado consegue-se um nítido aumento da directividade. A má relação frente-costas resultante da forte radiação proveniente das linhas de transmissão que alimentam cada um dos elementos, é eliminada pela cobertura destas linhas com um material absorvente. Esta radiação resulta no entanto em perdas significativas, devendo neste sentido ser melhorada a forma de alimentação da antena.

REFERÊNCIAS

- [1] John D. Krauss. "Antennas", MacGraw-Hill, 2ª Edição
- [2] Constantine A. Balanis "Antena Theory Analysis and Design", John Willy & Sons Inc., 2ª Edição

Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Sistemas Radiantes.

- (1) Alunos do 4º Ano da Licenciatura de Sistemas das Telecomunicações e Electrónica.
- (2) Docentes do ISEL, respectivamente das disciplinas de Propagação I e Sistemas Radiantes