

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PLOTAGEM ON-LINE DE DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO EM ARRANJO DE ANTENAS

Edvaldo SILVA PIRES (1); Cláudio LEÃO TORRES (2)

(1) CEFET-MA, Av. Getúlio Vargas, 04- Monte Castelo, 3218-9001, e-mail: osenhor@hotmail.com

(2) CEFET-MA, Av. Getúlio Vargas, 04- Monte Castelo, 3218-9001, e-mail: cltzv@cefet-ma.br

RESUMO

As oportunidades e possibilidades decorrentes da privatização do sistema de telecomunicação no Brasil favorecem de um lado o desenvolvimento regional e, por outro, uma disputa pela posição profissional. Esta lacuna profissional de técnicos, engenheiros, gestores, etc, será preenchida ou reduzida a passos lentos, conforme o tempo de formação, pelos centros universitários. Neste trabalho apresentamos um kit didático para estudo e desenvolvimento de sistemas de irradiação com leitura automática. Este foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar, através da prática, a familiarização do uso de antenas de fio, auxiliar na área de medidas em diagramas de irradiação e a manipulação do *tilt* elétrico. Foi construído um sistema automatizado e implementada uma ferramenta capaz de fazer a leitura e plotagem de sinais eletromagnéticos irradiados no espaço livre.

Palavras-chave: Antena Helicoidal, Arranjo de Antenas, Diagrama de Irradiação, Sistema automatizado.

1 INTRODUÇÃO

Antenas são dispositivos passivos, que transmitem ou recebem radiações eletromagnéticas. Um sistema irradiante pode ser definido como uma estrutura associada com a região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre. Com esta definição vamos considerar o que se quer dizer por linha de transmissão, que é um dispositivo para transmitir ou guiar energia de rádio frequência de um ponto a outro. A linha de transmissão mais popular é a de fios condutores paralelos cobertos e separados por uma fita plástica (geralmente preta), muito usada para receptores de TV e conhecida por twin. O cabo coaxial também é um par de condutores, um reto e interno e outro trançado em volta do primeiro, ambos isolados com uma camada especial de material isolador. Por fim encontramos o guia (ou duto) de microondas, caneleira que transmite microondas. Comumente é desejável transmitir a energia com um mínimo de atenuação, sendo as perdas de calor e radiação tão pequenas quanto possíveis.

O espaço em torno de uma antena pode ser separado em duas regiões: uma próxima à antena, conhecida como “região da antena” e uma afastada conhecida como “região exterior”. O limite entre as duas regiões é uma esfera cujo centro está no meio da antena e cuja superfície passa através dos extremos da antena. Com o conhecimento dessas regiões podemos falar sobre diagrama de irradiação que nada mais é do que o mapeamento prático/teórico da distribuição de energia irradiada, levando em conta o campo tridimensional. Existem diversas maneiras de levantá-lo, algumas mais simples outras mais trabalhosas, portanto, se um ou mais sistemas de análise chegarem ao mesmo resultado, sempre valerá o mais simples, isto é, aquele menos trabalhoso. Para levantar-se o diagrama de irradiação, deve-se tomá-lo a partir de uma distância e localização onde não seja possível a interferência de elementos estranhos ao meio onde se encontram a antena de prova e a antena de teste.

2 METODOLOGIA

Idealizou-se e montou-se um circuito para fazer a recepção do sinal elétrico proveniente do arranjo das antenas. Os testes com o circuito foram feitos com o acoplamento de uma antena helicoidal (Figura 1). Os dados adquiridos pelo circuito foram amplificados, retificados e aplicados em uma das entradas do conversor analógico-digital ADC0808. Este ejeta suas saídas nas entradas de um circuito multiplexador (74LS157) que serve como proteção (evita injeção de correntes acima do especificado para a porta paralela). O tratamento da conversão no ADC0808 e habilitação das saídas do multiplexador são controladas via porta paralela pelo algoritmo desenvolvido em C++*Builder*.

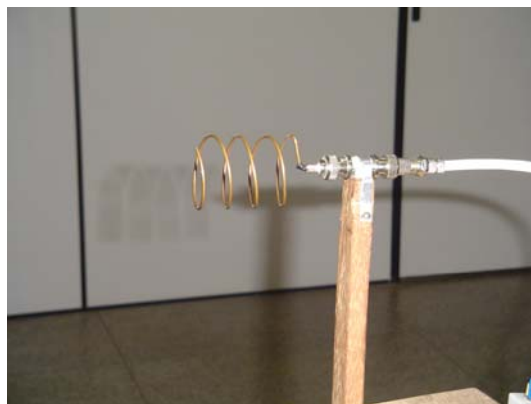


Figura 1 - Antena helicoidal.

2.1 Construção da antena

Na construção da antena foram verificados alguns critérios para funcionamento no modo axial, tais como a frequência de 2GHz. Para esta frequência temos um $\lambda(\text{comprimento de onda}) = 0,15$ metros.

As dimensões de uma hélice são convenientemente representadas por uma carta de circunferência-espaçamento. Nesta carta as dimensões de uma hélice podem ser expressas ou em coordenadas retangulares pelo espaçamento (S_λ) e circunferência (C_λ) ou em coordenadas polares pelo comprimento de uma espira (L_λ) e o ângulo de passo (α).

Para o dimensionamento da antena utilizamos coordenadas retangulares, o cálculo é feito para quatro espiras como é mostrado a seguir:

- Circunferência da hélice

$$\frac{C}{\lambda} = 0.8 \Rightarrow C = 0.12 \text{ m} \quad (2.1)$$

- Espaçamento entre as espiras centro a centro

$$\frac{S}{\lambda} = 0.1 \Rightarrow S = 0.015 \text{ m} \quad (2.2)$$

- Ângulo do passo

$$\alpha = \arctan \frac{S}{\pi D} \Rightarrow \alpha = 7,10^\circ \quad (2.3)$$

- Comprimento de uma espira (L)

$$\sin \alpha = \frac{S}{L} \Rightarrow L = 0,121 \quad (2.4)$$

- Comprimento axial

$$\begin{aligned} n &= 4 \text{ (número de voltas)} \\ A &= n \bullet S \Rightarrow A = 0.06 \text{ m} \end{aligned} \quad (2.5)$$

- Diâmetro da hélice (dentro a dentro)

$$D = \frac{C}{\pi} \Rightarrow D = 0,0382 \text{ m} \quad (2.6)$$

2.2 Cálculo da Impedância

A impedância da carga foi obtida ligando-se duas antenas em paralelo que ficaram espaçadas entre si de $1,5 \lambda$ para que a impedância final ficasse compatível com o cabo coaxial de 75 ohms , a impedância terminal de antenas helicoidais irradiando no modo axial é de aproximadamente uma resistência pura com valor entre 100 e 200 ohms .

A impedância de carga é obtida através dos valores de ρ , X_{\min} e β pela abaixo,

$$Z_c = Z_0 \frac{(1 - i\rho \tan \beta X_{\min})}{(\rho - i \tan \beta X_{\min})} \quad (2.7)$$

onde X_{\min} é a distância de um ponto de mínimo de tensão à carga e $\beta = 2\pi / \lambda$

Para calcular a impedância seguiu-se o seguinte procedimento:

- Foram conectados dois cabos coaxiais de 50 e 75 ohms, dois baluns e uma fita 300 ohms como é mostrado na Figura 2.

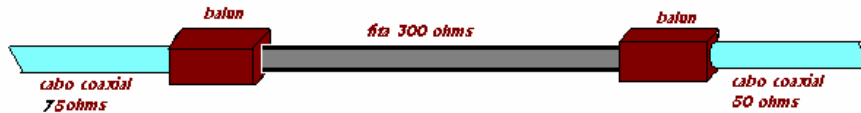


Figura 2 - Ligação para balanceamento entre as impedâncias 75, 300 e 50 ohms

Depois de ligado se pôde calcular X_{\min} (carga) (um ponto de mínimo medido ao longo da fita 300 ohms com as antenas conectadas. O X_{\min} (curto) é determinado colocando a fita 300 ohms em curto. Nos dois casos percorre-se a fita com um dipolo conectado a um voltímetro eletrônico e determina-se um ponto de mínimo em cada um dos casos. Depois mede-se a distância entre os dois mínimos que será X_{\min} (dist.).

Encontrando X_{\min} (dist.) a impedância de carga é encontrada mediante a fórmula a seguir:

$$Z_c = Z_0 \frac{(1 - i\rho \tan \beta X_{\min})}{(\rho - i \tan \beta X_{\min})} \quad (2.8)$$

Z_c = impedância de entrada

Z_0 = impedância característica

$$\rho = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \text{coeficiente de onda estacionária}$$

A impedância das duas antenas ficou com aproximadamente:

$$z_c = (76,88 - i2,3)\Omega$$

Calculando o valor da impedância através da *Carta de Smith* foi obtido o seguinte resultado;

$$z_c = (76,92 - i2,3)\Omega$$

Sendo o valor da impedância de cada antena igual a 156 ohms, por estarem ligadas em paralelo.

2.3 Construção do plano refletor

Depois de comprovarmos o funcionamento das antenas partimos para a construção do plano de terra (painel refletor). O plano de terra foi planejado para fixar quatro antenas que ficaram alinhadas duas a duas e cruzadas como um xis, como mostra a Fig. 3. As dimensões foram calculadas em comprimento de onda.

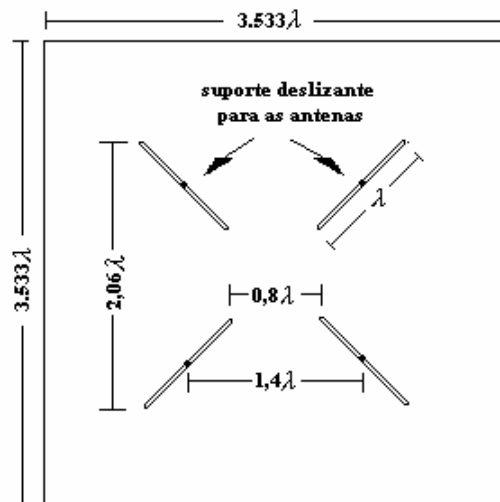


Figura 3 - Plano de terra, medidas em comprimento de onda

A parte frontal do refletor foi feita de chapa de alumínio. Os suportes das antenas são adaptações feitas com *plug* e *jack* para BNC, *jack* para painel onde as antenas foram conectadas através do BNC macho para cabo RG 59 – *climpar*.

Na Figura 4 é apresentada a aparência do plano de terra construído, com quatro helicoidais, com comprimento de onda relativo à frequência 2GHz. Como projetado anteriormente cada helicoidal tem quatro voltas, com $\alpha = 7,10^\circ$, sendo as hélices enroladas na mesma direção, produzindo segundo o eixo principal, polarização circular.

Entre a alimentação da antena e o ponto comum de alimentação do conjunto existe um divisor de sinal (Fig. 5) colocando as quatro antenas em paralelo fornecendo uma impedância final de 39 *ohms*, que é próxima impedância do cabo de alimentação que é de 50 *ohms*.

Fazendo os cálculos temos que o Γ (*coeficiente de reflexão*) = $\frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{39 - 50}{39 + 50} = -0,12$.

Que nos dá um $\rho = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + |-0,12|}{1 - |-0,12|} = 1,27$.

O coeficiente de onda estacionária inferior a 1,5 é aceitável, uma vez que a potência transferida é superior a 95% da disponível.



Figura 4 - Plano refletor para 04 antenas



Figura 5 - Divisor de sinal ligando as 04 antenas

O plano de terra foi acoplado a uma haste que por sua vez foi acoplada a uma base onde está localizado o motor de passo responsável por dar o movimento rotatório.

2.4 Receptor do sinal

É responsável pela captação e amplificação do sinal elétrico para faixa de operação da entrada do ADC0808 (0 V[volts] a 5 V). É composto por uma antena que tem sua saída amplificada e retificada. A Figura 6 representa o circuito do receptor.

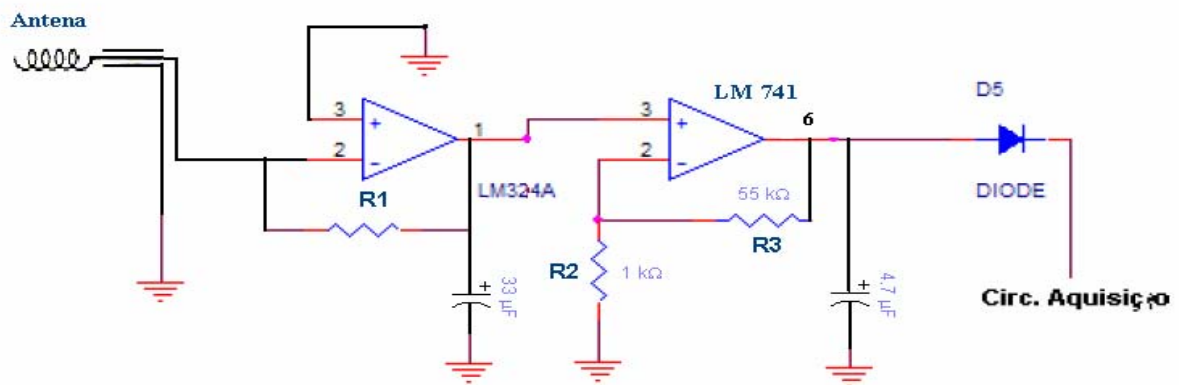


Figura 6 - Circuito do receptor

2.5 Circuito de aquisição de dados

O circuito de aquisição de dados é composto por um conversor analógico digital ADC0808, um *clock* e um multiplexador (74LS154) que serve como proteção para a porta paralela.

2.6 Circuito controlador do motor de passo

Os motores de passo se comportam diferente de outros motores DC. Primeiramente ele não pode girar livremente quando alimentado "classicamente", eles fazem como os seus próprios nomes sugerem: usam passos. Um circuito responsável de converter sinais de passo e de direção em comandos para os enrolamentos do motor é o controle lógico. Ele recebe os sinais de passos e a direção e gera os sinais para que o motor gire. Após esta fase de controle lógico, é preciso o Controle Eletrônico que se encarrega de fornecer a corrente elétrica requerida pelos enrolamentos do motor. Para o projeto utilizamos o motor de passo para controlar o giro do plano de terra e o circuito controlador pode ser visto na Figura 7.

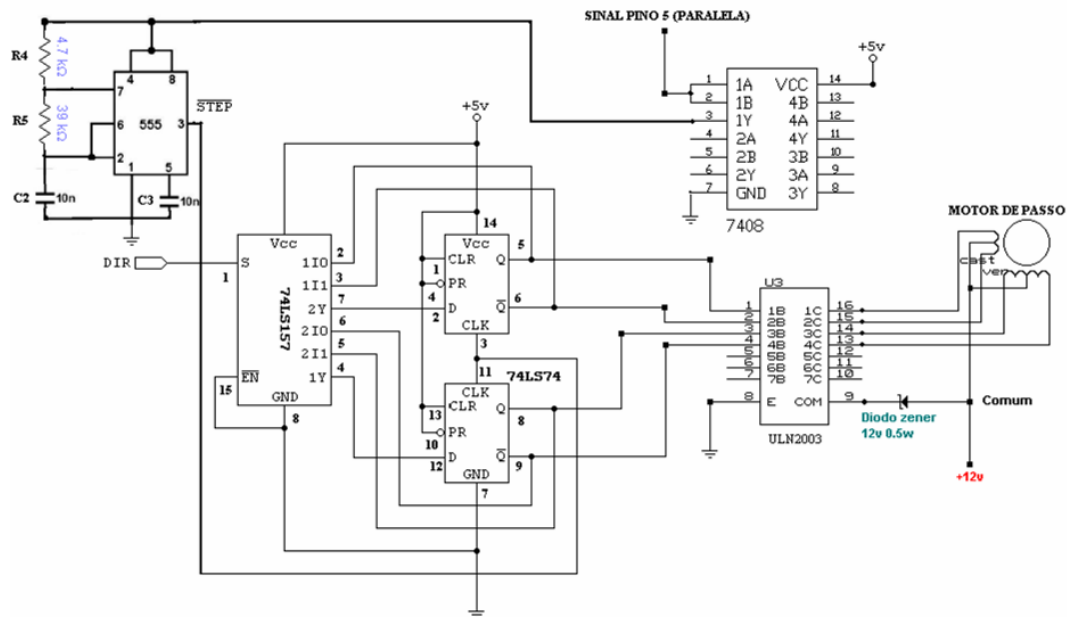


Figura 7 - Circuito controlador do motor de passo

2.7 Identificação dos pinos para acoplamento do sistema

Na Tabela 1 é mostrado a identificação dos pinos dos componentes e como foi feita a conexão de cada um deles.

Tabela 1- Conexões entre os CI's ADC0808, 74LS157, 7408 e a Porta Paralela.

PINOS DA PORTA PARALELA	PINOS ADC0808	PINOS 74LS157	PINOS 7408
3	Start, 6		
2	OE, 9		
4		A/B, 1	
10	EOC, 7		
11		Saída, 4	
12		Saída, 7	
13		Saída, 9	
15		Saída, 12	
5			Entrada, 1e2

2.8 Interface de Exibição

Esta interface é mostrada na Figura 7. O armazenamento das informações provenientes da placa é realizado de maneira gráfica.

Detalhamento da interface:

- GRÁFICO: Este exibe o diagrama de radiação do arranjo das antenas
- Botão DESENHAR: Desenha o diagrama onde vai ser *plotado* o diagrama de radiação
- Botão START: Inicia o processo de controle do sistema
- Botão PAUSE: Dá uma pausa no processo de coleta de informação da placa de aquisição.
- Botão FECHAR: Este encerra o programa e finaliza todo processo do sistema.

2.9 Funcionamento do sistema

O funcionamento dele é controlado pelo algoritmo desenvolvido em C++*Builder* através da porta paralela.

Quando o botão de *START* é ligado o computador manda o ADC0808 fazer a sua primeira leitura, e isto é feito mandando um sinal positivo (nível alto) para o pino 6 (*START*, início) e pino 9 (OE, habilitação da saída) do ADC0808.

Depois da conversão habilitada, o ADC converte os dados analógicos (enviados pelo circuito receptor) que estão na sua entrada IN0 (pois a seleção está *setada* para esta entrada, ou seja, sinal com nível baixo nos pinos 23, 24, 25), e depois de convertidos envia os dados digitais para suas saídas e habilita com sinal positivo seu pino 7 (EOC, fim de conversão).

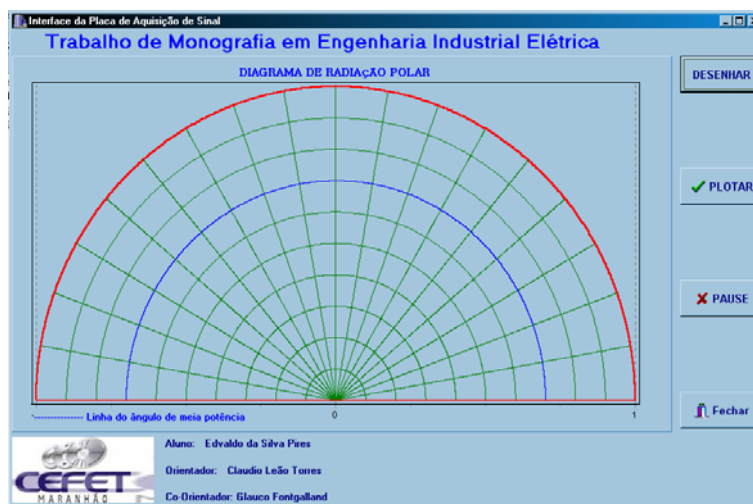


Figura 8 - Interface de exibição do diagrama de radiação

Quando o programa em C++*Builder* recebe esta informação, sabe que pode ir pegar as informações no multiplexador (MUX), pois as oito saídas do ADC estão conectadas nas oito entradas do MUX. Como o MUX só envia 4 bits por vez, ou seja só existem 4 saídas, o programa gerencia o recebimento dos dados com o pino 1 (A/B, seleciona) do MUX. Com este pino em nível alto ele habilita a saída com as quatro primeiras entradas e com sinal em nível baixo ele habilita a saída com as quatro últimas entradas.

Depois de recebido os dados via paralela, o programa os trata da forma adequada e em seguida reinicia o processo. Nesse meio termo quando o pino 7 (EOC, fim de conversão) é acionado o pino 5 da porta paralela, que está conectado no CI-7408, fica em nível alto para ativação do motor de passo (com a ativação do circuito o motor de passo o plano refletor dá um giro de cinco graus para que a próxima leitura possa ser feita).

Desta forma a cada cinco graus que o plano refletor se desloca concentricamente e é feita uma nova leitura, isso até completar 180°.

3 RESULTADOS

Os resultados saíram de acordo com o esperado, os diagramas de radiação ficaram próximos do real. Foram feitas várias leituras com o arranjo das quatro antenas helicoidais, o espaçamento entre elas foi ajustado de acordo com o mostrado na Figura 3.

Primeiro foi tirado o diagrama de radiação com as antenas espaçadas de $2,06\lambda$ (comprimento de onda), o resultado é mostrado na Figura 9.

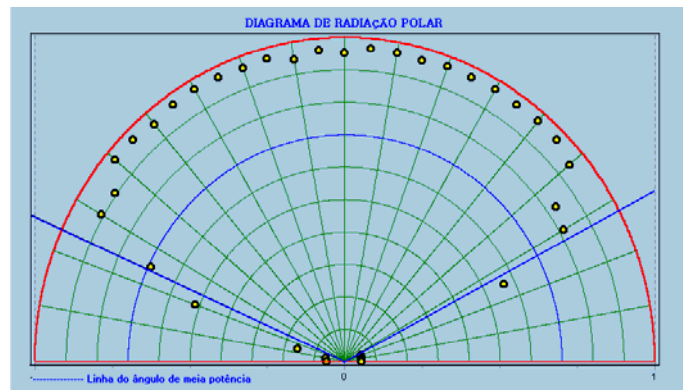


Figura 9 - Diagrama de radiação horizontal com espaçamento de $2,06$ do comprimento de onda

O diagrama de radiação para este espaçamento ficou com uma média de ângulo de meia potência de 128° (entre a linha de meia potência), sendo assim um bom rendimento para este tipo de antena.

Depois foi tirado o diagrama de radiação com as antenas espaçadas de $1,4\lambda$ o resultado é mostrado na Figura 10. Podemos observar que este diagrama de radiação é mais estreito, pois as antenas foram aproximadas, o diagrama ficou com uma média de ângulo de meia potência de 103° .

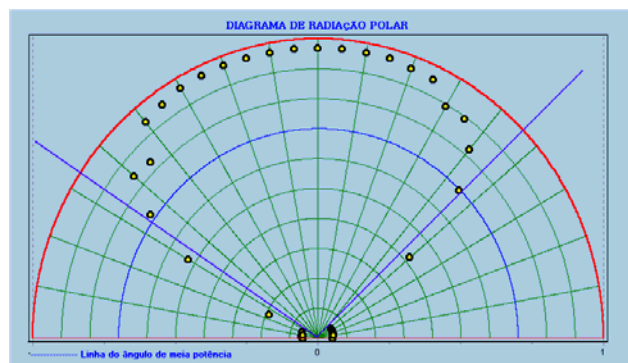


Figura 10 - Diagrama de radiação horizontal com o espaçamento de $1,4$ do comprimento de onda

Por fim foi tirado o diagrama de radiação do arranjo com as antenas bem próximas, com $0,8\lambda$. O resultado é mostrado na Figura 11. Como se pode observar o diagrama de radiação do arranjo das quatro antenas saio bem característico ao arranjo de apenas uma antena já que elas ficaram bem próximas. O diagrama ficou com uma média de ângulo de meia potência de 74° .

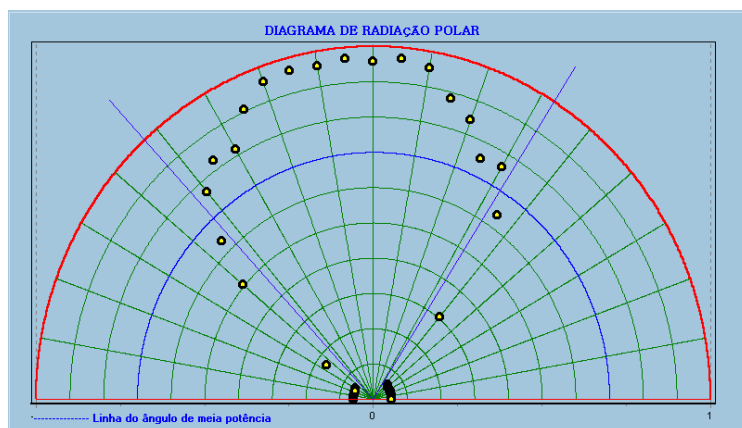


Figura 11 - Diagrama de radiação horizontal com espaçamento de 0.8 do comprimento de onda

4 CONCLUSÃO

O sistema é bastante eficiente, pois mostra o formato real do diagrama de radiação que nada mais é do que o mapeamento prático/teórico da distribuição de energia irradiada, levando em conta o campo tridimensional.

O desenvolvimento deste projeto é de fundamental importância para a instituição, pois ajudará na ampliação deste centro à pesquisa na área de telecomunicações, oferecendo nos cursos de engenharia elétrica, tecnológico e técnico com ênfase em telecomunicações oportunidades e possibilidades de ensaios e simulações em antenas de fio.

Este projeto proporcionará aos futuros técnicos e engenheiros reduzir o *gap*, ainda existente, entre as disciplinas teóricas e práticas.

Pretende-se com este projeto, dentro do CEFET-MA, e posteriormente na REDENET, especificamente na área de telecomunicações, contribuir com a qualificação dos alunos e professores, direta ou indiretamente, envolvidos com a estruturação dos laboratórios de microondas.

REFERÊNCIAS

- PERTENCE A. JÚNIOR, **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos, Teoria, Projetos, Aplicações e Laboratório**. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo, 1990.
- BALINS, C. A., **Antenna Theory, Harpel & Row**, Publications, NY, 1982.
- CHIPMAN, R. A. Tradução: Albuquerque, I. J. **Linhas de Transmissão**, McGraw-Hill, São Paulo, 1972.
- COLLIN, R. E. AND ZUCKER, F. J. , **Antennas Theory, Inter-University Electronics Series**, McGraw-Hill Company, Inc, 1996.
- FLEMING, W. J., GALVÃO, B. S. M. C. **Projetos de Alta Frequência e Antenas auxiliados por Microcomputadores**, McGraw-Hill, São Paulo, 1987.
- FONTGALLAND, G. **Uma aplicação médica de microondas: Diatermia e Hipertermia**, Dissertação de mestrado, UFPB - Campus II, Campina Grande - PB, Orientadores Prof. C. S. Rocha, F. A. F. Tejo e R. R. M. Valle, Nov. 1993.
- FREIRE, G. F. O. **Ondas Eletromagnéticas**, Livros Técnicos e Científico Editora, São Paulo, 1973.
- IRVING L. KOSOW, **Máquinas Elétricas e Transformadores**, Editora Globo S.A.. São Paulo, 1995.
- KENNETH K. CLARKE AND DONALD T. HESS, **Communication Circuits: Analysis and Design**, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., New York, 2001.
- KRAUS, J. D., **Antenas**, McGraw-Hill Book Company, Inc. , 1983. Traduzido por Marritto, P., Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983.
- OLIVEIRA, J. R. S. **Antenas de microfita sobre substratos dielétricos anisotrópicos e ferrimagnéticos magnetizados**, Tese de doutorado, UFPB - Campos II, Campina Grande - PB, Orientador A. G. d'Assunção e C.S. Rocha, 1996.
- RONALDO J. TOCCI, **Sistemas Digitais/Princípios e Aplicações**, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1999.
- SMIT, J. **Linhas de Comunicação**, Livros Érica Editora, São Paulo, 1988.
- STUZMAN, W. L. AND THIELE, G. A., **Antenna Theory and Design**, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1981.