



Universidade Federal da Campina Grande – UFCG
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE
Disciplina: Projeto de Conclusão de Curso
Orientador: Glauco Fontgalland
Aluna: Ellayne Medeiros da Silva
Matricula: 29721173

Análise do Acoplamento
Mútuo entre Duas Antenas Lineares a partir
da Impedância de Transferência

Campina Grande, 03 de maio de 2004



S586a Silva, Ellayne Medeiros da.

Análise do acoplamento mútuo entre duas antenas lineares a partir da impedância de transferência. / Ellayne Medeiros da Silva. - Campina Grande - PB: [s.n], 2004.

63 f.

Orientador: Professor Dr. Glauco Fontgalland.

Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia; (Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Engenharia Elétrica e Informática.

1. Antenas. 2. Arranjo de antenas. 3. Impedância - antenas. 4. Cálculo de impedância mútua. 5. Antenas paralelas colineares. 6. Acoplamento mútuo - antenas. 7. Compatibilidade eletromagnética. 8. Método da análise do momento. 9. Método do arranjo periódico infinito I. Valle, Rômulo Raimundo Maranhão do. II. Título.

CDU:621.396.67(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

Sumário

Introdução	1
Capítulo 1 – Conceitos Básicos e Principais Definições	4
1.1 Principais características de uma antena	5
1.2 Arranjo de Antenas	7
1.3 Impedância Própria de uma Antena	7
Capítulo 2 – Fundamentação Teórica do Cálculo de Impedância Mútua	9
2.1 Configuração 1 – Antenas monopólo sobre plano de terra	9
2.2 Configuração 2 – Antenas paralelas colineares ou d perpendicular ao plano de terra	11
2.3 Outras Orientações	12
Capítulo 3 – Etapa de Simulação	13
3.1 Resultados obtidos a partir das simulações	18
Capítulo 4 - Etapa Experimental	27
Conclusões	38
Bibliografia	40
Anexos	

Introdução

Estudo do acoplamento mútuo através da determinação da impedância mútua entre duas antenas

Com o crescente avanço nas comunicações o mundo tem estado cada vez mais integrado. As pessoas falam ao telefone, enviam mensagens de texto (e-mails, SMS), assistem a TV (via satélite, via cabo ou convencional), fazem reuniões entre líderes mundiais onde cada um dos palestrantes pode estar a milhares de quilômetros de distância. Sem falar na fantástica evolução das comunicações óticas que permite a transmissão de dados a taxas muito elevadas.

O suporte a todo esse conforto, comunicabilidade e confiabilidade continua sendo as equações de Maxwell. A busca por mais comunicabilidade passa por uma etapa fundamental: a análise de compatibilidade eletromagnética.

Dentro do estudo de compatibilidade eletromagnética o efeito de acoplamento mútuo vem sendo bastante estudado. Busca-se com isso maneiras de prever ou corrigir eventuais problemas de interferência. Assim, para garantir que não haverá problemas de interferência é necessário primeiro analisar as características de acoplamento mútuo entre os equipamentos envolvidos. No caso específico de telefonia celular o conhecimento das características de acoplamento é fundamental. Precisa-se garantir que o sinal chegue até o aparelho celular, mas sem causar interferência nos processos biológicos do corpo do usuário e nem causar interferência no seu ambiente (outros equipamentos eletrônicos e mesmo outros usuários de telefonia celular nas proximidades).

O foco principal deste trabalho é aprofundar os conhecimentos sobre a interferência mútua sofrida por duas antenas a partir do parâmetro impedância mútua.

Também se busca:

- Compreender os principais conceitos relacionados ao estudo de antenas.
- Estudar a impedância mútua entre duas antenas em várias configurações sobre plano de terra.
- Correlacionar a impedância mútua aos padrões de irradiação dos arranjos de antenas.

- Montar em laboratório um experimento capaz de exemplificar os conceitos de impedância mútua e irradiação.
- Comparar resultados teóricos da bibliografia com os resultados obtidos na prática através de experimentação e simulação.
- Discutir a importância da impedância mútua no processo de irradiação dos arranjos de antenas.

Para lidar com o problema de acoplamento mútuo de arranjo há basicamente duas aproximações numéricas. Uma é o método da análise do momento de onda completa, o outro é o método do arranjo periódico infinito.

A análise do método do momento dá resultados precisos resolvendo a equação matricial. Porém, quando o número de elementos da antena é grande, o cálculo torna-se difícil e demorado.

O método do arranjo periódico infinito é satisfatório para analisar um arranjo periódico grande usando a estrutura periódica infinita da função de Green, na qual a soma técnica de Poisson é aplicada para simplificar a formulação, e o efeito de acoplamento mútuo é incluído nos resultados da função de Green. Esta aproximação reduz consideravelmente o esforço computacional. Porém, ignora o efeito da extremidade e é limitada para amplitude uniforme e somente para fase progressiva ou fixa.

Para a figura A, a relação entre os N elementos de alimentação pode ser visto como uma rede NxN linear com tensão de excitação \bar{E} e resultado numa corrente \bar{I} definida por $\bar{z} \times \bar{I} = \bar{E}$. Cada valor Z_{ij} da matriz \bar{Z} de impedância de entrada pode ser determinada usando o método EMF, o princípio variacional, a aproximação de King, o método do momento, etc. (Kun-chou Lee and Tah-Hsiung Chu, IEEE, 1996)

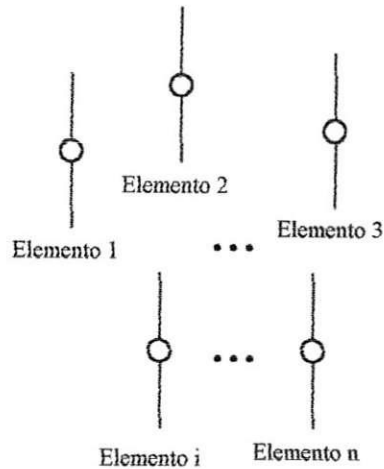


Figura A – Arranjo de n dipolos.

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad \bar{z} \times \bar{I} = \bar{E} \quad (1)$$

A equação (1) descreve o arranjo de antenas em função de suas tensões de excitação, impedâncias próprias e mútuas e correntes.

A base teórica para o desenvolvimento deste trabalho está no artigo escrito por King e Brown. A partir da equação para o cálculo da impedância mútua apresentada por eles em seu artigo é que se idealizou um experimento prático onde este acoplamento seria medido e seus resultados comparados aos resultados teóricos do artigo. A partir deste ponto de partida foram realizadas as atividades que serão apresentadas neste relatório.

No capítulo 1 será apresentada uma breve introdução teórica, onde as principais definições relacionadas ao tema do trabalho são discutidas. Um resumo da fundamentação teórica na qual se baseia este trabalho é apresentado no capítulo 2. O capítulo 3 trata das simulações realizadas e dos resultados obtidos e também uma breve discussão sobre o programa utilizado para o cálculo de impedância mútua desenvolvido no decorrer deste trabalho com a finalidade de facilitar a inserção dos dados e a visualização dos resultados. Todos os materiais, métodos utilizados na etapa experimental e seus resultados são exibidos no capítulo 4. As discussões a cerca dos resultados experimentais e dos resultados esperados são apresentadas no capítulo final. Onde se apresenta também a conclusão geral do trabalho.

Capítulo 1



Conceitos Básicos e Principais Definições

Desde o amanhecer da civilização a comunicação têm sido de importância fundamental para a humanidade. O primeiro mecanismo para a comunicação foi o som da voz. Para conseguir comunicar-se mesmo em distâncias maiores, os homens desenvolveram vários sistemas, tais como tambores, cornetas entre outros. Para grandes distâncias foram introduzidos métodos visuais, como bandeiras e sinais de fumaça durante o dia e fogos de artifício durante a noite. Foi apenas bem recentemente na história da humanidade que o espectro eletromagnético começou a ser utilizado fora da faixa de luz visível para promover a comunicação, com o uso do rádio.(1)

No último século a busca por melhorias tecnológica e por novas descobertas que pudessem proporcionar um melhor aproveitamento de espectro de frequências, esse recurso limitado, foi fato marcante. Vários avanços relevantes aconteceram. A análise e projeto de sistemas de enlace via rádio continuam sendo aprimorados. A cada dia surge uma nova tecnologia que trás vantagens e economia para o processo de comunicações em RF.

Mas para compreender o funcionamento físico e toda a lógica por trás destes sistemas cada vez mais inteligentes é preciso deixar claros algumas definições importantes.

O que é uma antena?

A antena de rádio é parte essencial para qualquer sistema. A antena de rádio é um dispositivo que provê um meio para radiar e receber ondas. É uma estrutura associada com a região de transmissão entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre, ou vice-versa.(2)

Ou ainda, pode-se definir uma antena como um dispositivo encarregado de irradiar ou receber ondas eletromagnéticas que se propagam em um determinado meio.

A distribuição de campos elétrico e magnético, as dimensões e suas características de irradiação são propriedades inerentes para cada tipo de antena.

O que é linha de transmissão?

Linha de transmissão é um dispositivo para transmitir ou guiar energia de radiofrequência de um ponto a outro. Comumente é desejável transmitir com o mínimo de atenuação possível, sendo as perdas de calor e de radiação tão

pequenas quanto possível. Isto significa que enquanto a energia está sendo conduzida de um ponto a outro, ela esta confinada dentro da linha de transmissão ou nas vizinhanças desta. Assim, a onda transmitida ao longo da linha é unidimensional no sentido em que ela não se espalha pelo espaço, mas segue ao longo da linha. (2)

O que é plano de terra?

O plano de terra pode ser uma folha, massa, ou massas de material condutor que, quando unidos, oferece uma impedância desprezível a fluxo de corrente. (3)

1.1 - Principais características de uma antena

Vamos definir agora algumas das principais características de uma antena. O resumo a seguir foi extraído de Fleming e Galvão (4).

Diagrama de irradiação: representa o modo como a antena irradia em um meio, em função das coordenadas do espaço.

Os diagramas obtidos na maioria dos casos práticos recebem os nomes de Diagrama no plano E (plano que contem o vetor campo elétrico) e Diagrama no plano H (plano que contem o vetor campo magnético).

Campo próximo e campo distante: O campo próximo na vizinhança de uma antena é definido pela região onde a distribuição angular do campo irradiado depende da distância entre o ponto de observação e a antena. Esta região (Região de Fresnel) é limitada por uma distancia $R < \frac{2D^2}{\lambda}$ (D é a maior dimensão da antena).

O campo distante é definido por uma região (Região de Fraunhofer), onde a distribuição angular do campo independe da distância da antena. A região de campo distante tem geralmente como limite inferior a distancia $R > \frac{2D^2}{\lambda}$.

Potencia irradiada: É conhecido que a medida do fluxo de potência através de uma superfície S é dada pela intensidade do vetor de Poynting, cuja dimensão é W/m^2 .

O valor instantâneo do vetor de Poynting é dado por:

$$\vec{s} = \vec{e} \times \vec{h} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^* + \vec{E}e^{j\omega t} \times \vec{H}e^{j\omega t}] \quad (1.1)$$

onde \vec{e} , \vec{h} são valores instantâneos dos campos elétrico e magnético

\vec{E} , \vec{H} são valores complexos dos campos elétrico e magnético. São funções das coordenadas do ponto.



O valor médio do vetor de Poynting é definido por:

$$\vec{S}_m = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*)$$

(1.2)

A potência irradiada por uma antena, num volume V limitado por uma superfície S, pode ser escrita como:

$$P = \oint_S \vec{S}_m \cdot d\vec{S} \quad \text{ou} \quad P = \frac{1}{2} \oint_S \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \cdot [\hat{n}dS]$$

(1.3)

onde \hat{n} é o versor normal ao elemento de superfície dS.

Diretividade: defini-se o "ganho diretivo" numa direção como sendo a razão entre a intensidade de radiação naquela direção e a intensidade de radiação de uma antena de referência. A diretividade D é o valor máximo do ganho diretivo.

Sendo a antena de referência isotrópica, o ganho diretivo G_d é expresso por:

$$G_d = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P}$$

(1.4)

assim

(1.5)

$$D = \frac{U_{máx}}{U_0} = \frac{4\pi U_{máx}}{P}$$

Neste caso, normalmente o ganho G_0 expresso em dB, é indicado por dBi

A expressão geral da diretividade é:

$$U_{máx} = A_0 F_{máx}(\theta, \phi)$$

(1.6)

$$D = 4\pi \frac{F_{máx}(\theta, \phi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}$$

(1.7)

Área efetiva de uma antena: Este parâmetro está relacionado com a diretividade, segundo a expressão:

$$A_c = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$

(1.8)

onde λ é o comprimento de onda

Impedância de entrada: é definida como sendo a impedância que a antena apresenta em seus terminais. Ela é dada pela relação entre a tensão V_A e a corrente I_A na entrada, e é expressa por:

$$Z_A = V_A / I_A = R_A + jX_A$$

(1.9)

A parte resistiva R_A consiste de duas componentes: $R_A = R_r + R_p$

Onde: R_r é a resistência de radiação

R_p é a resistência de perdas.

1.2 - Arranjo de antenas

Normalmente o diagrama de irradiação de um simples elemento é relativamente largo, e possui baixos valores de diretividade (ganho). Portanto, em muitas aplicações faz-se necessário o uso de antenas com características de diretividade mais elevadas. Isso pode ser feito aumentando-se o comprimento elétrico da antena, uma maneira seria adicionar múltiplos elementos à antena original. Essa nova estrutura é comumente chamada de arranjo. Os elementos individuais do arranjo podem ser formados por fios, aberturas, *loops*, etc.

O campo total do arranjo é determinado pela adição vetorial dos campos irradiados dos elementos individuais. Portanto, para se ter uma alta diretividade é necessário que o campo do arranjo interfira construtivamente na direção desejada e destrutivamente nas outras direções.

1.3 - Impedância Própria de uma Antena

Agora que os principais conceitos foram apresentados, vamos discutir aspectos mais específicos relacionados à impedância própria de uma antena.

A impedância apresentada por uma antena a uma linha de transmissão pode ser representada por uma rede de dois terminais. Esta impedância tem uma parte real chamada de resistência própria (resistência de radiação) e uma parte imaginária, a reatância própria. A impedância própria é a mesma para recepção e para transmissão.

Caso haja outras antenas próximas, a impedância terminal pode ainda ser substituída por uma rede de dois terminais. Contudo, seu valor é determinado pela impedância própria e também pelas impedâncias mútuas entre ela e as outras antenas e as correntes fluindo nelas.

O teorema da reciprocidade para antenas pode ser anunciado como segue: "Se uma fem for aplicada aos terminais de uma antena A e a corrente for medida nos terminais de uma outra antena B, então uma corrente igual (em amplitude e fase) será obtida nos terminais da antena A se a mesma fem for aplicada aos terminais da antena B". É suposto que as fem sejam de mesma frequência e que o meio seja linear, passivo e isotrópico. Com base neste teorema afirma-se que o diagrama de transmissão e de recepção de uma antena são os mesmos.



Impedância própria de uma antena linear: $Z_{11} = V_{11}/I_1$

A impedância Z_{11} é constante e independente em virtude do sistema ser linear.

No caso de uma antena de $\frac{1}{2}$ comprimento de onda, como mostrado na figura 1.1, temos a resistência própria e a reatância própria dadas por:

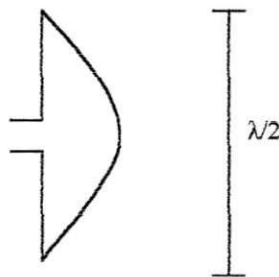


Figura 1.1 – Antena de $\frac{1}{2}$ comprimento de onda.

$$R_{11} = 30 \text{Cin}(2\pi) \quad (1.10)$$

$$X_{11} = 30 \text{Si}(2\pi) \quad (1.11)$$

Nota:

$\text{Cin}(x) = \ln \gamma x - \text{Ci}$ Onde Ci é cosseno integral e Si é seno integral.

$$\text{Cin}(x) = \int_0^x \frac{1 - \cos v}{v} dv = \ln \gamma x - \text{Ci}(x) = 0.577 + \ln x - \text{Ci}(x)$$

onde $\gamma = e^c = 1.781$ ou $\ln \gamma = c = 0.577$ que é igual a constante de Euler.

$$\text{Ci}(x) = \int_{\infty}^x \frac{\cos v}{v} dv$$

Assim: $Z_{11} = R_{11} + jX_{11} = 73 + j42,5\Omega$

Estas expressões aplicam-se a antenas balanceadas alimentadas pelo centro. Para uma antena de topo, fina, de altura a perpendicular a um plano de terra infinito, perfeitamente condutor, a impedância própria é a metade daquela para o tipo balanceado. (2)



Capítulo 2

Fundamentação Teórica do Cálculo de Impedância Mútua

Desejamos neste momento determinar a relação entre o campo resultante entre as antenas e as condições que existem na região do transmissor, como o espaçamento entre as antenas, a altura delas, e as dimensões das antenas. Estes fatores influenciam a fase e magnitude das correntes induzidas nas antenas.

Para achar as correntes das antenas, nós temos que saber a impedância mútua entre as antenas, como também a impedância própria das estruturas em questão. Esta impedância é achada estendendo o método de Pistolkors para cálculo das resistências mútuas de sistema de antena. (7)

2.1 Configuração 1 – Antenas monopólo sobre plano de terra

Considerando um fio de raio, s , e comprimento, a , colocado verticalmente em cima de um plano condutor perfeito. Uma tensão, v_0 , é aplicada entre o ponto terminal mais baixo da antena e o plano condutor. Então a corrente na base é $\sqrt{2}I_0 \sin \omega t$. A corrente na antena em qualquer ponto a uma distância, x , do fundo é

$$i_x = \frac{\sqrt{2}I_0 \sin(G-kx) \sin \omega t}{\sin G} \quad (2.1)$$

$$\text{onde, } G = 2\pi \times a / \lambda = ka \quad (2.2)$$
$$k = 2\pi / \lambda$$

(2.3)

e, λ é o comprimento de onda da tensão.

As impedâncias mútuas entre duas antenas são determinadas de modo semelhante. Estas impedâncias são sempre referidas à base das antenas. Para duas antenas verticais de comprimento igual, a , e separadas de uma distância, d , como mostrado na figura 2.1, a impedância mútua é:

$$\bar{Z}_m = R_m + jX_m = Z_m \angle \theta \quad (2.4)$$

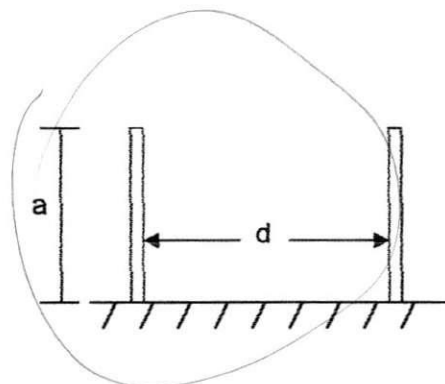


Figura 2.1 – Configuração das antenas

Onde,

$$\begin{aligned}
 R_m = & \frac{15}{\sin^2 G} [2\{2 + \cos 2G\}Ci\{kd\} - 4 \cos^2 G \{Ci\{k(\sqrt{d^2 + a^2} - a)\} + Ci\{k(\sqrt{d^2 + a^2} + a)\}\} \\
 & + \cos 2G \{Ci\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} - 2a)\} + Ci\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} + 2a)\}\} \\
 & + \sin 2G \{Si\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} + 2a)\} - Si\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} - 2a)\} - 2Si\{k(\sqrt{d^2 + a^2} + a)\} \\
 & + 2Si\{k(\sqrt{d^2 + a^2} - a)\}\}] \\
 (2.5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_m = & \frac{15}{\sin^2 G} [-2\{2 + \cos 2G\}Si\{kd\} + 4 \cos^2 G \{Si\{k(\sqrt{d^2 + a^2} - a)\} + Si\{k(\sqrt{d^2 + a^2} + a)\}\} \\
 & - \cos 2G \{Si\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} - 2a)\} + Si\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} + 2a)\}\} + \sin 2G \{Ci\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} + 2a)\} \\
 & - Ci\{k(\sqrt{d^2 + (2a)^2} - 2a)\} - 2Ci\{k(\sqrt{d^2 + a^2} + a)\} + 2Ci\{k(\sqrt{d^2 + a^2} - a)\}\}] \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

Nós estamos agora prontos para achar as correntes de antena e a intensidade de campo elétrico em pontos remotos devido às correntes.

Várias poderiam ser as configurações a serem estudadas, mas em nosso caso vamos analisar o comportamento de duas antenas que são ressonantes à frequência da estação.

Duas antenas sintonizadas

Por simplicidade, as antenas serão consideradas como tendo um comprimento igual a um quarto comprimento de onda, e estão separado uma distância, d .

Uma tensão, \bar{V}_0 , é aplicada à base das antenas. A corrente na base de antena 1 é \bar{I}_0 e a corrente na base da antena 2 é \bar{I}_1 .

Escrevendo a lei de Kirchhoff para os dois circuitos envolvidos,

$$\bar{V}_0 = \bar{I}_0 \bar{Z}_{00} + \bar{I}_1 \bar{Z}_{10} \quad (2.7)$$

$$\bar{V}_1 = \bar{I}_0 \bar{Z}_{01} + \bar{I}_1 \bar{Z}_{11} \quad (2.8)$$

Para obter a corrente da antena 1, usamos:

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_1 - \bar{I}_0 \times \bar{Z}_{01}}{\bar{Z}_{11}}$$

(2.9)

A corrente da antena é assim determinada assumindo que a componente da reatância de \bar{Z}_{11} é zero. De modo que $Z_{11} = R_p$ (resistência própria)

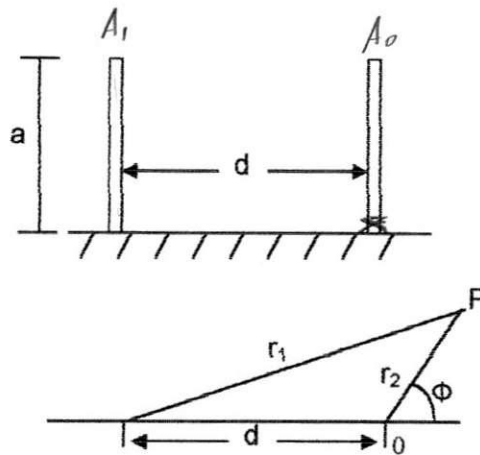


Figura 2.2 – Arranjo e sistema de coordenadas

Então a intensidade total é

$$\bar{F}_T = \bar{F}_0 + \bar{F}_1 = -j \frac{60 \bar{I}_0}{r_0} \left[1 - \frac{\bar{Z}_{10}}{R_p} \angle -\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \phi \right] \angle -\frac{2\pi r_0}{\lambda} \quad (2.10)$$

ou

$$\bar{F}_r = \bar{F}_0 \left[1 - \frac{\bar{Z}_{10}}{R_p} \angle -\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \phi \right] = \bar{F}_0 \left[1 - \frac{\bar{Z}_{10}}{\bar{Z}_{11}} \angle -\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \phi \right] \quad (2.11)$$

O diagrama de irradiação na região das antenas sofre mudança sutil.

Se a terra fosse uma condutora perfeita, a resistência de torre seria $R_r = 36.6 \Omega$

As informações descritas no item 2.1 foram extraídas da referência (7)

2.2 – Configuração 2 – Antenas paralelas colineares ou dipolo perpendicular ao plano de terra

Seja cada antena longa um número ímpar de $\frac{1}{2}$ comprimentos de onda e dispostos como na figura 2.3. Para o caso onde h é maior que a , Carter dá a resistência e a reatância mútuas como:

$$R_{21} = (-15\cos(Gh) \times (-2\cosint(2Gh) + \cosint(2G(h-a)) + \cosint(2G(h+a)) - \log(\frac{h^2 - a^2}{h^2})) + 15\sin(Gh) \times (2\sinint(2Gh) - \sinint(2G(h-a)) - \sinint(2G(h+a))) \quad (2.12)$$

$$X_{21} = -15\cos(Gh) \times (2\sinint(2Gh) - \sinint(2G(h-a)) - \sinint(2G(h+a))) + 15\sin(Gh) \times (2\cosint(2Gh) - \cosint(2G(h-a)) - \cosint(2G(h+a)) - \log(\frac{h^2 - a^2}{h^2})) \quad (2.13)$$

onde $G = \beta = 2\pi/\lambda$

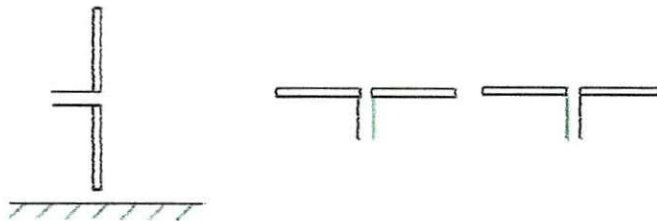


Figura 2.3 – configuração 2 do arranjo de antenas

As informações referentes ao item 2.2 foram extraídas da referência (2)

2.3 Outras Orientações

Existe um número infinito de meios de ajustar dois dipolos adjacentes, resultando em um número infinito de valores de impedâncias mútuas. Para o caso mais geral, as antenas podem ter comprimentos diferentes, seus eixos podem não ser paralelos e estarem sobre planos diferentes. Independente de sua orientação, a impedância mútua pode ser calculada pela expressão (2.14)

$$Z_{21} = -\frac{1}{I_1(0)I_2(0)} \int E_{z21} \cdot I_2(Z') dZ' \quad (2.14)$$

A equação (2.14) expressa a impedância mútua em termos de uma integral do produto da componente do campo elétrico incidente paralelo a antena (E_{z21}) e a distribuição de corrente ao longo da antena quando ela é usada como transmissor ($I_2(Z')$). Esta integral pode ser reduzida a funções "tabulares" somente em casos muito especiais, e pode sempre ser calculada numericamente.(5)

Informações detalhadas podem ser encontradas em (6).

Capítulo 3

Etapa de Simulação

O cálculo da impedância mútua entre duas antenas é, como se viu, bastante trabalhoso e envolve funções não triviais, como seno integral e cosseno integral. Além disso, é necessário um grande volume de cálculos para obter-se uma curva da impedância em função da distância entre as antenas.

Tendo em vista essa dificuldade, buscou-se o auxílio do computador para executar o árduo trabalho necessário para o cálculo da impedância mútua.

Parte do período dedicado ao projeto foi preenchido programando em linguagem MatLab® para obter os resultados teóricos.

O fluxograma 1 mostra a seqüência do algoritmo adotado para o cálculo da impedância mútua entre duas antenas monopólio sobre plano de terra que serviu de base para a posterior criação da interface e também para os novos programas implementados.

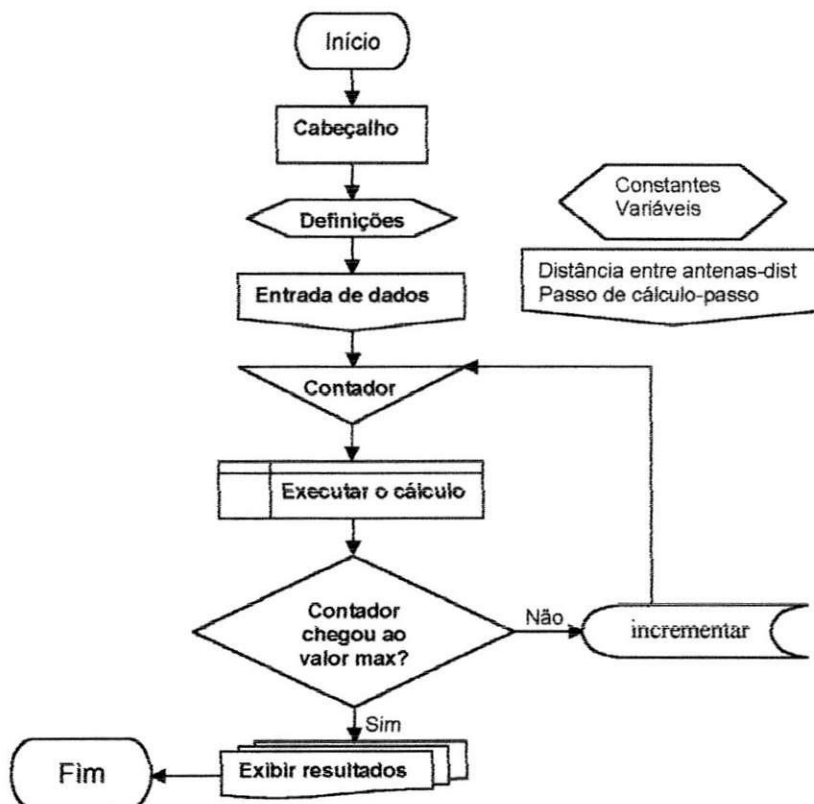


Figura 3.1 – Fluxograma ilustrativo do algoritmo adotado.

Com o auxílio do programa passamos a comparar as curvas de resistência mútua, reatância mútua, módulo e fase com os resultados apresentados por vários autores, o que mostrou haver grande concordância entre os resultados apresentados pelo programa e os resultados apresentados na bibliografia.

Após a etapa inicial de programação, pensou-se em tornar a interação com o programa mais amigável. Na realidade, trata-se de uma necessidade, pois a interatividade é fator enriquecedor além de eliminar a necessidade do usuário conhecer a linguagem em que foi feita a programação.

Passou-se a trabalhar numa interface adequada para a entrada dos dados necessários ao processamento e também adequada para a exposição dos resultados.

A interface foi construída utilizando recursos do próprio MatLab®. Através do comando `guide`. Em seguida a interface começou a ser delineada.

O trabalho de construção da interface foi longo, pois não se dispunha de guias ou manuais para utilizar como fonte de informação. Apenas o próprio *Help* do programa MatLab e alguns exemplos foram utilizados como referência.

A seguir são apresentados a interface gráfica e seus componentes.

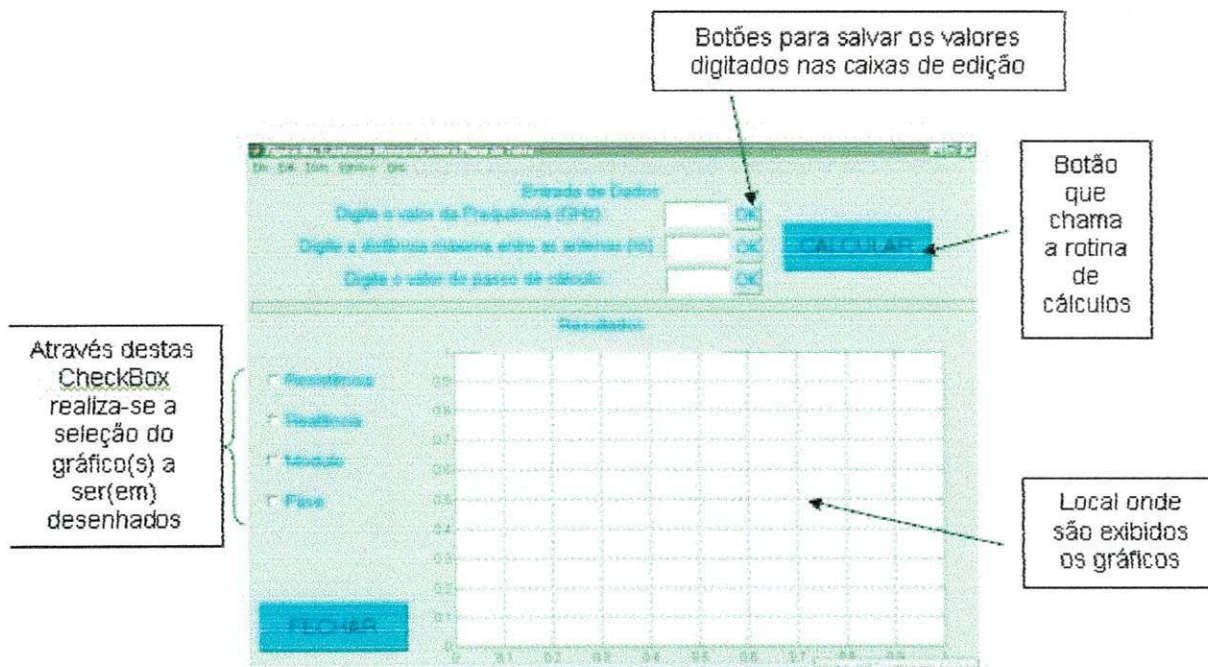


Figura 3.2 – Interface Gráfica para o cálculo da impedância para antenas monopólo sobre plano de terra.

Apesar de simples, esta interface oferece os recursos necessários para desenhar às curvas de resistência, reatância, módulo e fase da impedância, além disso, a experiência adquirida na construção desta interface foi muito enriquecedora.

Com o sucesso conseguido nesta etapa do projeto, outros objetivos surgiram. Fazer o cálculo da impedância de outras configurações semelhantes. Tais como um dipolo paralelo a um plano de terra e um dipolo perpendicular ao plano de terra e distante deste de s metros foram pensadas depois de observado os resultados bastante promissores da primeira interface.

Seguindo o mesmo raciocínio da etapa anterior foram criadas rotinas capazes de realizar os cálculos de impedância mútua em outras configurações. A figura 3.3 ilustra as configurações estudadas.

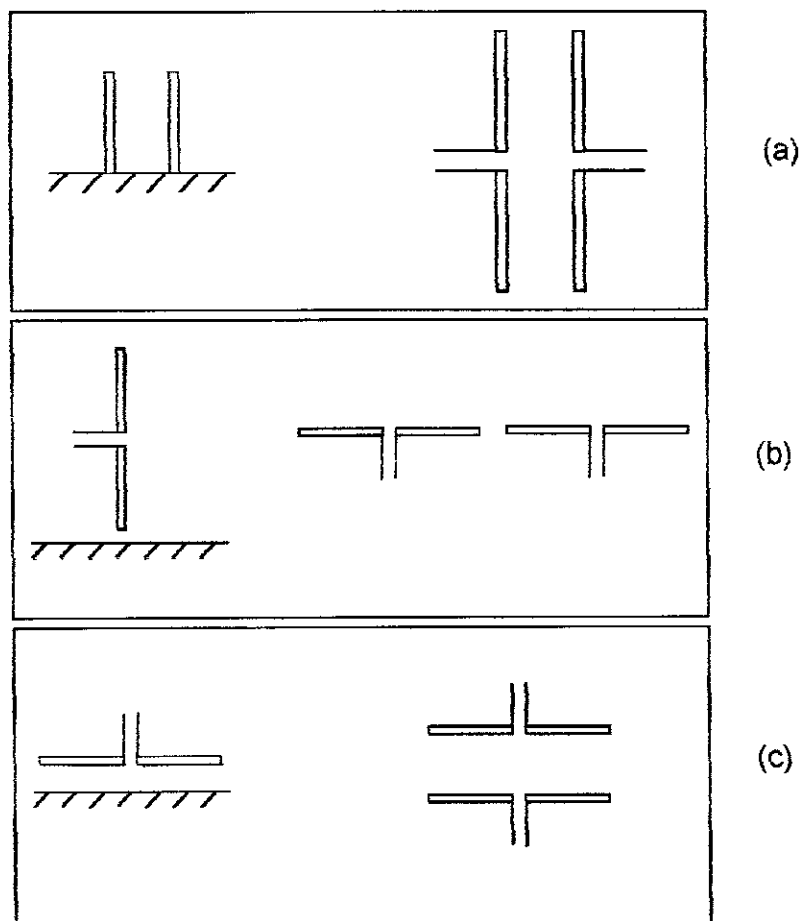


Figura 3.3 – (a) antenas monopólio sobre plano de terra, (b) dipolo perpendicular e acima de plano de terra e (c) dipolo paralelo ao plano de terra.

Com a ampliação dos objetivos iniciais foi necessário construir uma interface geral a partir da qual fosse possível selecionar que tipo de configuração seria estudada. Esta interface geral foi chamada de PCC1 (Projeto de Conclusão de Curso 1). As

outras interfaces foram chamadas de PCC2, PCC3 e PCC4 que são responsáveis pelo processamento da configuração fig 3.3(a), (b) e (c) respectivamente. Foram criadas também interfaces específicas para exibir os gráficos no formato polar, que foram chamadas de Polar1, Polar2 e Polar3.

A figura 3.4 apresenta o esquema das interfaces, para facilitar a compreensão da organização que foi adotada para as simulações.

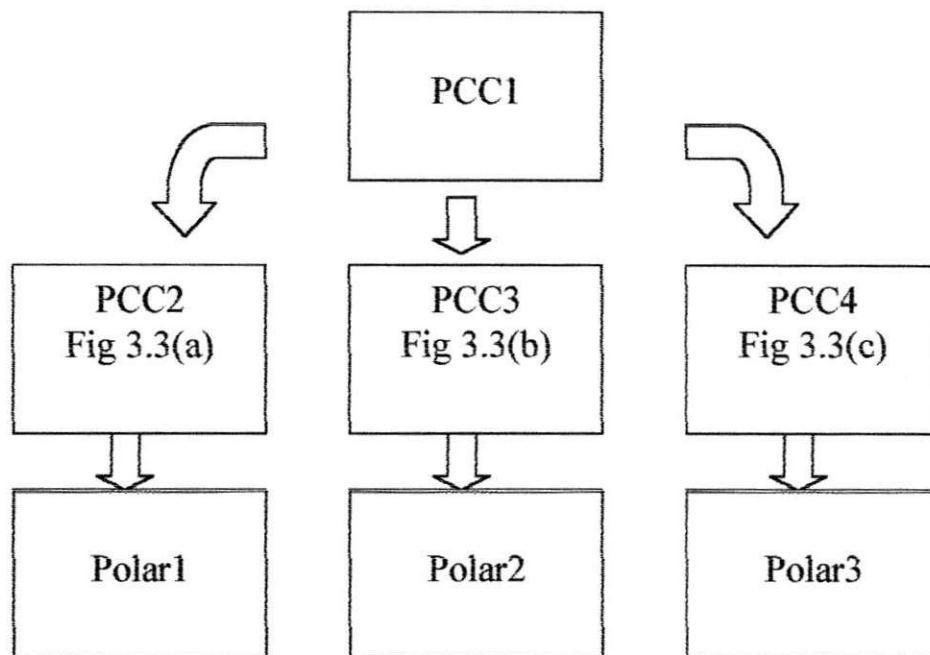


Figura 3.4 – Esquema de organização da interface PCC

Cabe lembrar que as interfaces criadas servem de máscara para o processamento dos dados e a obtenção dos resultados, ou seja, por trás da interface é executada uma rotina programada para realizar todos os cálculos e desenhar os gráficos resultantes. A figura 3.5 apresenta o fluxo de execução dos processos e o resultado observado na interface.

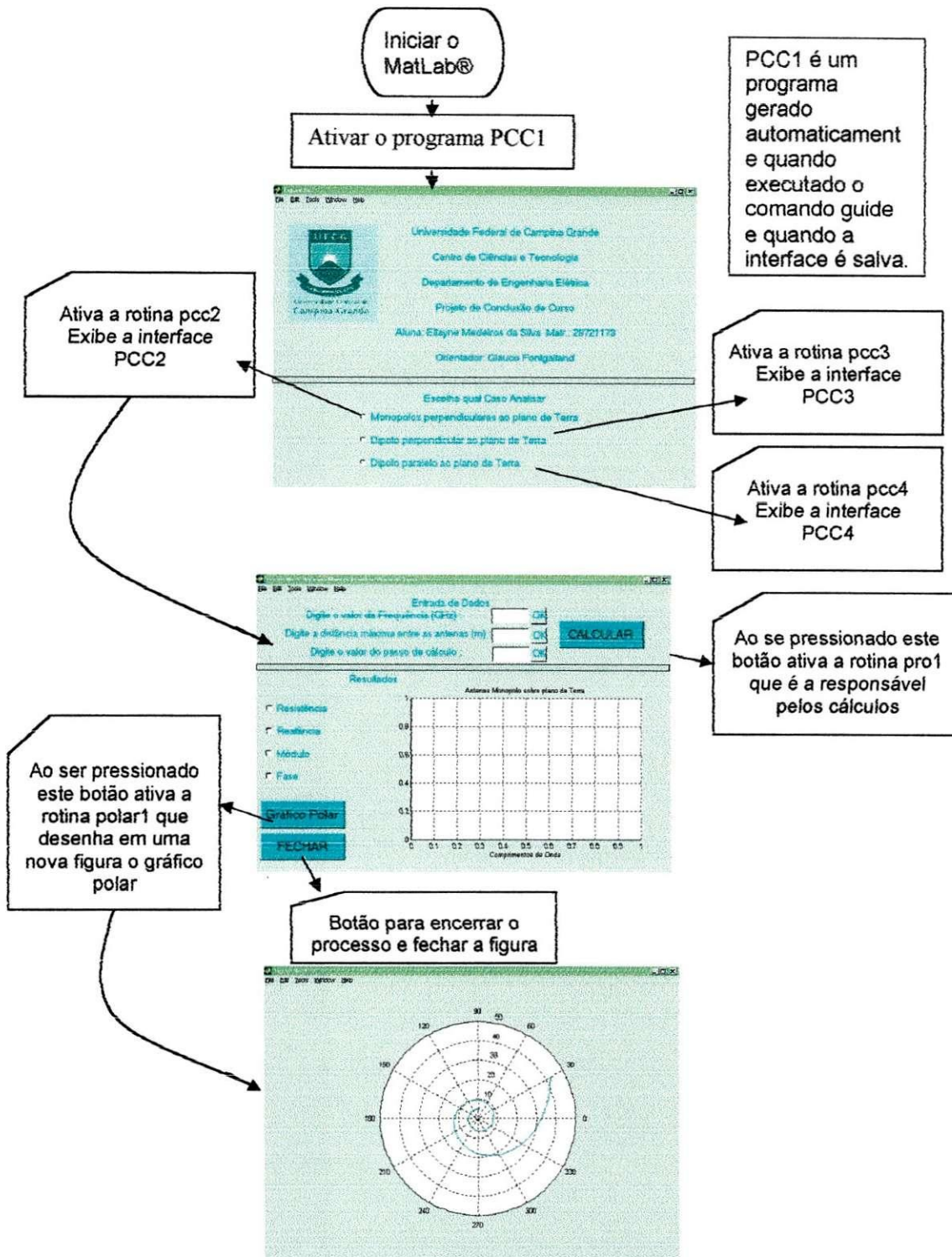


Figura 3.5 – Esquema de execução da interface Pcc1

No anexo serão exibidos todos os programas escritos para execução deste trabalho.

3.1 Resultados obtidos a partir das simulações

Os resultados obtidos através de simulações são apresentados a seguir:

Resultados obtidos para a configuração (a), monopólos sobre plano de terra são apresentados nas figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10.

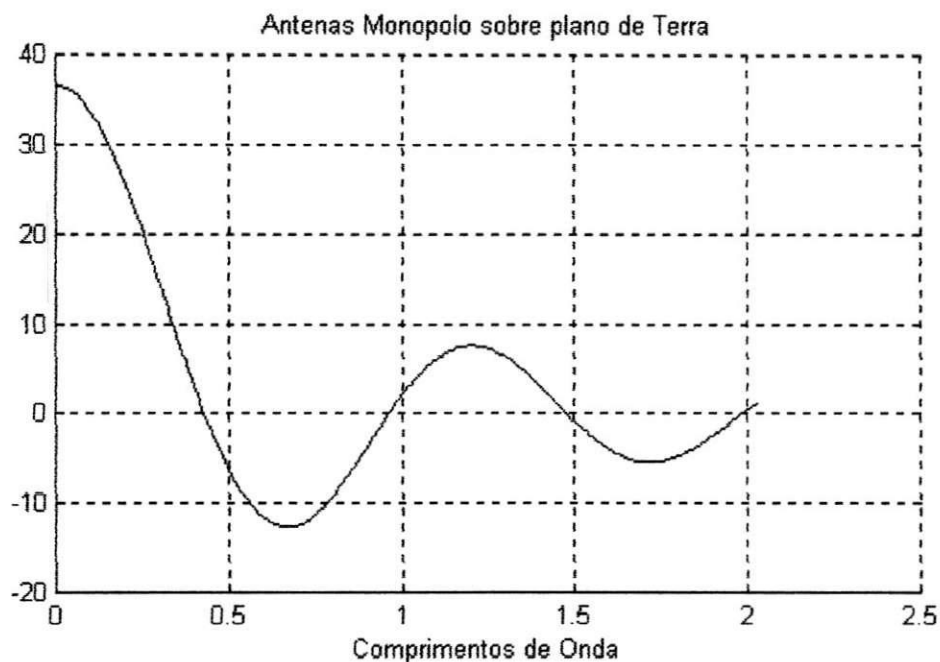


Figura 3.6 – Resistência Mútua

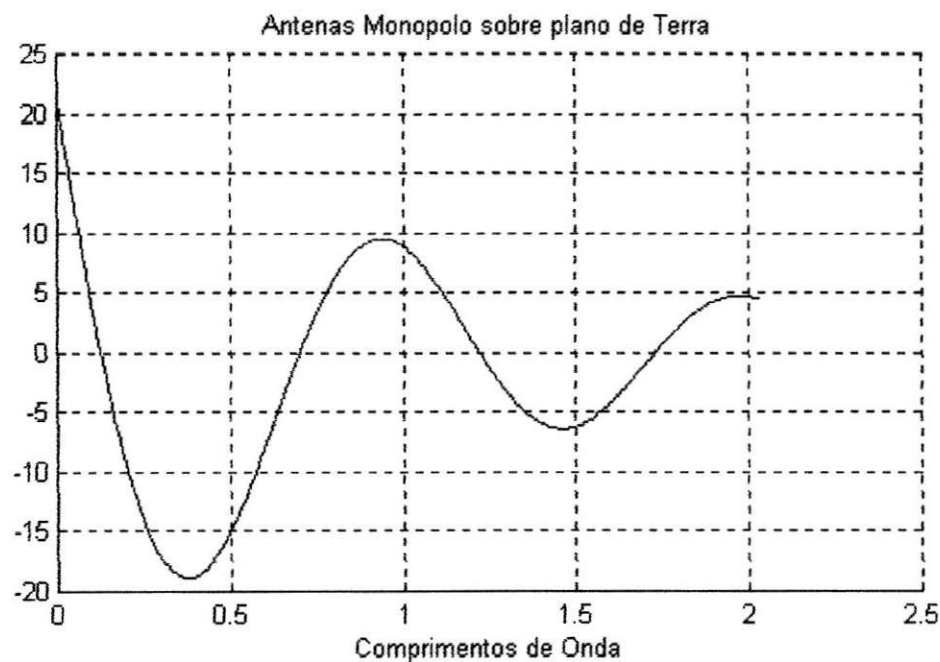


Figura 3.7 – Reatância Mútua

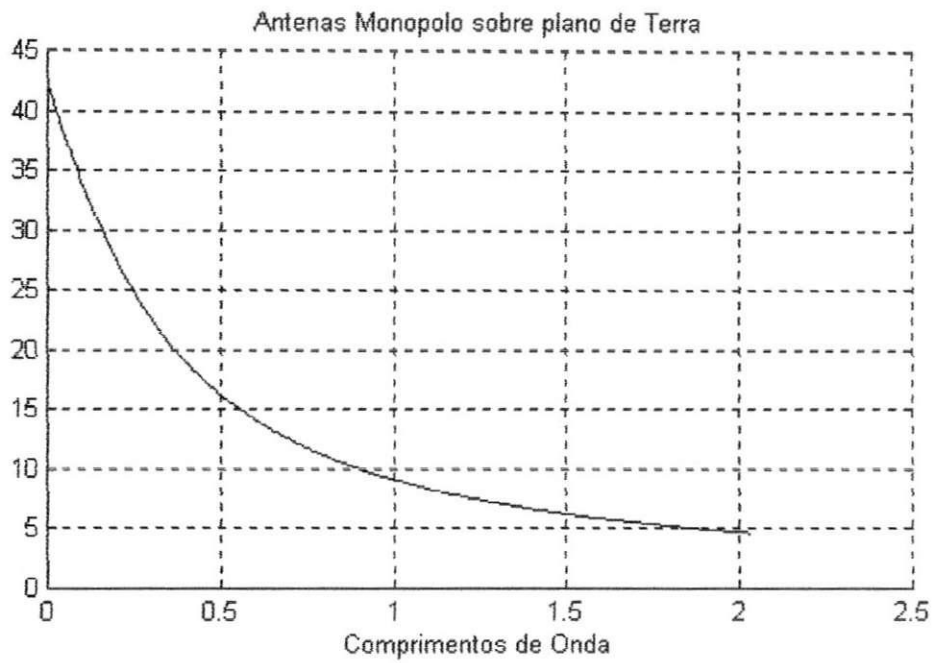


Figura 3.8 – Módulo da Impedância Mútua

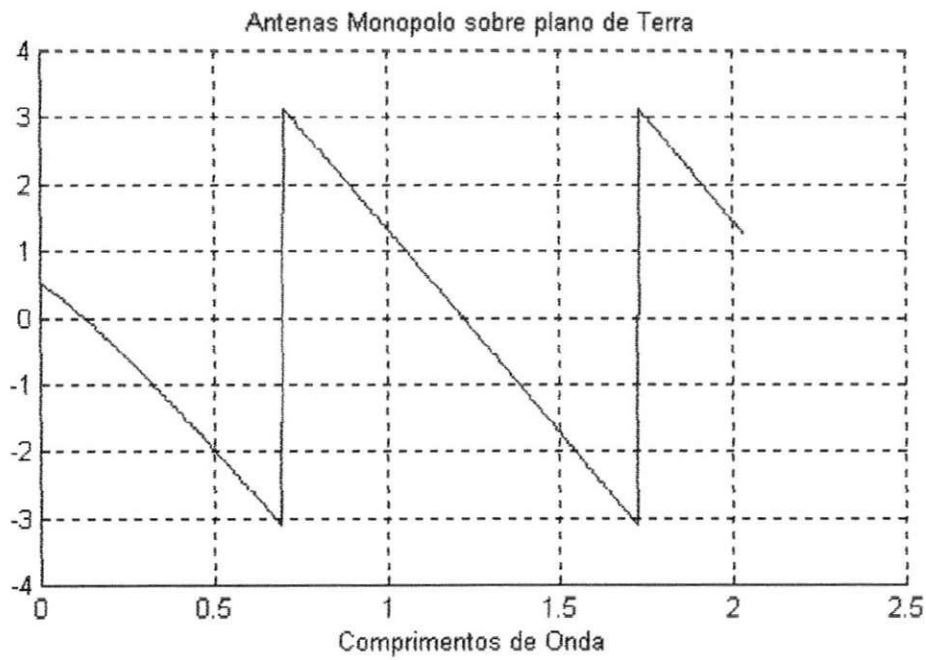


Figura 3.9 – Fase da Impedância Mútua

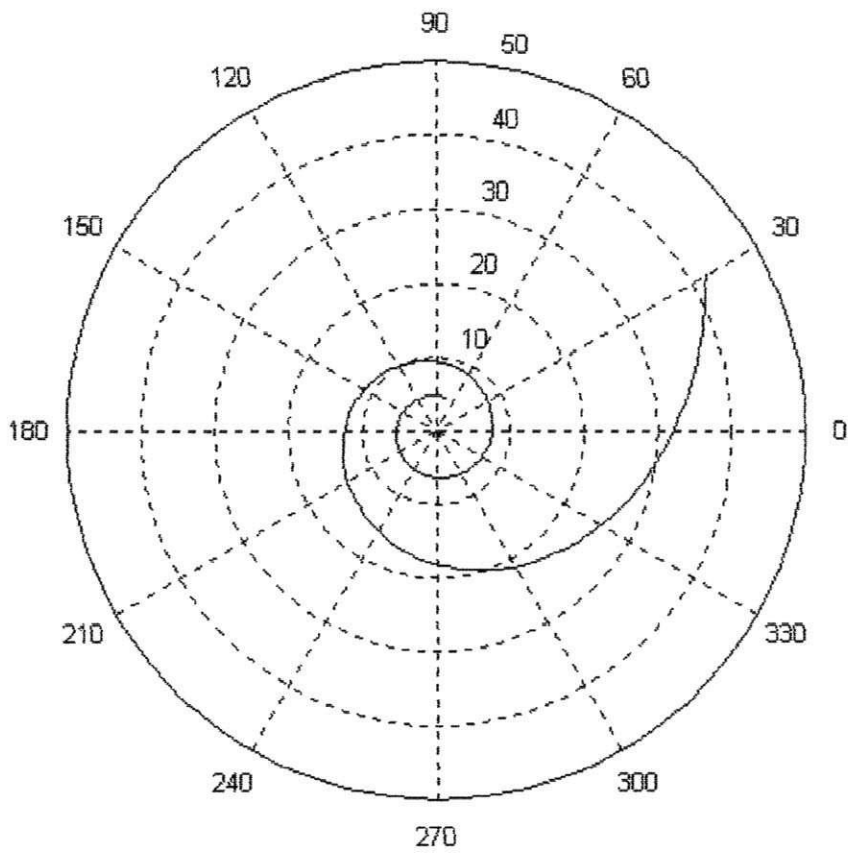


Figura 3.10 – Forma Polar da Impedância Mútua

Resultados obtidos para a configuração (b), dipolo perpendicular e sobre plano de terra são apresentados nas figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15.

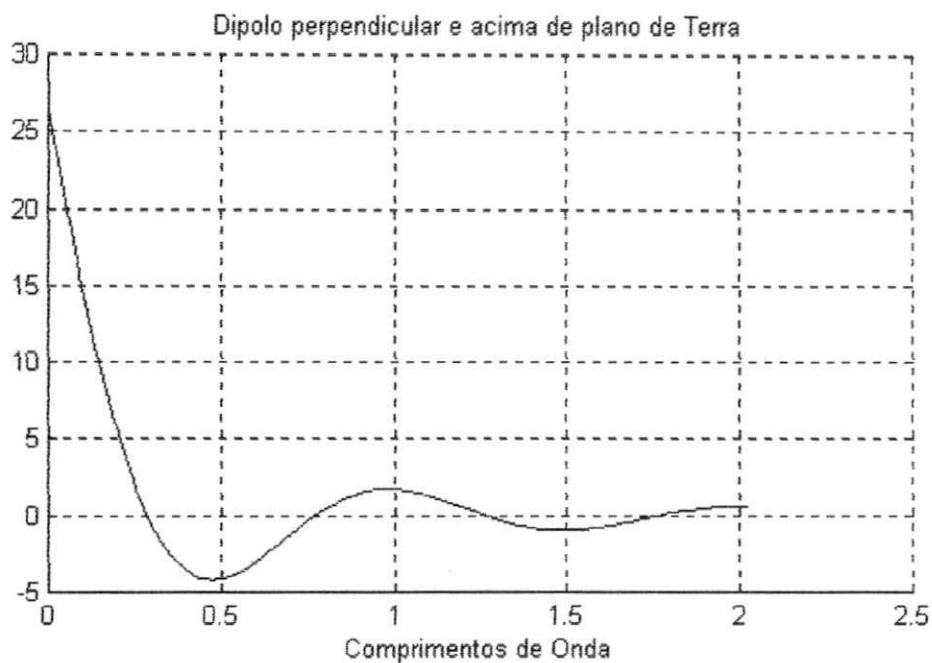


Figura 3.11 – Resistência Mútua

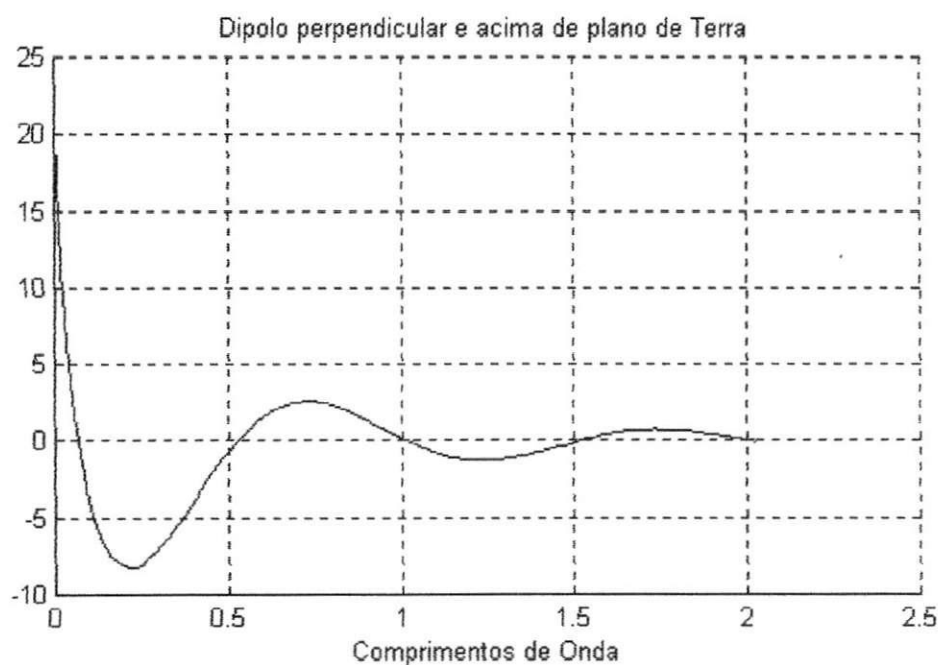


Figura 3.12 – Reatância Mútua

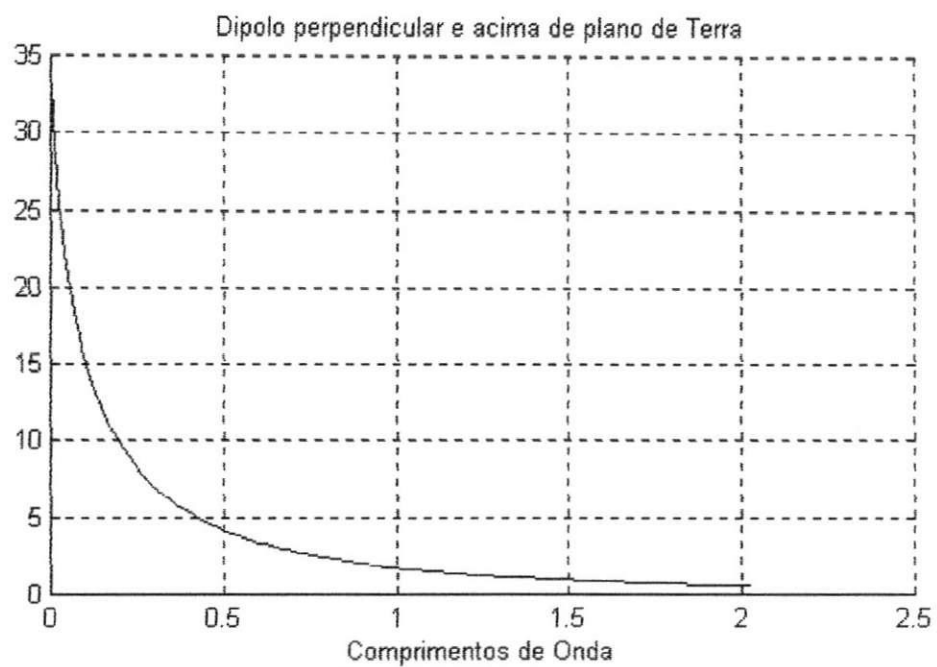


Figura 3.13 – Módulo da Impedância Mútua

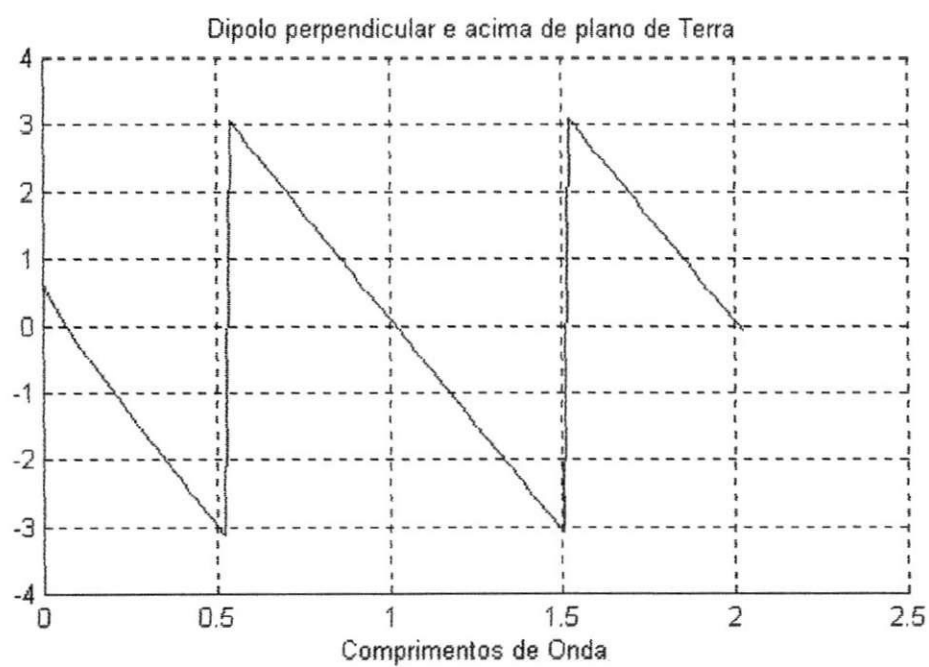


Figura 3.14 – Fase da Impedância Mútua

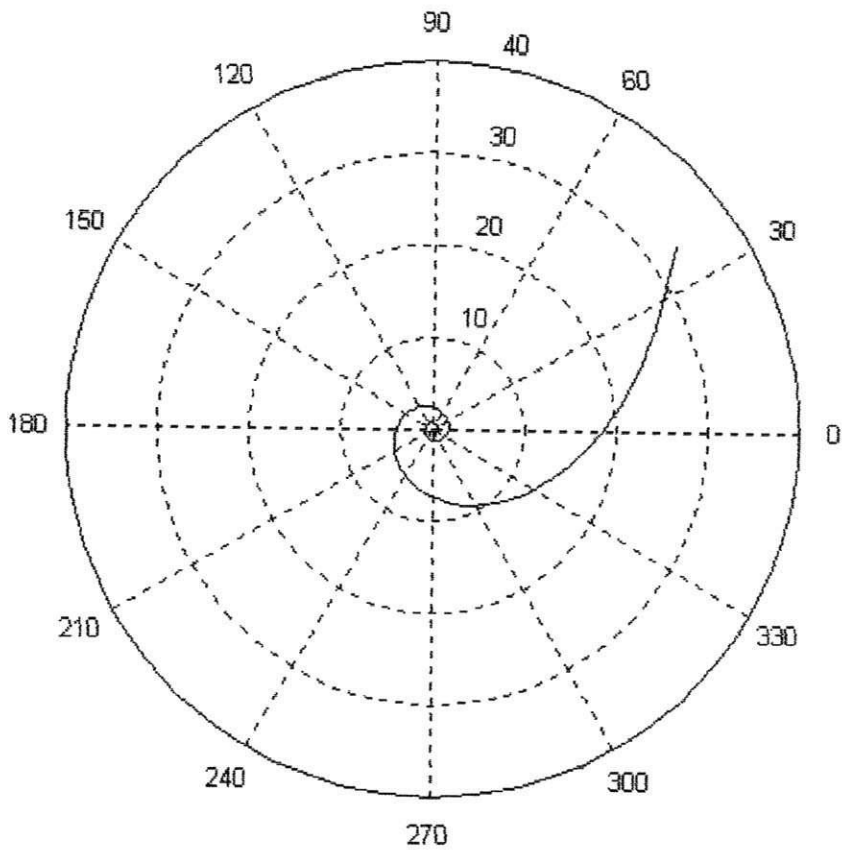


Figura 3.15 – Forma Polar da Impedância Mútua

Resultados obtidos para a configuração (c), dipolo paralelo ao plano de terra são apresentados nas figuras 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20.

Capítulo 4

Etapa Experimental

Aquí serão descritos todos os materiais e métodos utilizados na obtenção dos resultados experimentais deste projeto.

Os experimentos foram realizados no laboratório de eletromagnetismo e microondas aplicados – LEMA. Incluído a etapa de confecção dos sistemas utilizados, já que por se tratar de um novo experimento o laboratório não dispunha de mecanismos prontos para sua implementação.

Foi necessário confeccionar o plano de terra, o mecanismo de suporte e deslocamento das antenas e as próprias antenas. Na figura 4.1 é apresentado o sistema que foi montado e utilizado no decorrer dos experimentos.

Inserir foto do sistema aqui!!!

Determinou-se por meio de simulação valores críticos da distância. Estes pontos críticos localizavam-se em zeros ou máximos da curva simulada de resistência Mútua, ou seja, os pontos onde deveria haver desacoplamento e máximo acoplamento entre as antenas monopólo. Tendo os valores destas distâncias, o sistema foi posicionado de modo que a separação entre as antenas fosse igual as distâncias escolhidas e efetuou-se o procedimento de medição.

Os equipamentos utilizados na etapa experimental foram:

- Gerador de frequência de 2.45G Hz;
- Sistema mostrado na figura 4.1, que a partir de agora se denomina arranjo;
- Medidor de SWR;
- Cabos, Conectores;
- Mecanismo para divisão do sinal de entrada.
- Suportes;
- Antena dipolo de 2.45 G Hz para recepção do sinal transmitido pelo arranjo;
- Sistema de ajuste manual de ângulo;

As tabelas 4.1 a 4.5 expõem os valores medidos para cada uma das distâncias em termos de valores de potencia irradiada. Destes valores podemos desenhar os correspondentes diagrama de irradiação.

Distância entre as antenas do arranjo =6 mm

Tabela 4.1 – potência recebida para d=6 mm

Ângulos em (°)	Potência recebida em (dB)
-90	-54.5
-85	-47.5
-80	-53.0
-75	-50.4
-70	-53.8
-65	-52.2
-60	-49.0
-55	-49.5
-50	-55.0
-45	-52.0
-40	-56.5
-35	-50.2
-30	-53.6
-25	-51.0
-20	-49.5
-15	-52.4
-10	-48.5
-5	-52.0
0	-52.2
5	-49.5
10	-51.4
15	-49.0
20	-51.8
25	-50.4
30	-50.8
35	-49.5
40	-54.0
45	-49.0
50	-51.8
55	-49.0
60	-47.0
65	-51.4
70	-47.0
75	-51.4
80	-47.0
85	-55.0
90	-47.5

Essa é a menor distância que o arranjo possibilita, na curva teórica mostrada na fig. Mm o valor da resistência mútua tem valor $r_m = 36.1\Omega$, nessa distância ocorreria um elevado valor de acoplamento mútuo.

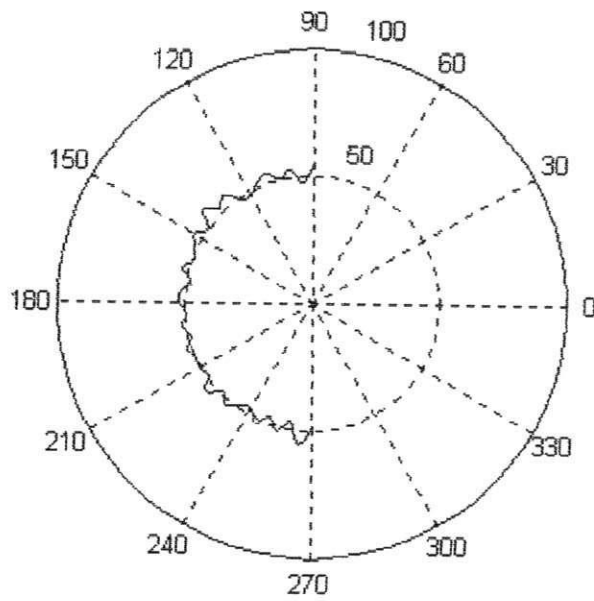


Figura 4.2 – Diagrama de irradiação para o arranjo a uma distância de 6 mm situação acoplada

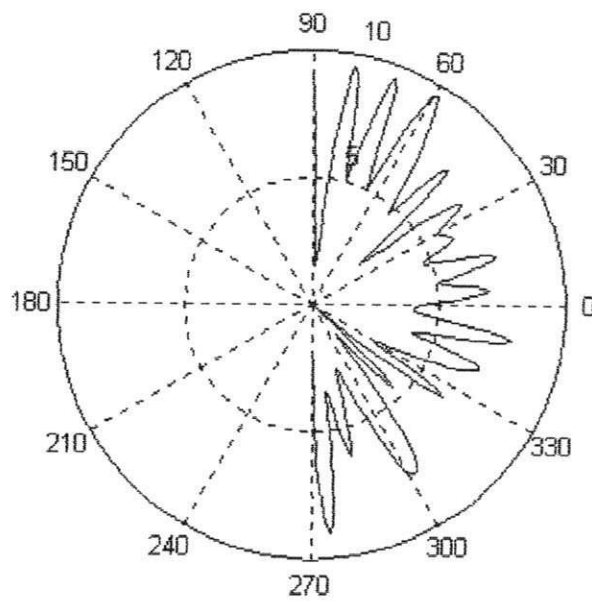


Figura 4.3 – Diagrama de irradiação de diferença para 6 mm situação acoplada.

Distância entre as antenas do arranjo = 50 mm

Tabela 4.2 – Potência recebida para $d= 50$ mm

Ângulos em (°)	Potência recebida em (dB)
-90	-57.0
-85	-55.0
-80	-55.5
-75	-60.4
-70	-55.0
-65	-69.0
-60	-56.0
-55	-63.2
-50	-57.0
-45	-53.2
-40	-61.6
-35	-56.0
-30	-52.4
-25	-51.2
-20	-49.5
-15	-48.5
-10	-49.0
-5	-46.5
0	-49.0
5	-47.5
10	-45.5
15	-48.0
20	-45.5
25	-49.5
30	-46.0
35	-46.5
40	-48.0
45	-46.5
50	-47.0
55	-50.4
60	-45.0
65	-56.5
70	-46.0
75	-55.5
80	-45.5
85	-59.0
90	-46.5

Essa distância corresponde ao primeiro ponto nulo na curva de resistência mútua do arranjo, com resistência mútua nula deveria ocorrer desacoplamento.

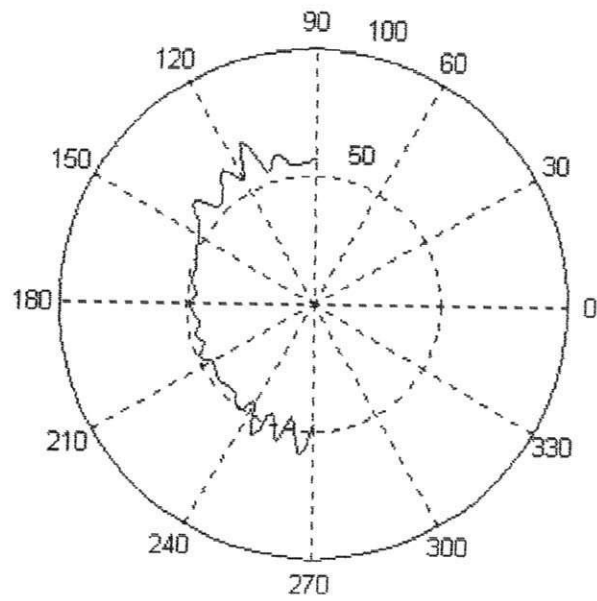


Figura 4.4 – Diagrama de irradiação para o arranjo a uma distância de 50 mm situação desacoplada.

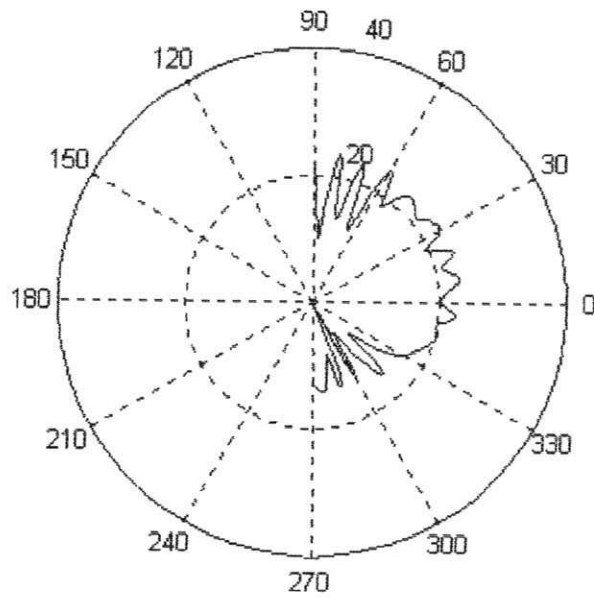


Figura 4.5 – Diagrama de irradiação de diferença a uma distância de 50 mm situação desacoplada

Distância entre as antenas do arranjo = 80,3 mm

Tabela 4.3 – Potência recebida para $d= 80.3$ mm

Ângulos em (°)	Potência recebida em (dB)
-90	-47.0
-85	-47.5
-80	-53.0
-75	-48.0
-70	-52.8
-65	-52.4
-60	-50.2
-55	-55.0
-50	-50.6
-45	-64.5
-40	-56.0
-35	-56.5
-30	-65.0
-25	-50.2
-20	-55.5
-15	-53.6
-10	-49.0
-5	-48.5
0	-46.5
5	-47.0
10	-46.5
15	-44.5
20	-50.4
25	-47.5
30	-50.4
35	-48.0
40	-49.5
45	-50.0
50	-53.6
55	-51.2
60	-61.0
65	-51.4
70	-50.8
75	-56.0
80	-54.5
85	-47.5
90	-52.8

Essa distância corresponde a um ponto de máximo na curva de resistência mútua do arranjo ocorreria acoplamento.

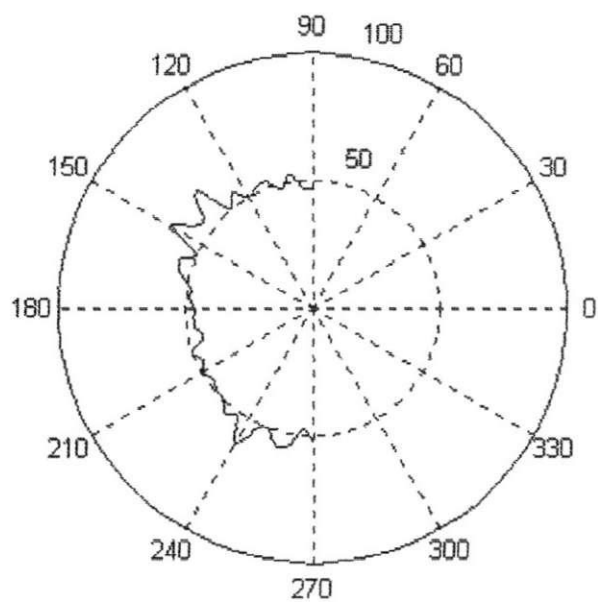


Figura 4.6 – Diagrama de irradiação para o arranjo a uma distância de 80,3 mm situação acoplada

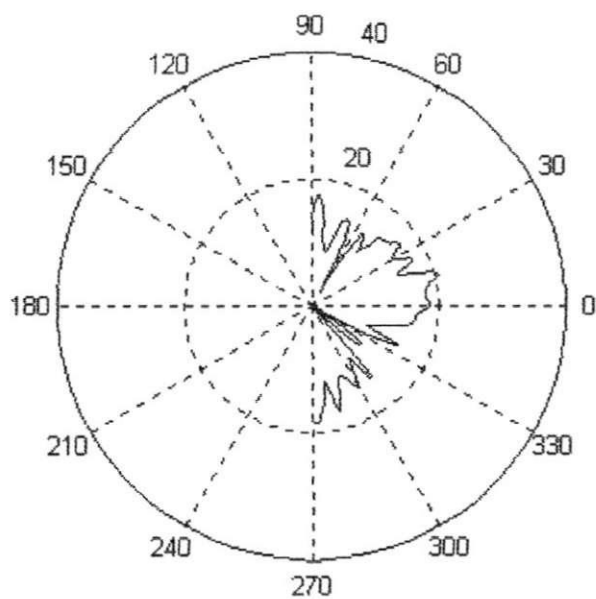


Figura 4.7 – Diagrama de irradiação de diferença para uma distância de 80,3 mm situação acoplada

Distância entre as antenas do arranjo = 116,0 mm

Tabela 4.4 – Potência recebida para $d= 116$ mm

Ângulos em (°)	Potência recebida em (dB)
-90	-48.0
-85	-49.0
-80	-47.5
-75	-50.2
-70	-48.5
-65	-49.0
-60	-48.0
-55	-47.5
-50	-51.0
-45	-50.8
-40	-51.2
-35	-51.8
-30	-50.2
-25	-58.0
-20	-51.8
-15	-54.5
-10	-53.6
-5	-50.4
0	-46.5
5	-48.5
10	-45.0
15	-46.0
20	-50.8
25	-50.4
30	-51.0
35	-51.2
40	-53.0
45	-53.0
50	-53.4
55	-51.2
60	-50.8
65	-48.5
70	-51.0
75	-47.0
80	-53.0
85	-46.5
90	-54.5

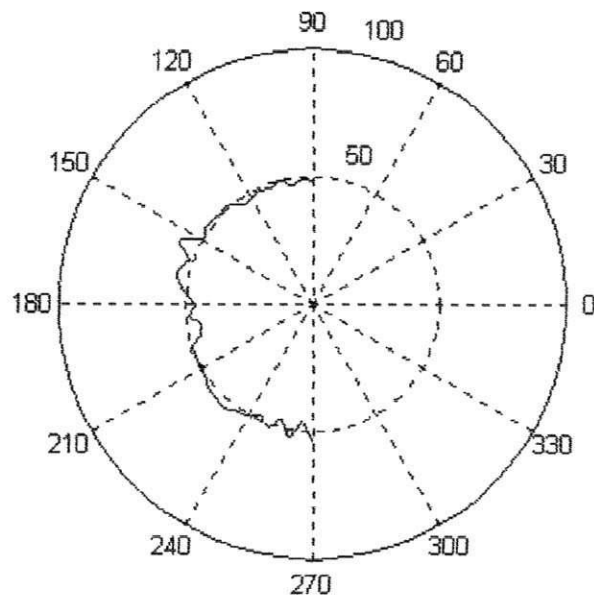


Figura 4.8 – Diagrama de irradiação para o arranjo a uma distância de 116 mm situação desacoplada

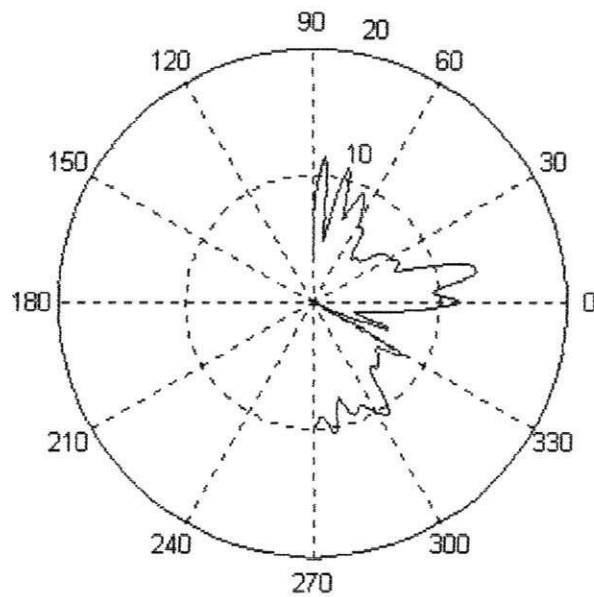


Figura 4.9 – Diagrama de irradiação de diferença para uma distância de 116 mm situação acoplada

Para fins de comparação também foi levantado o diagrama de irradiação para um único monopólo. Uma das antenas monopólo do arranjo foi retirada de sua posição sobre o plano de terra. Restando apenas uma antena que foi posicionada no centro do plano de terra. Os valores obtidos desta etapa estão apresentados na tabela 4.5 e nas figuras 4.10.e 4.11.

Tabela 4.5 – Potência recebida para um único monopólo.

Ângulos em (°)	Potência recebida em (dB)
-90	-59.0
-85	-58.0
-80	-57.0
-75	-58.5
-70	-58.0
-65	-58.0
-60	-56.5
-55	-58.0
-50	-66.5
-45	-56.0
-40	-65.0
-35	-58.5
-30	-62.2
-25	-57.5
-20	-59.0
-15	-60.6
-10	-56.0
-5	-56.0
0	-58.0
5	-55.5
10	-57.0
15	-56.5
20	-57.0
25	-59.5
30	-58.0
35	-56.0
40	-62.8
45	-55.5
50	-57.0
55	-62.8
60	-53.0
65	-62.8
70	-54.5
75	-59.5
80	-53.6
85	-59.0
90	-55.0

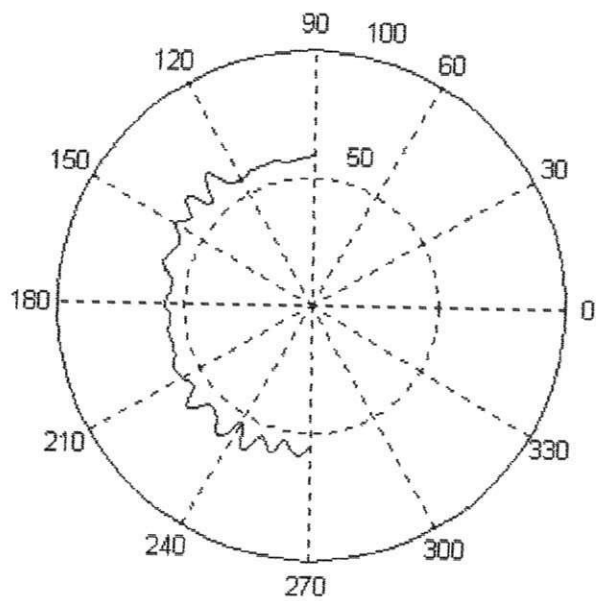


Figura 4.10 – Diagrama de irradiação para uma única antena monopólo no centro do plano de terra

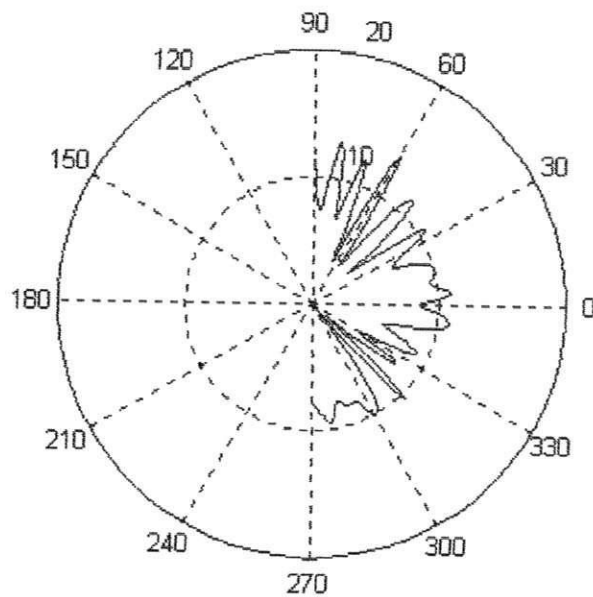


Figura 4.11 – Diagrama de irradiação de diferença para uma antena monopólo.

Conclusão

O propósito deste trabalho de conclusão de curso foi em primeiro lugar comprovar a correlação existente entre a impedância mútua e o campo irradiado por um arranjo de antenas monopólo sobre plano de terra. Para alcançar esse objetivo foi necessário estudar algumas das configurações de arranjos de antenas para compreender o conceito de impedância mútua e para calcular as impedâncias mútuas destas configurações.

A obtenção de resultados teóricos configurou-se uma tarefa extra na busca do objetivo central. E a realização desta etapa consumiu bastante tempo, contudo, foi plenamente satisfatória.

A etapa experimental que se constituiu o objetivo principal do trabalho também foi realizada. De modo que foi possível medir o campo elétrico irradiado pelo arranjo em Laboratório a partir de um sistema criado e implementado no decorrer deste trabalho. Com isso foi possível obter o diagrama de irradiação para algumas distâncias consideradas relevantes. Contudo os resultados não foram claros. Não foi possível uma caracterização precisa do efeito sofrido pelo campo irradiado devido à variação da impedância mútua.

Os resultados experimentais mostram que com a variação da distância entre as antenas do arranjo ocorre também uma variação do diagrama de irradiação, mas os resultados não deixam claro o papel desempenhado pela impedância mútua.

O fato de haver reflexões no ambiente do laboratório, os descasamentos e imperfeições nos equipamentos, e no próprio sistema do arranjo. Podem ter mascarado os resultados obtidos.

A escolha do diagrama de irradiação como parâmetro de comparação pode também ter contribuído para a não caracterização da correlação entre impedância mutua e o efeito de acoplamento. Todos estes fatores certamente influenciaram nos resultados.

Fica como sugestão a realização de novos experimentos com o sistema de arranjo construído utilizando equipamentos mais precisos ou a utilização de outro parâmetro para a caracterização mais precisa do efeito de acoplamento mútuo entre as antenas.

Bibliografia Consultada.

(1) Stutzman, Warren L., Thiele, Gary A. "Antenna Theory and Design". New York: John Wiley and Sons, 1981.

(2) Kraus, John D. "Antennas", tradução de Paulo Antonio Mariotto. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

(3) Handbook of electromagnetic compatibility/ edited by Reinaldo Perez, Academic Press, A division of Harcourt Brace & Company, 1995

(4) Fleming, Wilton J., Galvão, Benjamim S. M. C. "Projetos de Alta Freqüência e Antenas Auxiliados por Microcomputador", São Paulo, McGraw-Hill, 1987.

(5) Lee, K.F. "Principles of Aantenna Theory", John Wiley & Sons, 1984

(6) Tai, C.T. "Coupled Antenna", proc.IRE, 36,487-500, 1948

(7) G.H. Brown e R. King, "High Frequency Models in Antenna Investigations" in Proc.IRE., vol.22, abril 1934, pp.457-480.

(8) Indulis e Chelkuroff

ANEXO

PCC1

```
function fig = PCC1()  
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics object  
% and its children. Note that handle values may change when these objects  
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to  
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.  
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.  
%  
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB  
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.  
%  
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this  
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by  
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor tools  
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved as  
% FIG-files.
```

```
load PCC1
```

```
h0 = figure('Color',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'Colormap',mat0, ...  
    'FileName','C:\MATLABR11\work\PCC1.m', ...  
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...  
    'PaperUnits','points', ...  
    'Position',[1 29 800 534], ...  
    'Tag','Fig1', ...  
    'ToolBar','none');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[168.75 352.5 321 21], ...  
    'String','Universidade Federal de Campina Grande', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText1');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[167.625 315.75 323.25 21], ...  
    'String','Centro de Ciências e Tecnologia', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText1');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[168.75 279.75 321 21], ...  
    'String','Departamento de Engenharia Elétrica', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText1');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[168.75 207.75 321 21], ...  
    'String','Aluna: Ellayne Medeiros da Silva Matr.: 29721173', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText1');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...
```

```

'Position',[168.75 171.75 321 21], ...
'String','Orientador: Glauco Fontgalland', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[168.75 243.75 321 21], ...
'String','Projeto de Conclusão de Curso', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat1, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[123.75 85.25 332.25 22.5], ...
'String','Monopolos perpendiculares ao plano de Terra', ...
'Style','radiobutton', ...
'Tag','R1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat2, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[123.75 52.75 332.25 22.5], ...
'String','Dipolo perpendicular ao plano de Terra', ...
'Style','radiobutton', ...
'Tag','R2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat3, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[123.75 20.25 332.25 22.5], ...
'String','Dipolo paralelo ao plano de Terra', ...
'Style','radiobutton', ...
'Tag','R3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[120.75 115.5 357.75 18], ...
'String','Escolha qual Caso Analisar', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.75 145.5 598.5 9], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame1');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'Box','on', ...
'CameraUpVector',[0 -1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[1 1 1], ...
'ColorOrder',mat4, ...
'Layer','top', ...
'Position',[0.03375 0.5842696629213483 0.2125 0.3445692883895131], ...

```

```

'Tag','Axes1', ...
'Visible','off', ...
'XColor',[0 0 0], ...
'XLim',[0.5 342.5], ...
'XLimMode','manual', ...
'YColor',[0 0 0], ...
'YDir','reverse', ...
'YLim',[0.5 382.5], ...
'YLimMode','manual', ...
'ZColor',[0 0 0]);
h2 = image('Parent',h1, ...
'CDATA',mat5, ...
'Tag','Axes1Image1', ...
'XData',[1 342], ...
'YData',[1 382]);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[170.4881656804734 432.5983606557377 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',mat6, ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Position',[-56.16272189349113 -76.73497267759558 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',mat7, ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
if nargout > 0, fig = h0; end

```

SELEÇÃO

```
function selecao(num)
if isequal(num,1)
    set(findobj(1,'Tag','R2'),'Value',0);
    set(findobj(1,'Tag','R3'),'Value',0);
    end
if isequal(num,2)
    set(findobj(1,'Tag','R1'),'Value',0);
    set(findobj(1,'Tag','R3'),'Value',0);
    end
if isequal(num,3)
    set(findobj(1,'Tag','R1'),'Value',0);
    set(findobj(1,'Tag','R2'),'Value',0);
end
close
```

PCC2

```
function fig = PCC2()
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics object
% and its children. Note that handle values may change when these objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved as
% FIG-files.

load PCC2

h0 = figure('Color',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\MATLABR11\work\PCC2.m', ...
    'Name','Antenas Monopolo sobre Plano de Terra', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[1 29 800 534], ...
    'Tag','Fig2', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[1.5 289.5 598.5 9], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[133.5 369.75 296.25 27.75], ...
    'String','Entrada de Dados', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[40.5 355.875 300 24], ...
    'String','Digite o valor da Frequência (GHz) : ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[41.25 329.25 300 24], ...
    'String','Digite a distância máxima entre as antenas (m) :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Callback',mat1, ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[399.25 303 22.5 23.25], ...
```



```

    'String','OK', ...
    'Tag','b4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Callback',mat2, ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[400 329.625 22.5 23.25], ...
    'String','OK', ...
    'Tag','b3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Callback',mat3, ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[399 357.75 22.5 23.25], ...
    'String','OK', ...
    'Tag','b2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[342.75 302.25 54.75 23.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','passo');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[342 329.25 54.75 23.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','dist');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[341.25 357 54.75 23.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','f');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[40.5 302.625 300 24], ...
    'String','Digite o valor do passo de cálculo : ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[71.25 255 197.25 31.5], ...
    'String','Resultados', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Callback',mat4, ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...

```

```

'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 219 108 30], ...
'String','Resistência', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat5, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 186 108 30], ...
'String','Reatância', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat6, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 153 108 30], ...
'String','Módulo', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat7, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 120 108 30], ...
'String','Fase', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback',mat8, ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[439.5 322.5 122.25 39.75], ...
'String','CALCULAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback','CLOSE ALL;', ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 12.75 122.25 39.75], ...
'String','FECHAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback',mat9, ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 59.25 122.25 39.75], ...
'String','Gráfico Polar', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'Units','pixels', ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[1 1 1], ...
'ColorOrder',mat10, ...
'NextPlot','add', ...

```

```

'Position',[301 58 445 276], ...
'Tag','Axes1', ...
'XColor',[0 0 0], ...
'XGrid','on', ...
'YColor',[0 0 0], ...
'YGrid','on', ...
'ZColor',[0 0 0]);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.4977477477477477 -0.08727272727272739 9.160254037844386], ...
'String','Comprimentos de Onda', ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[-0.06531531531531531 0.4945454545454544 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Position',[-0.677927927927928 1.727272727272727 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',mat11, ...
'String','Antenas Monopolo sobre plano de Terra', ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
if nargout > 0, fig = h0; end

```

PRO1

```
%UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
%DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
%PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO - PERÍODO 2003.2
%ALUNA: ELLAYNE MEDEIROS DA SILVA
%ORIENTADOR: GLAUCO FONTGALLAND
```

```
format short;
```

```
%DEFININDO AS CONSTANTES E AS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS
```

```
%c=velocidade da luz
c=3E8;
%l=comprimento de onda
l=c/(F*1e9);
%a=comprimento do monopolo
a=(1/4)*l;
%s=raio da antena
%G=beta
G=2*pi*a/l;
%ang=90;
%G=ang*pi/180;
k=2*pi/l;
```

```
nmax=Dist/Passo;%sistema de contagem, maior valor a ser contado antes do fim do processo
```

```
for n=2:nmax
```

```
    d(nmax,nmax)=0;%definindo a matriz como matriz nula para iniciar os cálculos.
    d(n,1)=d(n-1,1)+Passo;%mecanismo de incremento da distância programa
    x(n,1)=d(n,1)/l;%distância dividida pelo comprimento de onda
    a1=sqrt(d(n,1)^2+a^2);
    a2=sqrt(d(n,1)^2+(2*a)^2);
    a3=2*G;
    a4=cos(a3);
    a5=sin(a3);
    a6=k*d(n,1);
    a7=cosint(a6);
    a8=sinint(a6);
    a9=cos(G);
    a10=sin(G);
    a11=a9*a9;
    a12=a10*a10;
    b1=k*(a1-a);
    b2=k*(a1+a);
    b3=k*(a2-2*a);
    b4=k*(a2+2*a);
```

```
%^^^^^^^^^^^^^^^^calculando a resistencia mutua^^^^^^^^^^^^^^^^
```

```
rm(1,1)=36.55;%definição do valor inicial
rm(n,1)=(15/a12)*(2*(2+a4)*a7-4*a11*(cosint(b1)+cosint(b2))+...
    a4*(cosint(b3)+cosint(b4))+a5*(sinint(b4)-sinint(b3)-...
    2*sinint(b2)+2*sinint(b1));
```

```
%^^^^^^^^^^^^^^^^calculando a reatancia mutua^^^^^^^^^^^^^^^^
```

```
xm(1,1)=21.255;%definição do valor inicial
xm(n,1)=(15/a12)*(-2*(2+a4)*a8+4*a11*(sinint(b1)+sinint(b2))-...
    a4*(sinint(b3)+sinint(b4))+a5*(cosint(b4)-cosint(b3)-...
    2*cosint(b2)+2*cosint(b1));
```

```
%^^^^^^^^^^^^^^^^CALCULANDO MÓDULO E FASE^^^^^^^^^^^^^^^^
```

```
zm(n,1)=rm(n,1)+i*xm(n,1);
modulo(1,1)=42.30;%definição do valor inicial
modulo(n,1)=abs(zm(n,1));
fase(1,1)=30.17*pi/180;%definição do valor inicial
fase(n,1)=angle(zm(n,1));
i0=1;r0=0.84;rp=36.6;q=4.4248;d=.006;
E=(-60*j*i0/r0)*(1-(zm/rp)*cos((-2*pi*d/l)*cos(q))+((zm/rp)*sin((-2*pi*d/l)*cos(q))));
```

```
end
return;
```

POLAR 1

```
close  
polarplot;  
p5=polar(fase(1:nmax,1),modulo(1:nmax,1));  
return
```

PCC3

```
function fig = PCC3()
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics object
% and its children. Note that handle values may change when these objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved as
% FIG-files.

load PCC3

h0 = figure('Units','points', ...
    'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\MATLABR11\work\PCC3.m', ...
    'Name','Dipolo Perpendicular e acima de Plano de Terra', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[0 21 600 400.5], ...
    'Tag','Fig3', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[133.5 369.75 296.25 27.75], ...
    'String','Entrada de Dados', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h2 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[40.5 302.625 300 24], ...
    'String','Digite o valor do passo de cálculo : ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h3 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[41.25 329.25 300 24], ...
    'String','Digite a distância máxima entre as antenas (m) : ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h4 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',15, ...
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[40.5 355.875 300 24], ...
    'String','Digite o valor da Frequência (GHz) : ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h5 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',12, ...
```

```
'ListboxTop',0, ...
'Position',[341.25 357 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','f2');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[342 329.25 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','smax');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[342.75 302.25 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','passo2');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback','mat1', ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 59.25 122.25 39.75], ...
'String','Gráfico Polar', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback','CLOSE ALL;', ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 12.75 122.25 39.75], ...
'String','FECHAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback','mat2', ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[439.5 322.5 122.25 39.75], ...
'String','CALCULAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback','mat3', ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[399 357.75 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','m2');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback','mat4', ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[400 329.625 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','m3');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback','mat5', ...
'FontSize',15, ...
```

```

'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[399.25 303 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','m4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat6, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 120 108 30], ...
'String','Fase', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat7, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 153 108 30], ...
'String','Módulo', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat8, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 186 108 30], ...
'String','Reatância', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat9, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 219 108 30], ...
'String','Resistência', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[66.75 254.25 197.25 31.5], ...
'String','Resultados', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[1.5 289.5 598.5 9], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame1');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'Units','pixels', ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[1 1 1], ...
'ColorOrder',mat10, ...

```



```

'NextPlot','add', ...
'Position',[301 58 445 276], ...
'Tag','Axes1', ...
'XColor',[0 0 0], ...
'XGrid','on', ...
'YColor',[0 0 0], ...
'YGrid','on', ...
'ZColor',[0 0 0]);
h2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[0.4977477477477477 -0.08727272727272739 9.160254037844386], ...
'String','Comprimentos de Onda', ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[-0.06531531531531531 0.4945454545454544 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[-0.677927927927928 1.727272727272727 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',mat11, ...
'String','Dipolo perpendicular e acima de plano de Terra', ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
if nargout > 0, fig = h0; end

```

PRO2

%UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
%DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
%PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO - PERÍODO 2003.2
%ALUNA: ELLAYNE MEDEIROS DA SILVA
%ORIENTADOR: GLAUCO FONTGALLAND

format short;

%DEFININDO AS CONSTANTES E AS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

c=3E8;%c=velocidade da luz
l=c/(F2*1e9);%l=comprimento de onda
a=(1/2)*l;%a=comprimento do monopolo
%s=raio da antena
G=2*pi/l;%G=beta

nmax=Smax/Passo2;%valor máximo do contador

for n=2:nmax

n

s(1,1)=0;

s(n,1)=s(n-1,1)+Passo2;%separação entre o plano de terra e a antena

h(n,1)=s(n,1)+a;%Altura da antena com relação ao plano de terra

sl(n,1)=s(n,1)/l;%separação dividida pelo comprimento de onda

%^^^^^^^^^^^^^^^^calculando a resistencia mutua^^^^^^^^^^^^^^^^

rm2(1,1)=26.41;%definição do valor inicial

rm2(n,1)=(-15*cos(G*h(n,1)))*(-2*cosint(2*G*h(n,1))+cosint(2*G*(h(n,1)-a))+...
cosint(2*G*(h(n,1)+a))-log((h(n,1)^2-a^2)/h(n,1)^2))+15*sin(G*h(n,1))*...
(2*sinint(2*G*h(n,1))-sinint(2*G*(h(n,1)-a))-sinint(2*G*(h(n,1)+a)));

%^^^^^^^^^^^^^^^^calculando a reatancia mutua^^^^^^^^^^^^^^^^

xm2(1,1)=20.15;%definição do valor inicial

xm2(n,1)=(-15*cos(G*h(n,1)))*(2*sinint(2*G*h(n,1))-sinint(2*G*(h(n,1)-a))-...
sinint(2*G*(h(n,1)+a))+15*sin(G*h(n,1))*(2*cosint(2*G*h(n,1))-...
cosint(2*G*(h(n,1)-a))-cosint(2*G*(h(n,1)+a))-log((h(n,1)^2-a^2)/h(n,1)^2));

%^^^^^^^^^^^^^^^^CALCULANDO MÓDULO E FASE^^^^^^^^^^^^^^^^

zm2(n,1)=rm2(n,1)+i*xm2(n,1);

modulo2(1,1)=33.20;%definição do valor inicial

modulo2(n,1)=abs(zm2(n,1));

fase2(1,1)=37.33*pi/180;%definição do valor inicial

fase2(n,1)=angle(zm2(n,1));

end

return;

POLAR 2

```
close  
polarplot;  
p6=polar(fase2(1:nmax,1),modulo2(1:nmax,1));  
return
```

PCC4

```
function fig = PCC4()  
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics object  
% and its children. Note that handle values may change when these objects  
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to  
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.  
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.  
%  
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB  
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.  
%  
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this  
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by  
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor tools  
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved as  
% FIG-files.
```

```
load PCC4
```

```
h0 = figure('Units','points', ...  
    'Color',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'Colormap',mat0, ...  
    'FileName','C:\MATLABR11\work\PCC4.m', ...  
    'Name','Dipolo paralelo ao plano de Terra', ...  
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...  
    'PaperUnits','points', ...  
    'Position',[0 21 600 400.5], ...  
    'Tag','Fig2', ...  
    'ToolBar','none');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[133.5 369.75 296.25 27.75], ...  
    'String','Entrada de Dados', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText1');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[40.5 302.625 300 24], ...  
    'String','Digite o valor do passo de cálculo : ', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText2');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[41.25 329.25 300 24], ...  
    'String','Digite a distância máxima entre as antenas (m) :', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText2');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...  
    'FontSize',15, ...  
    'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[40.5 355.875 300 24], ...  
    'String','Digite o valor da Frequência (GHz) : ', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','StaticText2');  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','points', ...  
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...  
    'FontSize',12, ...
```

```

'ListboxTop',0, ...
'Position',[341.25 357 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','f3');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[342 329.25 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','spmax');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[342.75 302.25 54.75 23.25], ...
'Style','edit', ...
'Tag','passo3');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback',mat1, ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 59.25 122.25 39.75], ...
'String','Gráfico Polar', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback','CLOSE ALL;', ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[6.75 12.75 122.25 39.75], ...
'String','FECHAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'Callback',mat2, ...
'FontSize',20, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[439.5 322.5 122.25 39.75], ...
'String','CALCULAR', ...
'Tag','Pushbutton1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat3, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[399 357.75 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','p2');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat4, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[400 329.625 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','p3');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat5, ...
'FontSize',15, ...

```

```

'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[399.25 303 22.5 23.25], ...
'String','OK', ...
'Tag','p4');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat6, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 120 108 30], ...
'String','Fase', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s4');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat7, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[14.25 153 108 30], ...
'String','Módulo', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s3');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat8, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 186 108 30], ...
'String','Reatância', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s2');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'Callback',mat9, ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[15 219 108 30], ...
'String','Resistência', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','s1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'FontSize',15, ...
'ForegroundColor',[0 0.501960784313725 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[61.5 252.75 197.25 31.5], ...
'String','Resultados', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[1.5 289.5 598.5 9], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame1');
1 = axes('Parent',h0, ...
'Units','pixels', ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[1 1 1], ...
'ColorOrder',mat10, ...

```

```

'NextPlot','add', ...
'Position',[301 58 445 276], ...
'Tag','Axes1', ...
'XColor',[0 0 0], ...
'XGrid','on', ...
'YColor',[0 0 0], ...
'YGrid','on', ...
'ZColor',[0 0 0]);
2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[0.4977477477477477 -0.08727272727272739 9.160254037844386], ...
'String','Comprimentos de Onda', ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap');
et(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[-0.06531531531531531 0.4945454545454544 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline');
et(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',[-0.677927927927928 1.727272727272727 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
et(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
2 = text('Parent',h1, ...
'ButtonDownFcn','ctlpanel SelectMoveResize', ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Interruptible','off', ...
'Position',mat11, ...
'String','Dipolo paralelo ao plano de Terra', ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom');
et(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
if nargin > 0, fig = h0; end

```

DIAGRAMA 1

NIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
ENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
EPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LUNA: ELLAYNE MEDEIROS DA SILVA MATR.: 29721173
RIENTADOR: GLAUCO FONTGALLAND

ROGRAMA DIAGRAMA1
ESENHA OS GRÁFICOS POLARES QUE NESTE CASO REPRESENTAM
S DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO DO ARRANJO DE ANTENAS

ROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EFININDO A VARIÁVEL THETA (ÂNGULO)

```
aul=linspace(-90,90,37)';  
au2=linspace(-90,90,181)';  
ta1=grau1*pi/180;  
ta2=grau2*pi/180;
```

EFININDO A VARIÁVEL RÔ (MÓDULO)

ETOR COM OS VALORES MEDIDOS DA POTENCIA PARA A DISTÂNCIA DE 6 mm

```
=[-54.5 -47.5 -53.0 -50.4 -53.8 -52.2 -49.0 -49.5 -55.0 -52.0 -56.5 -50.2 ...  
  -53.6 -51.0 -49.5 -52.4 -48.5 -52.0 -52.2 -49.5 -51.4 -49.0 -51.8 -50.4 ...  
  -50.8 -49.5 -54.0 -49.0 -51.8 -49.0 -47.0 -51.4 -47.0 -51.4 -47.0 -55.0 -47.5];  
=min(d1);  
=(d1-n1)';  
li=interp1(teta1,d1,teta2,'cubic');%usando interpolação cúbica  
i=interp1(teta1,p1,teta2,'cubic');
```

```
%figura 1 apresenta os diagramas de irradiação interpolados para d1  
figure(1);title('diagramas para d= 6mm sistema acoplado')  
subplot(1,2,1);polard1=polar(teta2,pdli);  
subplot(1,2,2);polarp1=polar(teta2,pli);
```

ETOR COM OS VALORES MEDIDOS DA POTENCIA PARA A DISTÂNCIA DE 50 mm

```
=[-57.0 -55.0 -55.5 -60.4 -55.0 -69.0 -56.0 -63.2 -57.0 -53.2 -61.6 -56.0 ...  
  -52.4 -51.2 -49.5 -48.5 -49.0 -46.5 -49.0 -47.5 -45.5 -48.0 -45.5 -49.5 ...  
  -46.0 -46.5 -48.0 -46.5 -47.0 -50.4 -45.0 -56.5 -46.0 -55.5 -45.5 -59.0 -46.5];  
=min(d2);  
=(d2-n2)';  
l2i=interp1(teta1,d2,teta2,'cubic');  
i=interp1(teta1,p2,teta2,'cubic');
```

```
%figura 2 apresenta os diagramas de irradiação interpolados para d2  
figure(2);title('diagramas para d= 50mm sistema desacoplado')  
subplot(1,2,1);polard2=polar(teta2,pd2i);  
subplot(1,2,2);polarp2=polar(teta2,p2i);
```

ETOR COM OS VALORES MEDIDOS DA POTENCIA PARA A DISTÂNCIA DE 80,3 mm

```
=[-47.0 -47.5 -53.0 -48.0 -52.8 -52.4 -50.2 -55.0 -50.6 -64.5 -56.0 -56.5 ...  
  -65.0 -50.2 -55.5 -53.6 -49.0 -48.5 -46.5 -47.0 -46.5 -44.5 -50.4 -47.5 ...  
  -50.4 -48.0 -49.5 -50.0 -53.6 -51.2 -61.0 -51.4 -50.8 -56.0 -54.5 -47.5 -52.8];  
=min(d3);  
=(d3-n3)';  
l3i=interp1(teta1,d3,teta2,'cubic');  
i=interp1(teta1,p3,teta2,'cubic');
```

```
%figura 3 apresenta os diagramas de irradiação interpolados para d3  
figure(3);title('diagramas para d= 80,3mm sistema acoplado')  
subplot(1,2,1);polard3=polar(teta2,pd3i);  
subplot(1,2,2);polarp3=polar(teta2,p3i);
```

ETOR COM OS VALORES MEDIDOS DA POTENCIA PARA A DISTÂNCIA DE 116 mm

```
=[-48.0 -49.0 -47.5 -50.2 -48.5 -49.0 -48.0 -47.5 -51.0 -50.8 -51.2 -51.8 ...  
  -50.2 -58.0 -51.8 -54.5 -53.6 -50.4 -46.5 -48.5 -45.0 -46.0 -50.8 -50.4 ...  
  -51.0 -51.2 -53.0 -53.0 -53.4 -51.2 -50.8 -48.5 -51.0 -47.0 -53.0 -46.5 -54.5];  
=min(d4);  
=(d4-n4)';  
l4i=interp1(teta1,d4,teta2,'cubic');  
i=interp1(teta1,p4,teta2,'cubic');
```

```
%figura 4 apresenta os diagramas de irradiação interpolados para d4
```



```

figure(4);title('diagramas para d= 116mm sistema desacoplado')
subplot(1,2,1);polard4=polar(teta2,pd4i);
subplot(1,2,2);polarp4=polar(teta2,p4i);

ETOR COM OS VALORES MEDIDOS DA POTENCIA PARA um monopolo no centro do plano de terra
d5=[-59.0 -58.0 -57.0 -58.5 -58.0 -58.0 -56.5 -58.0 -66.5 -56.0 -65.0 -58.5 ...
-62.2 -57.5 -59.0 -60.6 -56.0 -56.0 -58.0 -55.5 -57.0 -56.5 -57.0 -59.5 ...
-58.0 -56.0 -62.8 -55.5 -57.0 -62.8 -53.0 -62.8 -54.5 -59.5 -53.6 -59.0 -55.0];
n5=min(d5);
p5=(d5-n5)';
pd5i=interp1(teta1,d5,teta2,'cubic');
p4i=interp1(teta1,p5,teta2,'cubic');

%figura 5 apresenta os diagramas de irradiação interpolados para d5
figure(5);title('diagramas do monopolo de referência')
subplot(1,2,1);polard5=polar(teta2,pd5i);
subplot(1,2,2);polarp5=polar(teta2,p5i);

```