

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**AMBIENTE DE CONCEPÇÃO DE DISPOSITIVOS DE
MICROONDAS**

CARLOS EVANGELISTA DA SILVA JUNIOR

ORIENTADOR: HUMBERTO ABDALLA JUNIOR

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

BRASÍLIA/DF: JULHO/2003

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AMBIENTE DE CONCEPÇÃO DE DISPOSITIVOS DE
MICROONDAS**

CARLOS EVANGELISTA DA SILVA JUNIOR

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

APROVADA POR:

**HUMBERTO ABDALLA JUNIOR, Docteur (ENE/UnB)
(ORIENTADOR)**

**LUÍS AFONSO BERMUDEZ, Docteur(ENE/UnB)
(EXAMINADOR)**

**PAULO HENRIQUE PORTELA DE CARVALHO, Docteur(ENE/UnB)
(EXAMINADOR)**

BRASÍLIA, 11 DE JULHO

DEDICATÓRIA:

Dedico este trabalho a minha família, que me ensinou a conquistar, com estudo e responsabilidade, meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo apoio moral e emocional que tanto precisei ao longo do curso.

A meu orientador e professor Humberto Abdalla Jr., pela orientação e apoio ao longo de mais de dois anos de trabalho e convivência que agora se consolidam no projeto final de graduação.

Ao professor Paulo Carvalho pela participação nos videostreamings e na banca examinadora; e pela colaboração na caracterização do acoplador realizado.

Ao professor Luis Afonso Bermudez pela participação nos videostreamings e na banca examinadora.

A todos os professores do curso do Departamento de Engenharia Elétrica pela contribuição na minha formação acadêmica.

Aos meus amigos do NMI Flavio Lima, Ivan e Marco Antônio pela paciência e pelo companherismo.

A Paulo, Flavio Elias, Maeda e Catia pelo apoio na gravação dos videostreamings.

Aos técnicos do GAT pela colaboração na confecção do acoplador realizado.

RESUMO

O presente trabalho conciste na descrição de um ambiente de concepção de dispositivos de microondas. Este ambiente foi produzido em software de autoria, neste caso utilizou-se o Authorware da Macromidia. Recursos multimidia como aulas em videostreaming e livros eletrônicos auxiliam o aprendizado de conceitos relacionados a dispositivos de microondas. Softwares de análise e síntese tem a finalidade de auxiliar o projeto destes dispositivos. O ambiente também contém fotos de dispositivos realizados e um exemplo de projeto de um acoplador.

ABSTRACT

This work describe a environment of conception of microwave devices. This environment was produced in Macromedia Authorware. Multimidia means, like videostreaming and eletronic books(e-books), aid the learning. Analyzes and synthesis softwares aid the project of microwave devices. The environment include photos of realized devices and a example of coupler project.

ÍNDICE:

Capítulo	Página
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	1
1.2. ESCOPO DO TRABALHO	1
2. ESTRUTURA MULTIMÍDIA	2
2.1. INTRODUÇÃO	2
2.2. LIVROS ELETRÔNICOS INTERATIVOS	4
2.3. GALERIA DE FOTOS.....	5
3. VIDEOSTREAMING.....	6
3.1. CONCEITO E VIDEOSTREAMINGS GRAVADOS.....	6
3.2. EQUIPAMENTO.....	7
4. SOFTWARES DE ANÁLISE E SÍNTESE.....	9
4.1. INTRODUÇÃO.....	9
4.2. ARQUITETURA DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO.....	9
4.3. SOFTWARE SOBRE AMPLIFICADORES.....	10
4.4. SOFTWARE SOBRE FILTROS DE MICROONDAS.....	12
4.5. SOFTWARE SOBRE MULTIPLICADORES.....	15
4.6. SOFTWARE SOBRE MULTIPLEXADORES.....	17
4.7. SOFTWARE SOBRE OSCILADORES.....	18
4.8. APPLET SOBRE LINHAS PLANARES.....	20
4.9. APPLET DE PROJETO DE ACOPLADORES.....	21
5. A TOOLBOX.....	25
5.1. INTRODUÇÃO.....	25
5.2. APPLET SOBRE SÉRIE DE FOURIER.....	25
5.3. APPLET SOBRE CONVOLUÇÃO.....	26
5.4. APPLET SOBRE MATRIZES DE MICROONDAS.....	27
5.5. APPLET SOBRE PERDAS POR INSERÇÃO.....	30
5.6. CALCULADORAS GRÁFICAS.....	30

5.7. SOFTWARE ENERGIA E POTÊNCIA.....	31
6. PROJETO DE UM ACOPLADOR.....	32
6.1. DESCRIÇÃO.....	32
6.2. MATERIAL UTILIZADO.....	34
6.3. PROJETO.....	36
7. CONCLUSÕES	38
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

LISTA DE FIGURAS:

Figura2.1	3
Figura2.2.....	3
Figura2.3.....	4
Figura2.4.....	5
Figura3.1.....	6
Figura3.2.....	7
Figura3.3.....	7
Figura4.1.....	9
Figura4.2.....	10
Figura4.3.....	10
Figura4.4.....	11
Figura4.5.....	12
Figura4.6.....	12
Figura4.7.....	15
Figura4.8.....	15
Figura4.9.....	16
Figura4.10.....	16
Figura4.11.....	17
Figura4.12.....	17
Figura4.13.....	18
Figura4.14.....	19
Figura4.15.....	19
Figura4.16.....	20
Figura4.17.....	21
Figura4.18.....	21
Figura5.1.....	26
Figura5.2.....	27
Figura5.3.....	28
Figura5.4.....	29
Figura5.5.....	29

Figura5.6.....	30
Figura5.7.....	31
Figura6.1.....	32
Figura6.2.....	33
Figura6.3.....	35
Figura6.4.....	35
Figura6.5.....	37
Figura6.6.....	37

LISTA DE TABELAS:

Tabela4.1.....	13
Tabela4.2.....	22
Tabela5.1.....	27
Tabela6.1.....	33
Tabela6.2.....	36

1. INTRODUÇÃO

JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

As ferramentas computacionais, ao longo dos anos, têm adquirido crescente importância, tornando-se cada vez mais uma necessidade.

A simulação por software antes da realização do protótipo é uma prática de projeto indispensável em diversas áreas, sobretudo em engenharia.

O uso de recursos multimídia no ensino têm se mostrado uma potente ferramenta, uma vez que, torna o processo de aprendizado algo dinâmico.

Dentro deste contexto, o presente trabalho objetiva descrever um ambiente multimídia e interativo desenvolvido em software de autoria que engloba: softwares de auxílio ao projeto, softwares de auxílio ao aprendizado, aulas em videostreaming e livros eletrônicos.

Enfoque é dado nas ferramentas de análise e síntese aplicadas a dispositivos de microondas. Os dispositivos abordados são: Amplificadores, Multiplicadores, Multiplexadores, Filtros e Acopladores.

ESCOPO DO TRABALHO

Esta dissertação é composta de 6 capítulos. No Capítulo 1 são descritos os objetivos e o escopo do trabalho. No Capítulo 2 descreve-se toda a estrutura multimídia do trabalho, que inclui livros eletrônicos (*i-book*) interativos, videostreaming, softwares de análise e síntese, uma toolbox com softwares gráficos e com animação, galeria de fotos e biblioteca de *white papers*.

O Capítulo 3 versa sobre as aulas de videostreaming gravadas, sobre os temas mais relevantes do trabalho.

O Capítulo 4 dá uma visão geral dos softwares de análise e síntese, e suas principais funcionalidades.

O Capítulo 5 descreve a *toolbox* que é uma coletânea de softwares gráficos e com animação com a finalidade de auxiliar e estimular o aprendizado.

No Capítulo 6 estarão as conclusões acerca do ambiente de concepção de dispositivos de microondas.

2. ESTRUTURA MULTIMÍDIA

INTRODUÇÃO

Existem diversas ferramentas que facilitam a integração de textos, imagens, áudio e vídeo. Estas ferramentas são conhecidas como softwares de autoria. O presente trabalho adota o Macromedia Authorware como software de autoria.

Múltiplos meios(imagem, video, animações,etc) são usados para explicar e ajudar o usuário a visualizar e abstrair os diversos conceitos relacionados aos dispositivos de microondas e comunicações por microondas.

As ferramentas multimidia estão divididas em três metodologias: expositiva, interativa e pratica. A expositiva conciste na apresentação da teoria, dos conceitos e da prática através livros eletrônicos e aulas em videostreaming. A metodologia interativa e prática conciste de softwares de análise e síntese de dispositivos de microondas e de softwares com animação e plotagem de gráficos. Estes são utilizados para auxiliar o usuário a entender os aspectos importantes da realização de dispositivos de microondas.

O conteúdo supracitado, foi integrado e interconectado em Authorware, que provê uma aparência homogenia e pedagógica. Os assuntos foram separados por seções que permitem ao usuário navegar livremente tendo acesso aos softwares, aulas e *i-books* de acordo com o tema escolhido. Na figura2.1 está esboçado o conteúdo multimídia.

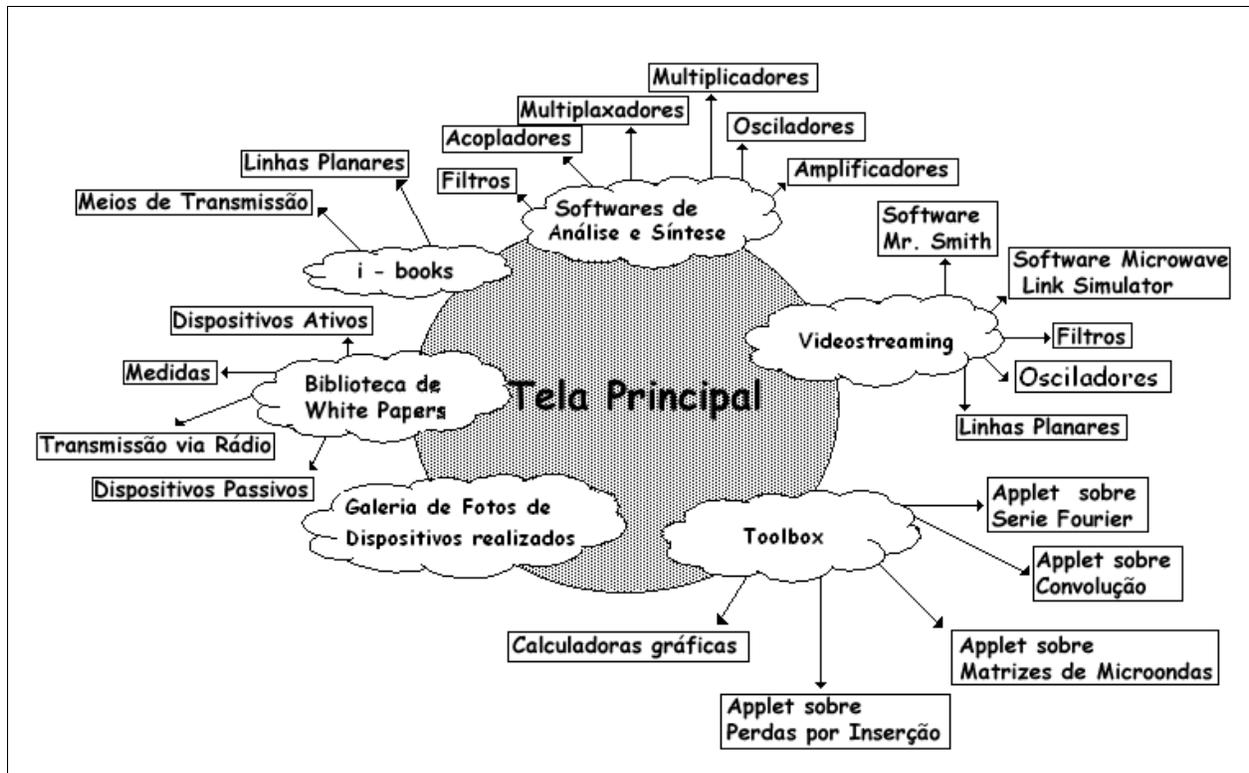


figura2.1-Conteúdo multimídia

Na figura2.2 está mostrado a tela inicial do ambiente, as 12 figuras agrupadas a esquerda correspondem aos assuntos divididos em módulos. Ao passar o *mouse* sobre uma das figuras o usuário visualiza a figura ampliada no centro e o respectivo título do módulo. Ao clicar sobre a figura o usuário poderá entrar e navegar no assunto desejado.



Figura2.2- Tela inicial do ambiente

2.2 LIVROS ELETRÔNICOS INTERATIVOS

Os livros eletrônicos(*i-books*) são constituídos de textos expondo o assunto tratado. O conteúdo é dividido tópicos que podem ser acessados pelo usuário através de um menu. Os textos são implementados em hipertexto no *script* do Authorware de forma a proporcionar uma fácil integração com os outros componentes do ambiente. As figuras são ligadas a *hyperlinks* ao longo do texto.

O ambiente possui 2 livros eletrônicos: um sobre meios de transmissão e outro sobre linhas planares.

A figura2.3 mostra a aparência do *i-book* sobre meios de transmissão e como as figuras são acessadas pelos *hyperlinks*, em amarelo, ao longo do texto.

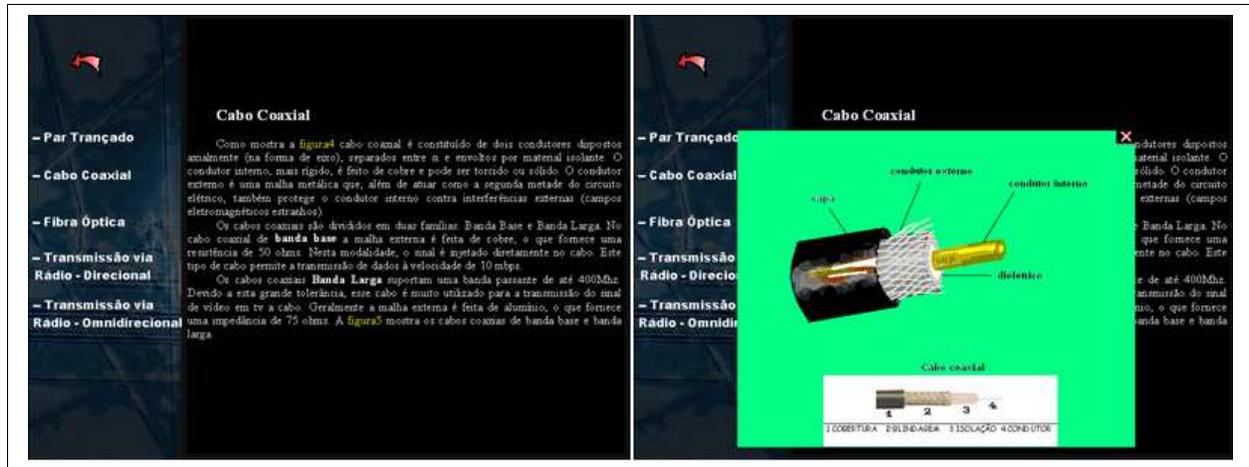


Figura2.3- Aparência do *i-book*

2.3 GALERIA DE FOTOS

Alguns dos dispositivos de microondas realizados no Laboratório de Estrutura de Microondas e Ondas Milimétricas(LEMOM). Foram reunidos em uma galeria com o intuito de mostrar ao usuário a forma e o aspecto dos dispositivos, depois de realizados.

Na figura2.4 é mostrado alguns dos dispositivos presentes na galeria.

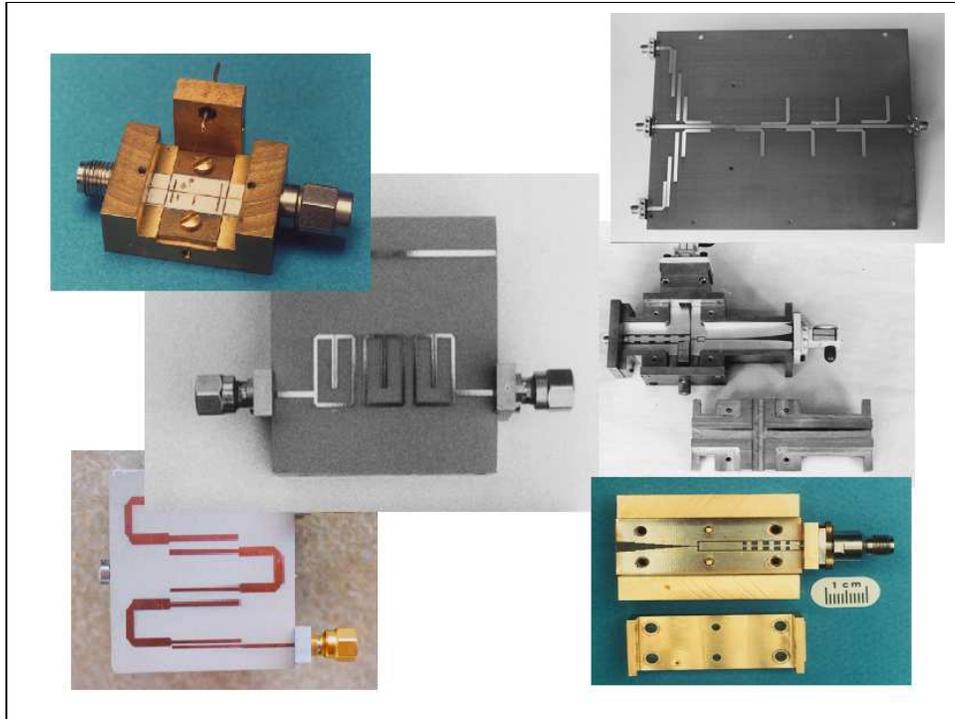


Figura2.4-Dispositivos

3. VIDEOSTREAMING

CONCEITO E VIDEOSTREAMINGS GRAVADOS

Videostreaming é um método de transmissão de audio e vídeo através da internet. Esta tecnologia utiliza um navegador(*web browser*) juntamente com um plug-

in apropriado, por exemplo, Windows Media Player ou Real Payer, para assistir o vídeo. O usuário pode ter acesso ao *videostreaming* ao vivo via rede ou “*offline*” quando este estiver previamente gravado.

Os *Videostreamings* gravados foram integrados ao ambiente através da tecnologia *ActiveX*, que permite que a janela do navegador Internet Explorer seja acessada de dentro do ambiente.

O *Videostreaming* é apresentado na tela do *browser* em duas janelas colocadas lado a lado. Em uma das janelas é apresentado o audio/video sincronizado com *slides*, que são apresentados na outra janela. Os *slides* são comandados pela pessoa que está apresentando o *videostreaming* e o equipamento de gravação provê o sincronismo para quando o *videostreaming* for assistido posteriormente.

Na figura3.1 é mostrado aparência típica de um *videostreaming*.



Figura3.1-Aparência de um Videostreaming

Os *videostreamings* contidos no ambiente tratam dos seguintes assuntos:

- Utilização do Software Mr. Smith – Apresentador: Prof. Paulo Carvalho
- Utilização do Software Microwave Link Simulator – Apresentador: Prof. Paulo Carvalho
- Filtros de Microondas – Apresentador: Prof. Humberto Abdalla
- Linhas Planares – Apresentador: Prof. Humberto Abdalla

- Osciladores de Microondas – Apresentador: Prof. Afonso Bermudez

3.1 EQUIPAMENTO

Para gravar-se os *videostreamings* utilizou-se o *Viewstation* e o *Stremstation* da Polycom.

O *Viewstation*, mostrado na figura3.2, é um equipamento aplicado principalmente em videoconferências. Sua função é capturar o audio e o video na gravação do *videostreaming*. Ele fica acoplado a um monitor que mostrará o vídeo que está sendo gravado em tempo real servindo de retorno ao apresentador.



Figura3.2 – *Viewstation*

O *Viewstation* é comandado por controle remoto e possui um microfone omnidirecional, que é a estrutura triangular visualizada na figura3.2.

O *Stremstation*, que é a peça chave na gravação do *videostreaming*, está mostrado na figura3.3.

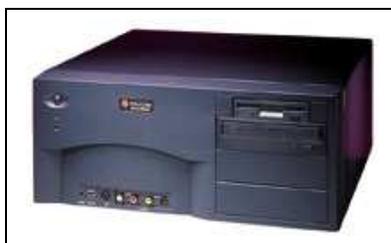


Figura3.3 - *Stremstation*

O audio e o video capturados pelo *Viewstation* são enviados ao *Stremstation* que os codifica. Os objetivos do *Streamstation* são: produzir e distribuir *streamings* ao vivo ou distribuir *streaming* já gravado. Para isso ele utiliza as tecnologias *RealNetworks* e *Microsoft Windows Media*.

O *Streamstation* possui um servidor embutido que é compatível com a maioria dos navegadores Web que suportem aplicativos em *Java*, tais como: *Internet Explorer* e *Netscape*. Este servidor disponibiliza uma página que permite que os usuarios

assistam o que está sendo gravado em tempo real e fazer *download* dos arquivos já gravados.

4. SOFTWARES DE ANÁLISE E SÍNTESE

4.1 INTRODUÇÃO

Os *softwares* presentes no ambiente são ferramentas CAD(Computer Aided Design) de análise e síntese, destinam-se a auxiliar o usuário no projeto de

dispositivos de microondas e também proporcionar um aprendizado interativo uma vez que o usuário poderá simular a construção dos dispositivos, plotar gráficos e visualizar a forma e dimensões do dispositivo.

4.2 ARQUITETURA DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES VIA RÁDIO

Os sistemas de comunicações consistem na transmissão, recepção e processamento da informação com o uso de circuitos eletrônicos. Estes sistemas são constituídos basicamente de fonte, destino e meio de transmissão. Em nosso caso o meio de transmissão é o ar.

Os softwares apresentados nesta seção auxiliam o projeto de dispositivos de microondas que por sua vez integram sistemas de comunicações via rádio. Configurações típicas de sistemas de comunicações via rádio são mostradas na figura4.1

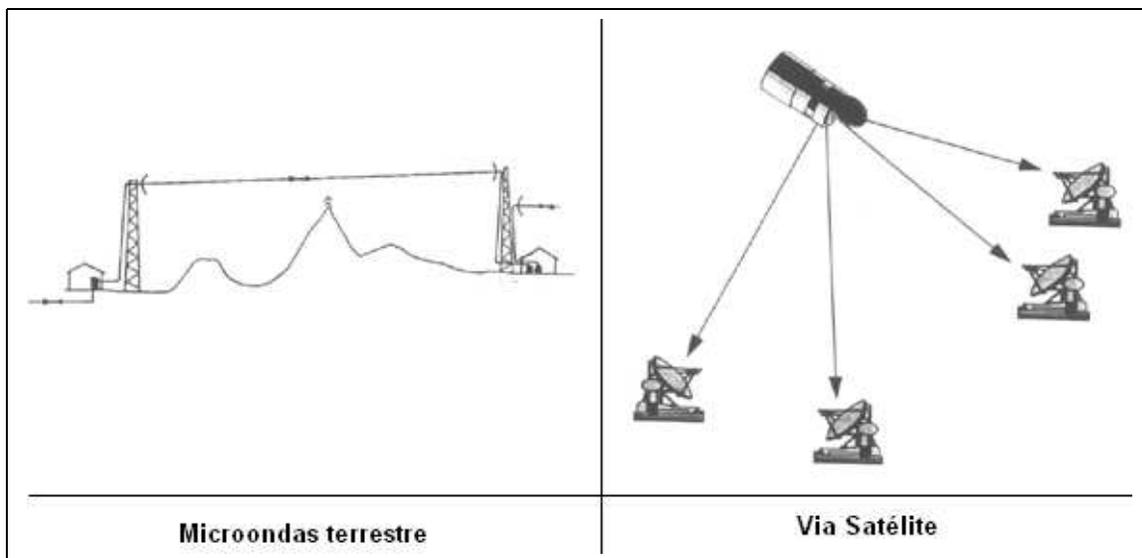


Figura4.1 – Sistemas de telecomunicações

Na figura4.2 está ilustrado o diagrama de blocos de um sistema de comunicação via rádio.

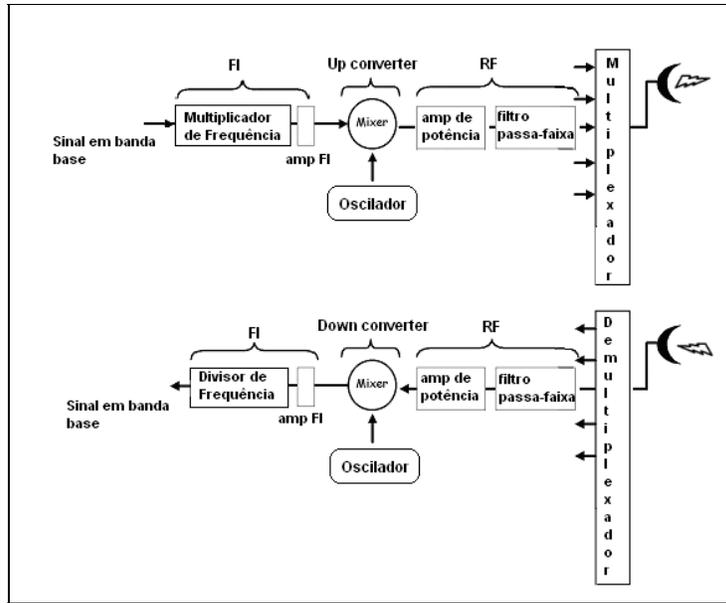


Figura4.2 – Diagrama de blocos

Os softwares de análise e síntese permitem ao usuário analisar e projetar os elementos de um sistema de comunicação via rádio como mostrado na figura4.2.

4.3 O SOFTWARE SOBRE AMPLIFICADORES

O *software* sobre amplificadores, intitulado Mr. Smith, auxilia o projeto de amplificadores de microondas. Na figura4.3 está ilustrada a tela inicial do Mr. Smith.

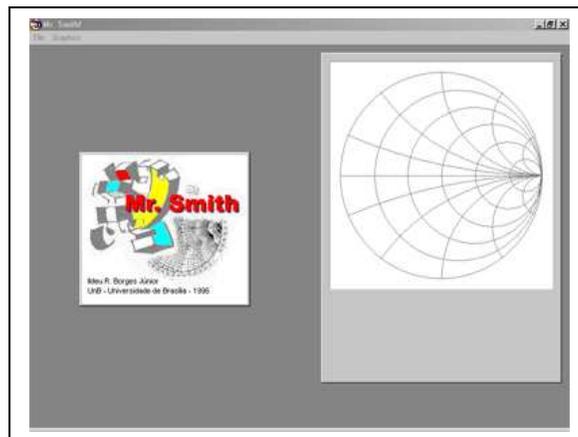


Figura4.3 – Tela inicial do Mr. Smith

No projeto inicialmente escolhe-se o transistor a ser utilizado. Passando-se para a definição da rede a adaptação de entrada e saída que são determinadas em função do ganho de potência e da frequência ou faixa de frequências de operação. Estas redes de adaptação são sintetizadas para promover o ganho de potência desejado. Por fim é definida a rede de polarização.

A escolha do transistor poderá ser feita em uma extensa biblioteca disponibilizada pelo programa, podendo o usuário inserir novos transistores.

O *software* disponibiliza ao usuário uma análise do ganho em função da frequência, indicando as regiões onde o amplificador é incondicionalmente estável bem como as regiões que pode apresentar instabilidade. Esta análise pode ser feita em uma única frequência ou em uma faixa de frequências. Na figura4.4 visualiza-se a análise para várias frequências.

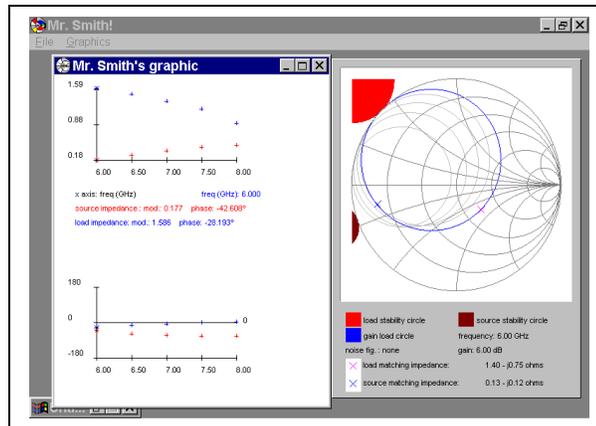


Figura4.4 – Análise em várias frequências

O Mr. Smith disponibiliza o perfil de impedância, módulo e fase que deverá ser sintetizado para o projeto de um amplificador a ganho constante dentro de uma banda de frequências especificada.

Definido o perfil de impedância, passa-se para a definição das redes de casamento. O casamento de impedâncias poderá ser feito em parâmetros concentrados e parâmetros distribuídos, sendo que em parâmetros distribuídos poderão ser utilizadas as tecnologias microstrip e *stripline*. Toda a análise é apresentada na carta de Smith, como ilustrado na figura4.5.

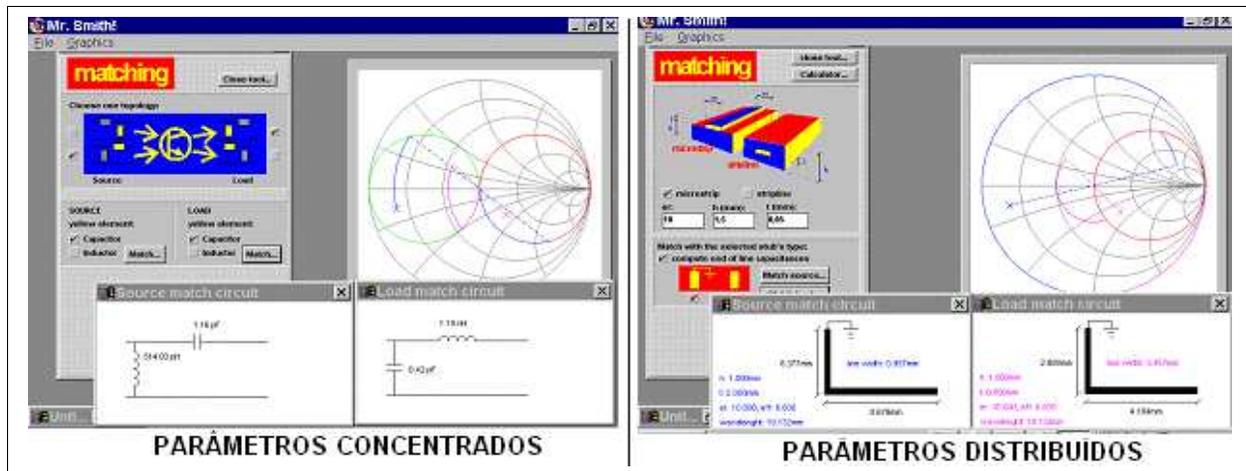


Figura4.5 – Redes de Casamento

O Mr.Smith proporciona ainda, ao usuário, uma ferramenta de auxílio ao projeto da rede de polarização do transistor.

4.4 SOFTWARE SOBRE FILTROS DE MICROONDAS

O *software* de projeto de filtros é composto de dois módulos independentes: O primeiro é destinado a obtenção da função de transferência com resposta em frequência Chebyscheff ou Butterworth, este módulo também permite a visualização do gráfico da resposta em frequência. O projeto pode ser feito tanto em parâmetros concentrados como distribuídos. O segundo módulo ilustra o *layout* do filtro, incluindo o calculo de todas as dimensões do mesmo, de acordo com a tecnologia de fabricação(*microstrip* ou *stripline*) escolhida.

Na figura 4.6 está ilustrada a tela principal do programa.

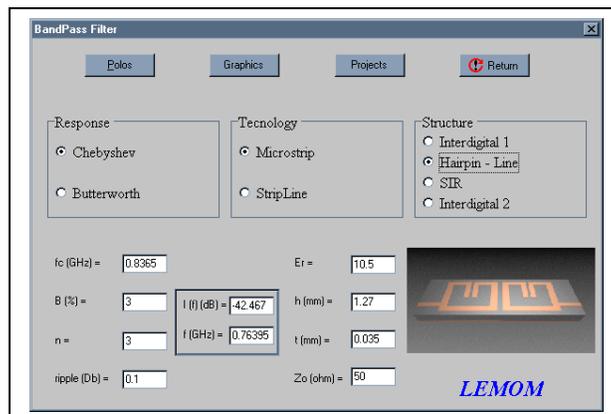
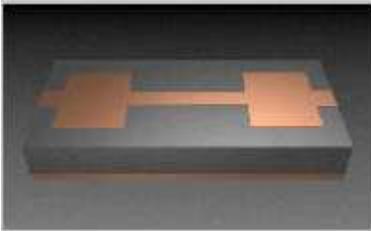
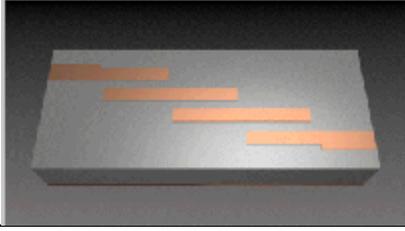
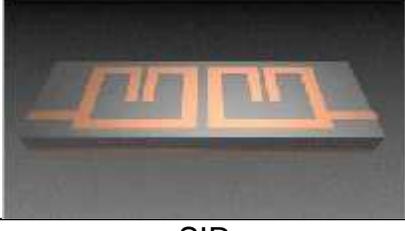
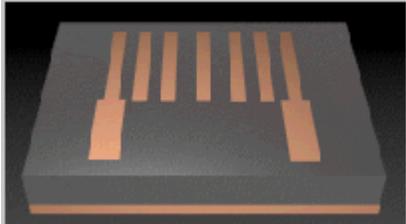
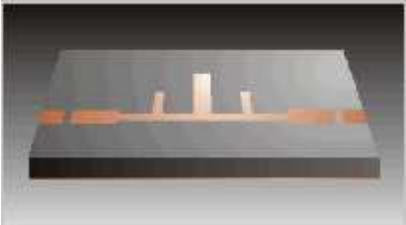
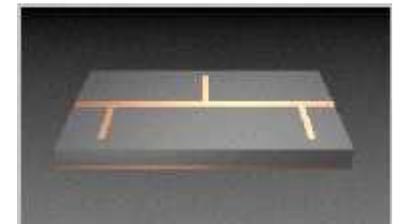


Figura4.6 – Tela principal

Inicialmente escolhe-se o tipo de resposta em frequência(Butterworth ou Chebyscheff), a tecnologia de construção(*microstrip* ou *stripline*) e a estrutura do filtro. A tabela4.1 mostra os tipos de estrutura possíveis.

TABELA4.1-TIPOS DE ESTRUTURA IMPLEMENTADAS PELO PROGRAMA

Estrutura	Tipo de Filtro	Tipo de Resposta	Tecnologia de fabricação
<p>Normal</p> 	Passa-baixas	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip</i> ou <i>Stripline</i>
<p>Retangular</p> 	Passa-baixas	Elítico	<i>Microstrip</i>
<p>Interdigital1</p> 	Passa-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip</i> ou <i>Stripline</i>
<p>Hairpin Miniaturizado</p> 	Passa-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip</i> ou <i>Stripline</i>
<p>SIR</p> 	Passa-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip</i> ou <i>Stripline</i>
<p>Interdigital2</p>	Passa-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Stripline</i>

			
Hairpin Line			
	Passa-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip ou Stripline</i>
Estubes			
	Passa-Faixa	Elítico	<i>Stripline</i>
Estubes			
	Rejeita-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip ou Stripline</i>
Spur – Line			
	Rejeita-Faixa	Butterworth ou Chebyscheff	<i>Microstrip ou Stripline</i>

Feitas as especificações é possível acessar o módulo de análise e síntese do programa, onde o usuário poderá realizar o circuito usando os dados necessários. Na figura 4.7 temos um gráfico típico de resposta em frequência, onde é possível ver a perda por inserção e a perda de retorno.

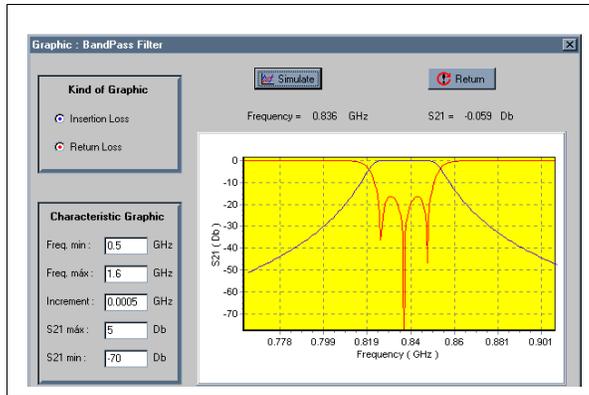


Figura4.7 – Gráfico de resposta em frequência

Na figura4.8 temos a tela onde é mostrado o *layout* dos filtros projetados, neste caso temos um *hairpin* miniaturizado.

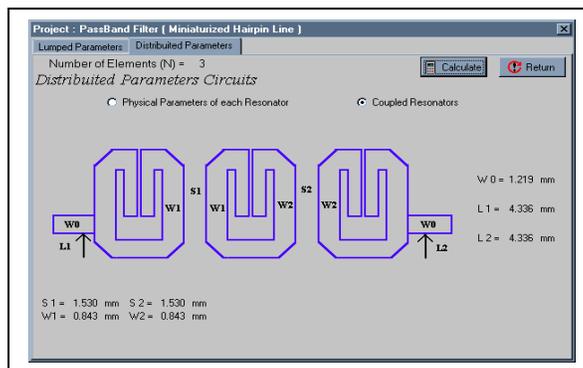


Figura4.8 – *Layout* de um *hairpin* miniaturizado

4.5 SOFTWARE SOBRE MULTIPLICADORES

Trata-se de um *software* sobre multiplicadores de frequência de microondas a diodo, denominado MultFreq.

O programa calcula os parâmetros de projeto tais como potência de saída, tensão de polarização e impedâncias de entrada e saída do diodo. Também projeta os filtros necessários a isolação das portas do multiplicador, são filtros passa-baixas e passa-banda Chebyshev ou Butterworth feitos em parâmetros distribuídos ou concentrados.

O casamento de impedâncias usa *stubs* em série e em paralelo.

O programa também fornece o *layout* do multiplicador em parâmetros distribuídos incluindo todas as dimensões. Fazendo a análise em frequência (perdas por inserção e retorno) e dos polos e zeros.

Na figura4.9 é mostrado o exemplo da especificação do diodo e do nível de excitação, que é a primeira parte do projeto.

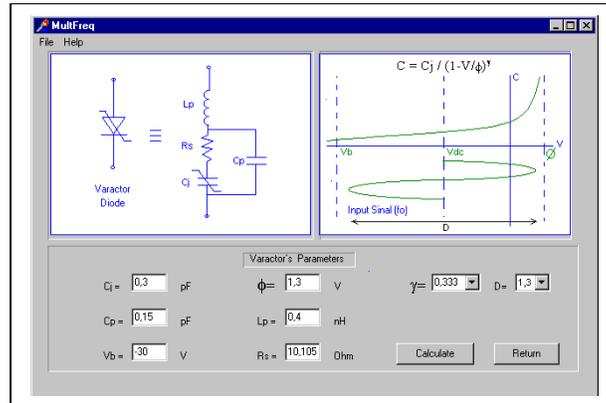


Figura4.9 – Especificações do diodo

O próximo passo é calcular os parâmetros do projeto pelo método de Burkhardt a partir das especificações iniciais. Estes parâmetros são: eficiência (r), potência de entrada (P_{in}), tensão de polarização (V_{dc}), impedância de entrada ($R_{in} + jX_{in}$) e de saída ($R_{out} + jX_{out}$) do diodo. O resultado é mostrado na figura 4.10, onde se visualiza o diagrama de blocos do multiplicador.

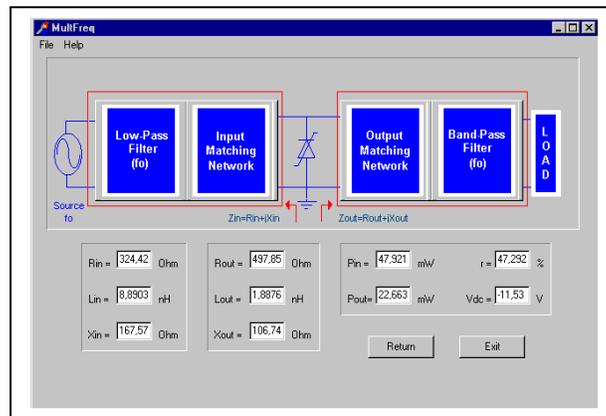


Figura4.10 – Diagrama de blocos

Por fim é obtem-se o *layout* e as dimensões das seções do circuito, como mostrado na figura4.11.

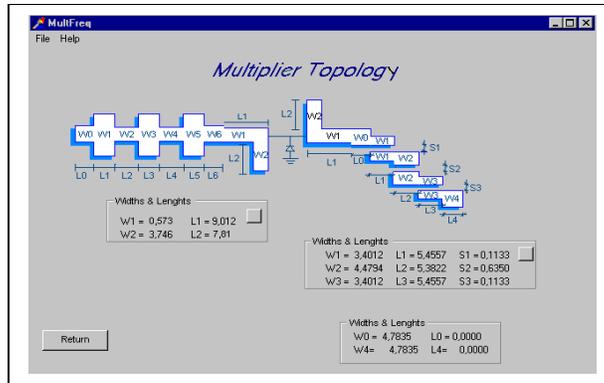


Figura4.11 – Layout e dimensões do circuito.

4.6 O SOFTWARE SOBRE MULTIPLEXADORES

O programa é composto de dois módulos um de análise e outro de síntese sobre diplexadores e triplexadores. O módulo de análise mostra os gráficos de resposta em frequência e admitância de entrada de cada filtro que compõe o multiplexador. A figura4.12 ilustra os gráficos típicos de resposta em frequência e admitância.

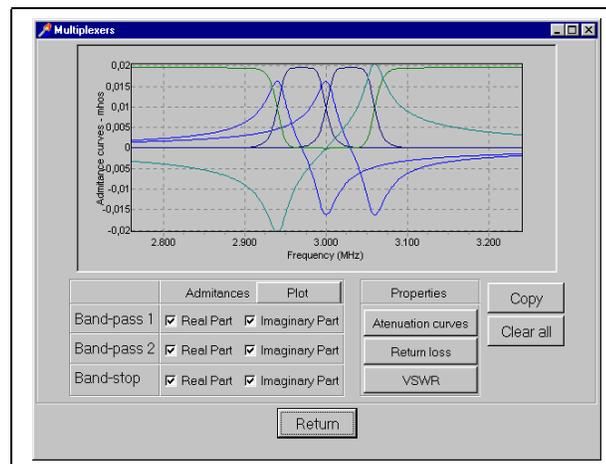


Figura4.12 – Resposta em frequência típica

No módulo de síntese temos o *layout* dos filtros com todas as dimensões calculadas de acordo com a tecnologia de fabricação escolhida, como mostrado na figura4.13

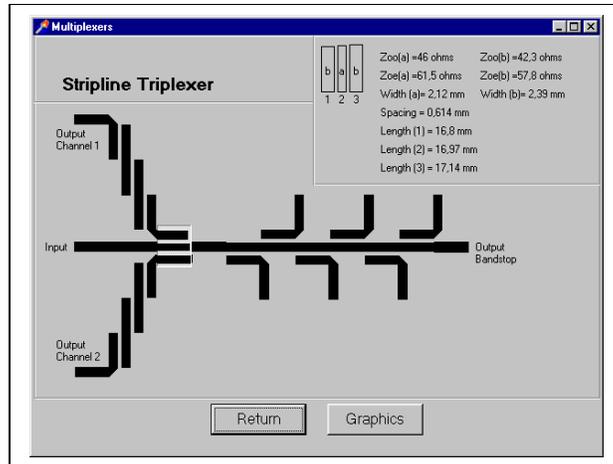


Figura4.13 – Layout e dimensões

No projeto com parâmetros distribuídos o software inicia calculando os filtros isoladamente e em seguida calcula a interconexão deles em rede.

4.7 O SOFTWARE SOBRE OSCILADORES

O *software* sobre osciladores auxilia o projeto de osciladores de microondas, é intitulado *Oscillator Designer*.

No programa pode-se trabalhar com dois tipos de transistores: bipolar e FET. Que são caracterizados pelos seus parâmetros de espalhamento S, que estão disponíveis em arquivos *.s2p fornecidos pelos fabricantes. Os parâmetros S fornecidos pelos fabricantes são válidos para apenas uma determinada polarização.

O usuário poderá utilizar um arquivo já existente com os dados ou poderá editar seu próprio transistor.

O *Oscillator Designer* permite a realização de uma análise DC e de uma análise RF para que o usuário possa escolher as estruturas que garantam o ponto de operação adequado e outras estruturas que protejam a fonte de alimentação DC do sinal de RF.

Depois de escolhida a adequada polarização parte-se para a estrutura de realimentação, um exemplo de estrutura porposta pelo *Oscillator Designer* é mostrada na figura4.14.

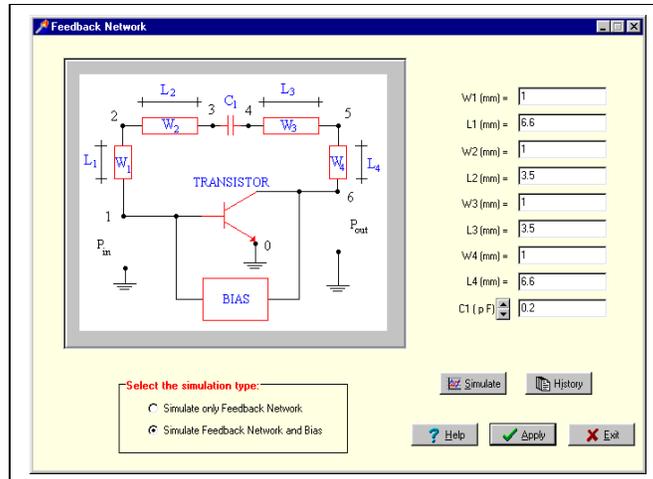


Figura4.14 – Exemplo de realimentação

A máxima potência de saída é fornecida através do casamento de impedâncias utilizando estufes em aberto ou em curto.

Para finalizar o projeto resta escolher uma estrutura que forneça a frequência de operação desejada, isto é feito por um ressoador, o programa permite a escolha de valores ótimos para os comprimentos e larguras do ressoador. A tecnologia adotada no ressoador é a *microstrip*, o ressoador é projetado de modo a fornecer um coeficiente de reflexão de módulo unitário e em oposição de fase com o coeficiente de reflexão na porta do dispositivo ativo.

O programa permite ainda se faça uma análise da estabilidade baseada na carta de Smith.

A configuração completa do oscilador é mostrada na figura4.15

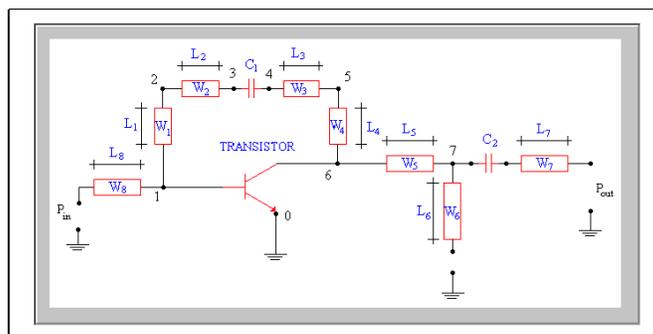


Figura4.15 – Configuração completa do Oscilador

4.8 Applet sobre linhas planares

Um *applet* é um aplicativo Java que é executado em um *web browser*. Na figura4.16 temos a tela inicial do applet sobre linhas planares

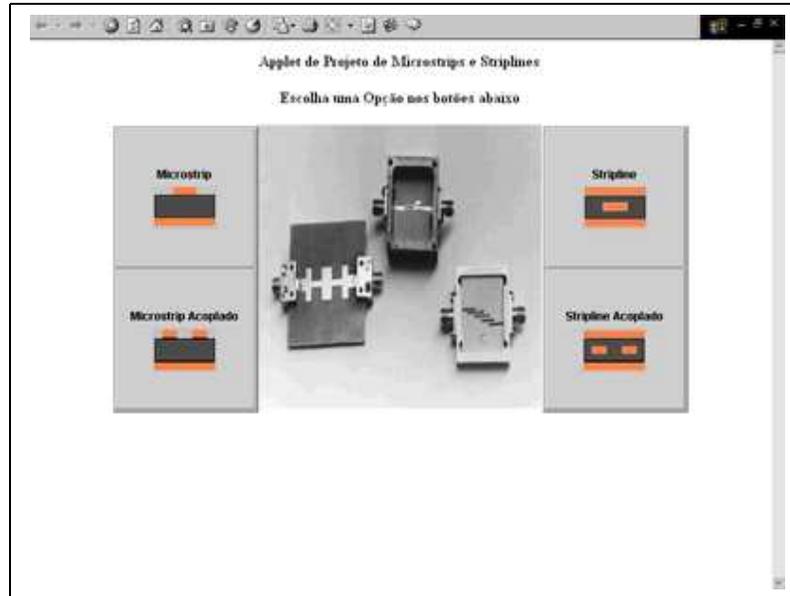


Figura4.16 – Tela inicial do applet

O applet sobre linhas planares calcula as dimensões da linha planar a partir dos parâmetros fornecidos pelo usuário, estes parâmetros são: Impedância da linha (Z_0), frequência de operação, constante dielétrica do substrato (E_r) e altura do substrato (h).

Para linhas acopladas o usuário deverá fornecer as impedâncias do modo par (Z_{oe}) e ímpar (Z_{oo}).

O programa retorna a largura (W) para linhas simples e a largura (W) e o espaçamento (S) para linhas acopladas, para o caso de linhas *microstrip* o programa também retorna constante dielétrica efetiva (E_{ff}) e o comprimento de onda efetivo (λ_{daeff}).

Na figura4.17 temos um exemplo da janela de cálculo de uma *microstrip*.

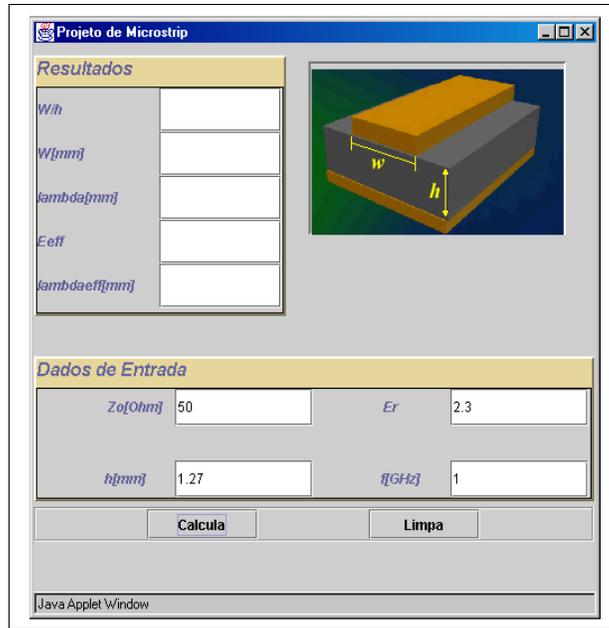


Figura4.17 – Janela para o calculo de uma *microstrip*

4.9 APPLET DE PROJETO DE ACOPLADORES

A figura4.18 ilustra a tela inicial do *applet*.

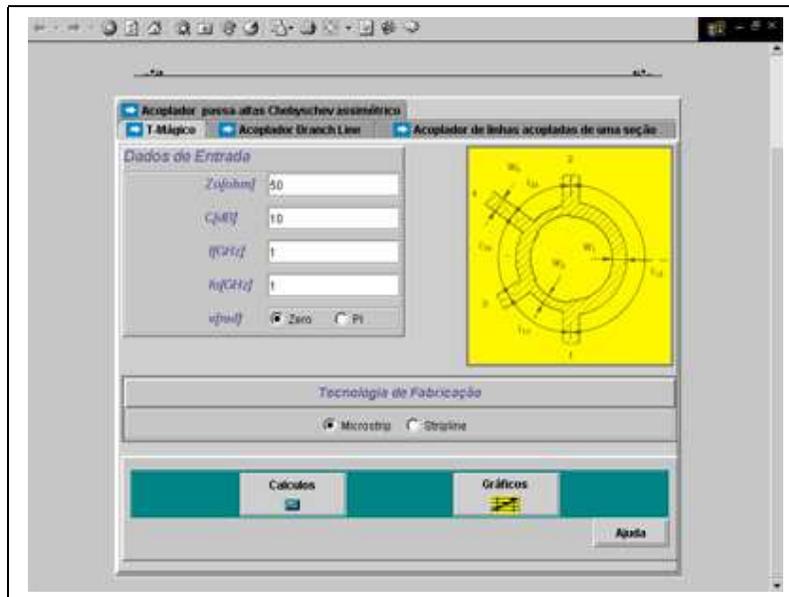


Figura4.18 – Tela inicial

O usuário pode projetar quatro tipos de acopladores: T-Mágico, Acoplador Branch Line, Acoplador de linhas acopladas de uma seção e o Acoplador passa-altas Chabyshev assimétrico. As tecnologias disponíveis para a realização dos acopladores são *microstrip* e *stripline*. Na tabela4.2 está mostrado a figura dos acopladores e os dados de entrada e saída de cada um.

TABELA 4.2 – ILUSTRAÇÃO E DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DOS ACOPLADORES

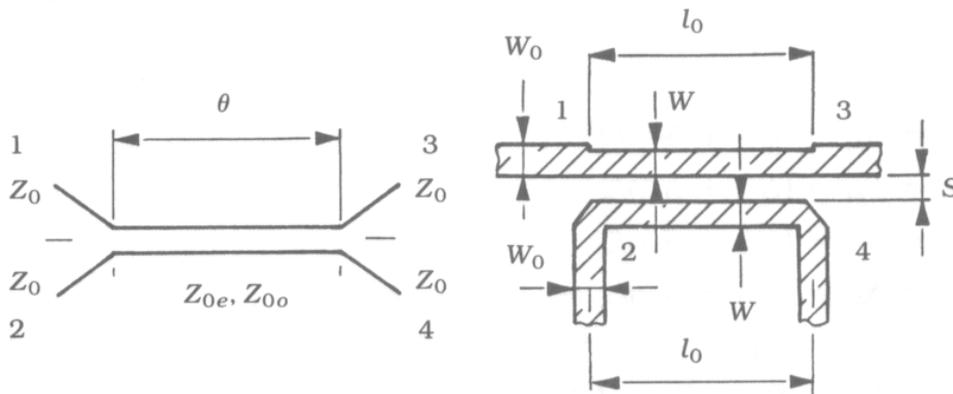
T-Mágico	
<p>Dados de Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Z_0[ohm] – Impedância dos terminais • C[dB] – Valor médio do fator de acoplamento • f[GHz] – Frequência de operação • f_0[GHz] – Frequência central • ν[rad] – Defesagem entre a saída e a entrada. 	<p>Dados de Saída:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Z_1[ohm] – Impedância de uma seção de linha • Z_2[ohm] – Impedância de uma seção de linha • $\Theta(f_0)$[rad] – defasamento entre duas portas do acoplador na frequência central • $VSWR(f)$ – Valor da VSWR na frequência de operação • $C(f)$[dB] – fator de acoplamento na frequência de operação • Dimensões do acoplador de acordo com a figura
Acoplador Branch Line	
<p>Dados de Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Z_0[ohm] – Impedância dos terminais 	<p>Dados de Saída:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Z_1[ohm] – Impedância de uma seção

- $C[\text{dB}]$ – Valor médio do fator de acoplamento
- $f[\text{GHz}]$ – Frequência de operação
- $f_0[\text{GHz}]$ – Frequência central

de linha

- $Z_2[\text{ohm}]$ – Impedância de uma seção de linha
- $\Theta(f_0)[\text{rad}]$ – defasamento entre duas portas do acoplador na frequência central
- Defasamento(f_0)[rad] – defasamento entre a entrada e a saída.
- $VSWR(f)$ – Valor da VSWR na frequência de operação
- $C(f)[\text{dB}]$ – fator de acoplamento na frequência de operação
- Dimensões do acoplador de acordo com a figura

Acoplador de linhas acopladas de uma seção



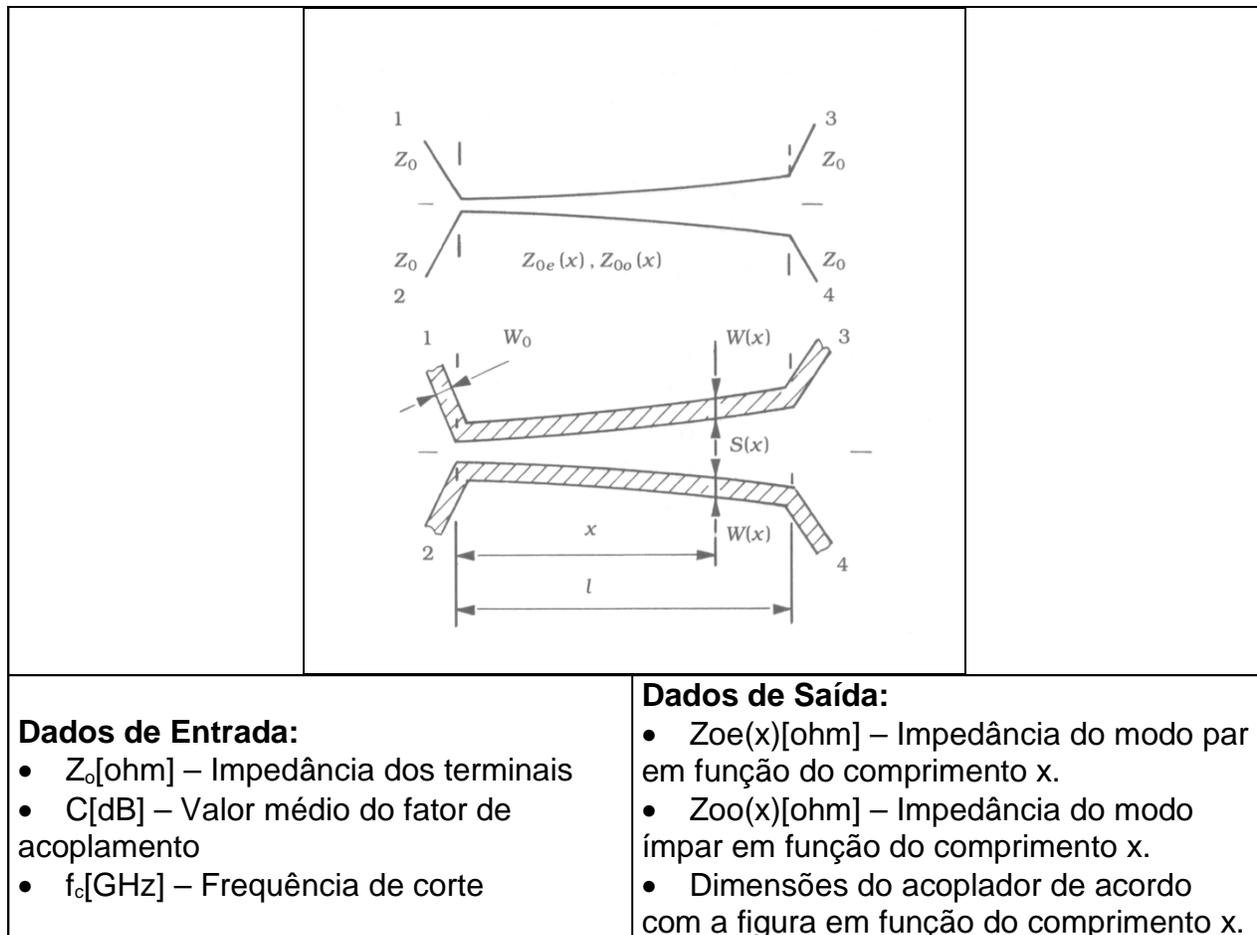
Dados de Entrada:

- $Z_0[\text{ohm}]$ – Impedância dos terminais
- $C[\text{dB}]$ – Valor médio do fator de acoplamento
- $f[\text{GHz}]$ – Frequência de operação
- $f_0[\text{GHz}]$ – Frequência central

Dados de Saída:

- $Z_{0e}[\text{ohm}]$ – Impedância do modo par
- $Z_{0o}[\text{ohm}]$ – Impedância do modo ímpar
- $\Theta(f_0)[\text{rad}]$ – defasamento entre duas portas do acoplador na frequência central
- Defasamento(f_0)[rad] – defasamento entre a entrada e a saída.
- $VSWR(f)$ – Valor da VSWR na frequência de operação
- $C(f)[\text{dB}]$ – fator de acoplamento na frequência de operação
- Dimensões do acoplador de acordo com a figura

Acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico



O applet também plota os parâmetros variáveis com a frequência de cada acoplador, exceto do acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico. Estes parâmetros são: parâmetros de espalhamento, VSWR e fator de acoplamento para os acopladores T –Mágico e Branch Line; para o acoplador de linhas acopladas de uma seção o applet plota apenas o fator de acoplamento.

5. A TOOLBOX

5.1 INTRODUÇÃO

A Toolbox destina-se a permitir ao usuário um entendimento mais fácil dos conceitos ligados aos dispositivos de microondas. Para isto utiliza-se ferramentas com animação e plotagem de gráficos.

A Toolbox é constituída por uma coleção de *applets* Java que tratam de: Série de Fourier, Convolução, Matrizes de Microondas, Perdas por Inserção e Calculadoras gráficas. Inclui também um software de análise de gráficos de tensão, corrente, energia e potência em resistores, capacitores e indutores.

5.2 APPLET SOBRE SÉRIE DE FOURIER

Considere a série exponencial de Fourier expressa pela equação abaixo:

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n e^{jn\omega_0 t} \quad \text{onde: } D_n = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} g(t) e^{-jn\omega_0 t}$$

A série exponencial é outra forma de se escrever a série trigonométrica de Fourier. A partir da identidade de Euler podemos decompor a exponencial complexa em duas componentes.

$$e^{jn\omega_0 t} = \cos(n\omega_0 t) + j \text{sen}(n\omega_0 t)$$

Assim cada harmônico da série exponencial pode ser representado por um vetor no plano complexo e n harmônicos correspondem a soma n vetores.

O applet sobre série de Fourier faz uma animação plotando a função $g(t)$ no plano real e a soma vetorial, dos harmônicos da série exponencial, no plano complexo.

O usuário poderá escolher três formas de onda: a quadrada, a triangular e o trem de pulsos. Colocando o número de harmônicos que deseja plotar.

A tela capturada de uma animação está mostrada na figura 5.1.

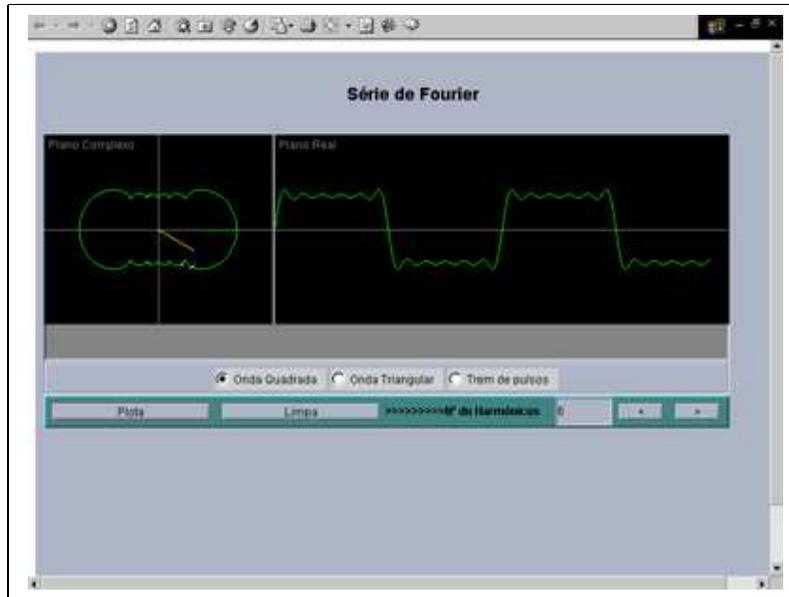


Figura5.1 – Tela capturada em uma animação

5.3 APPLET SOBRE CONVOLUÇÃO

A convolução de duas funções pode ser expressa por:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t-u) \times h(u) du \quad (1)$$

O applet sobre convolução calcula a convolução de duas funções de maneira interativa, procurando facilitar a visualização da sobreposição das funções e da convolução propriamente dita. O applet possui três sistemas de coordenadas o primeiro mostra $x(t-v)$ e $h(v)$ sobre o eixo v , o segundo mostra a multiplicação entre $x(t-v)$ e $h(v)$ sobre o eixo v e finalmente o terceiro mostra a convolução calculada por (1) sobre o eixo t . O *mouse* representa tempo. Ao arrastar o *mouse* sobre a tela o usuário visualiza as duas funções se sobreporem na primeira tela, visualiza a interseção na segunda tela e a convolução na terceira.

A figura5.2 ilustra os três sistemas de coordenadas do *applet*. A posição do *mouse* é marcada por um ponto azul na tela inferior.

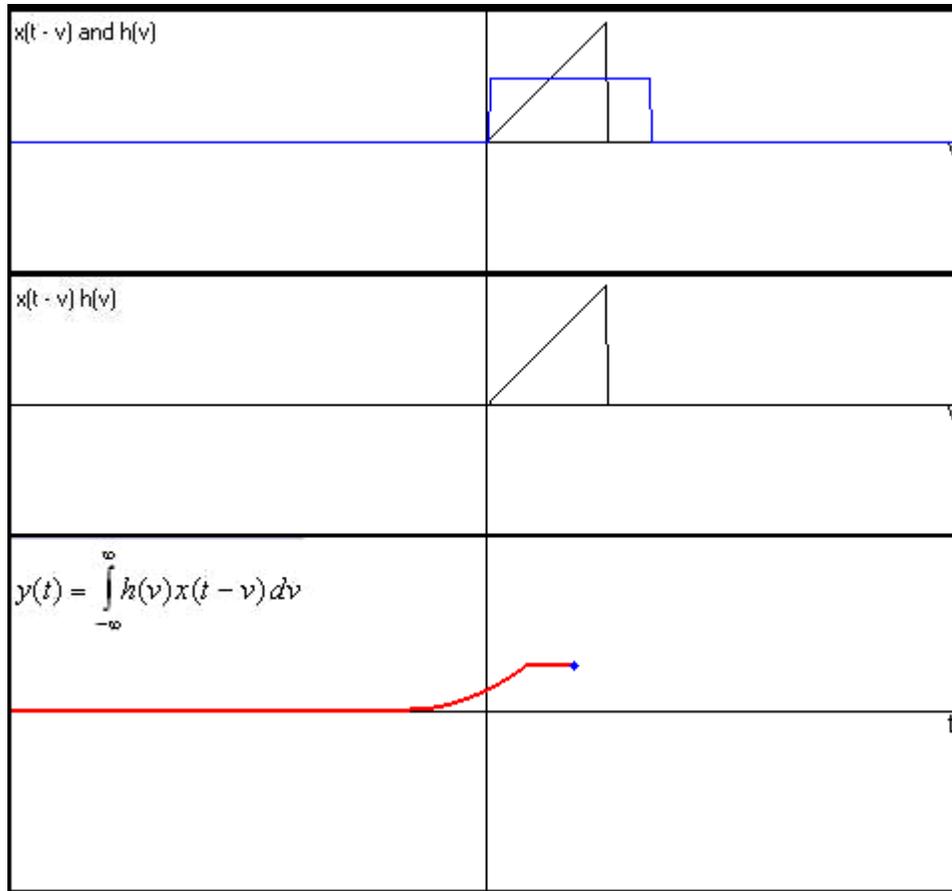
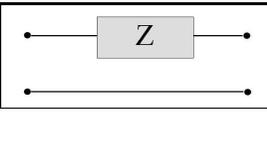
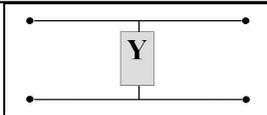
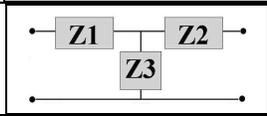
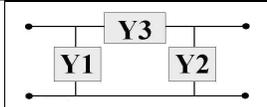


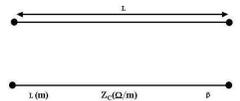
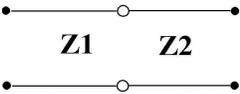
Figura5.2 – Sistemas de coordenadas do programa.

5.4 APLET SOBRE MATRIZES DE MICROONDAS

Este applet calcula as matrizes de impedância, admitância, transmissão e espalhamento. O programa trabalha com as topologias mostradas na tabela5.1.

TABELA5.1 – TOPOLOGIAS

			Impedância em série
			Admitância em paralelo
			Impedâncias em T
			Admitâncias em PI

			Linhas de transmissão
			Descontinuidade em uma linha de transmissão

O *applet* também faz a conversão entre parâmetros das matrizes de microondas, por exemplo se o usuário entrar com valor dos elementos da matriz de transmissão o *applet* calcula os elementos das matrizes de impedância, admitância e espalhamento. Na figura5.3, visualiza-se a tela que faz a conversão de parâmetros.

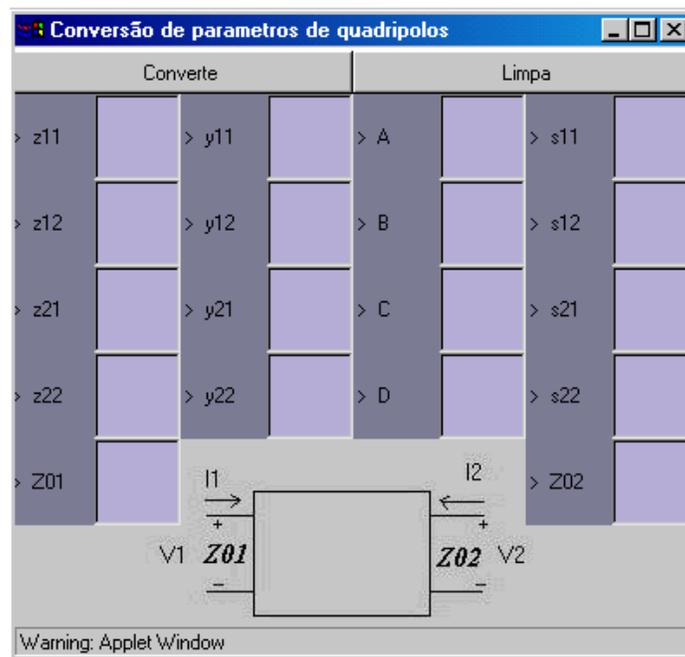


Figura5.3 – Tela de conversão de parâmetros

Pode-se calcular também a matriz de transmissão para uma conexão em cascata, na tela mostrada na figura5.4.

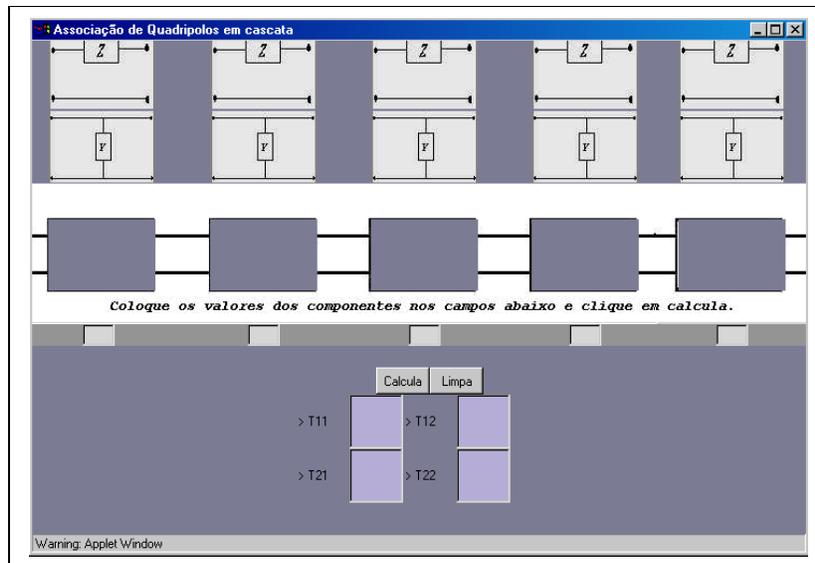


Figura5.4 – Tela de associação em cascata.

Por fim, o usuário também poderá calcular a matriz de impedâncias de uma associação em série e a matriz admitância de uma associação em paralelo. Como mostrado na figura5.5

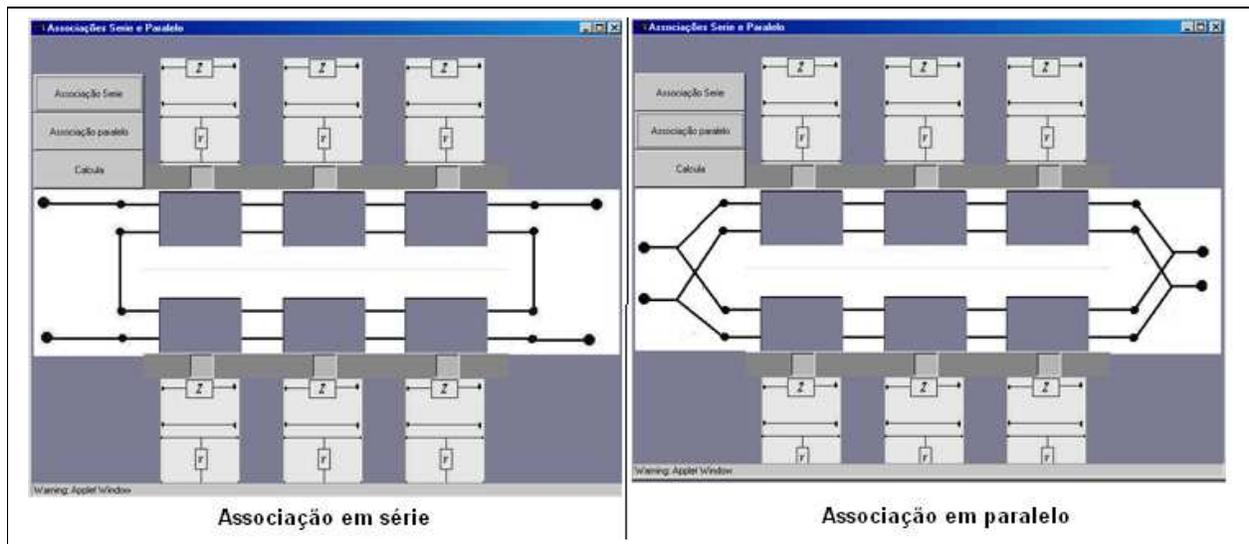


Figura5.5 - Associações em série e paralelo

5.5 APPLET SOBRE PERDAS POR INSERÇÃO

A tela inicial deste applet está mostrada na figura5.6.

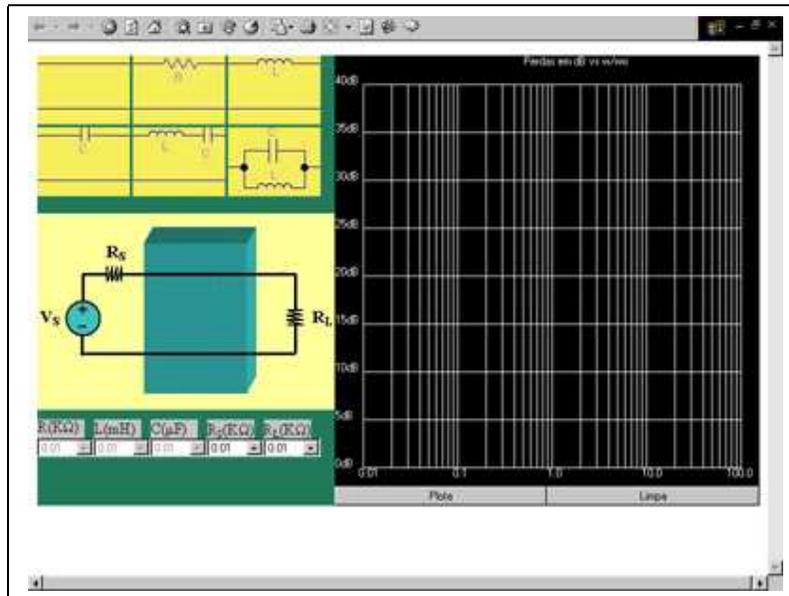


Figura5.6 – Tela inicial

No applet visualiza-se um quadripolo entre uma fonte com resistência interna e uma carga resistiva. O usuário escolhe o elemento que irá compor o interior do quadripolo. Estes elementos são R, L e C simples ou associações LC série e LC paralelo. Clicando em *plota* o applet mostra o gráfico da perda por inserção em dB, em função da frequência normalizada, em escala logarítmica.

5.6 CALCULADORAS GRÁFICAS

As calculadoras gráficas são *applets* livres que podem ser obtidos pela internet. Foram incluídos ao ambiente para que o usuário possa plotar o gráfico de alguma função ou visualizar uma operação vetorial.

5.7 SOFTWARE ENERGIA E POTÊNCIA

Este software plota gráficos de tensão, corrente, energia e potência relativos a resistores, capacitores e indutores. A tela inicial do programa esta mostrada na figura5.7.

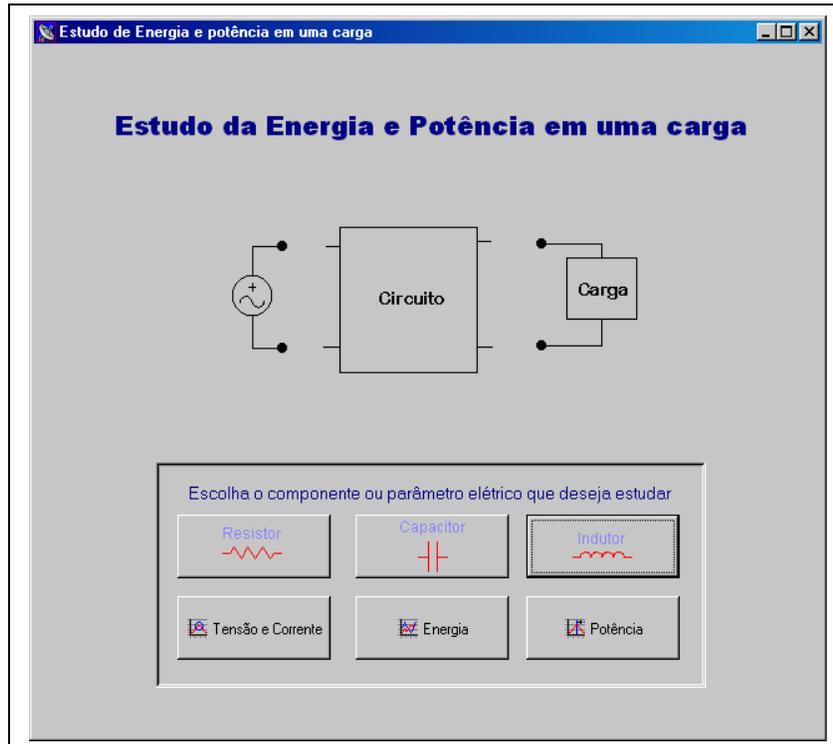


Figura5.7 – Tela inicial

Ao escolher um dos componentes o usuário poderá visualizar todos os graficos de tensão e corrente, energia e potência. É mostrado no plano complexo a defasagem entre os fasores de tensão e corrente, mostrando que a corrente está atrasada em relação a tensão no caso do indutor e adiantada no caso do capacitor.

O usuário poderá ainda visualizar os graficos dos três componentes simultaneamente escolhendo o parâmetro desejado nos botões inferiores(figura5.7).

6. PROJETO DE UM ACOPLADOR

DESCRIÇÃO

Será descrito nesta seção o projeto de um acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico.

Em muitas aplicações requer-se o uso de acopladores direcionais com banda muito larga. Nestes casos, o acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico pode ser usado. Seu esboço está mostrado na figura6.1.

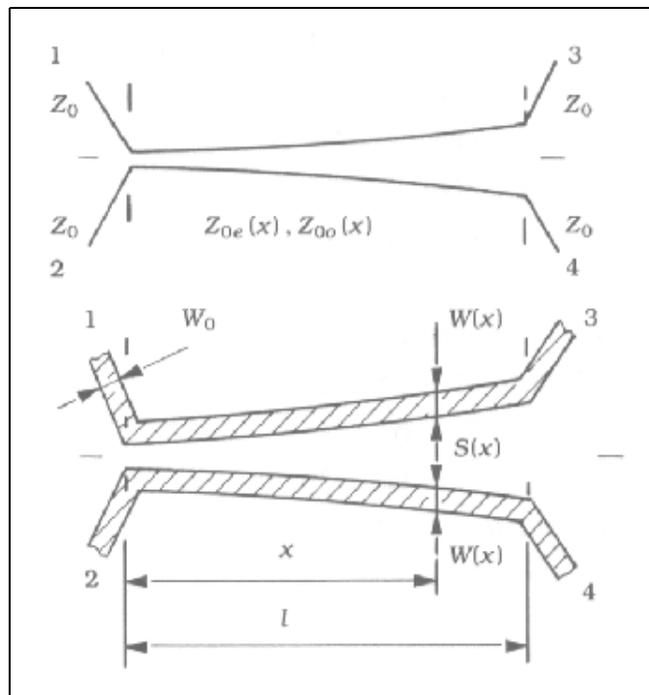


Figura6.1 -Acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico

Este acoplador consiste de duas linhas de transmissão que são não uniformemente espaçadas. O fator de acoplamento(definido em função das impedâncias nos modos par e ímpar) dado por: $k(x) = [Z_{oe}(x) - Z_{oo}(x)]/[Z_{oe}(x) + Z_{oo}(x)]$. Varia continuamente ao longo da seção l do acoplador.

Nos assumimos que as portas 1 e 4 terminam em duas impedâncias reais Z_0 (usualmente 50Ω) e que a condição de casamento expressa por: $Z_{oe}(x) * Z_{oo}(x) = Z_0^2$ seja satisfeita ao longo da seção de acoplamento l . O que garante, teoricamente, uma

VSWR de entrada perfeita e isolamento I (entre as portas 1 – 2 e 2 - 3) em todas as frequências. A resposta de acoplamento $C_{21}(f)$ é similar ao mostrado na figura 6.2.

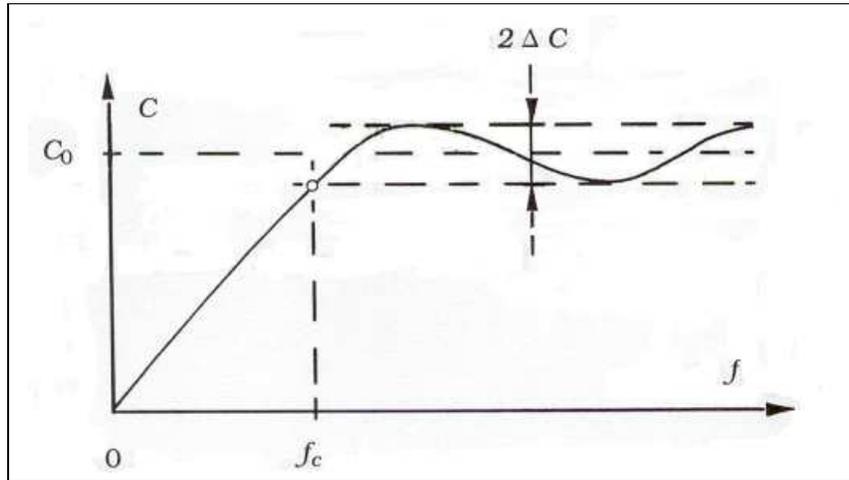


Figura 6.2-Fator de Acoplamento vs frequência

Geralmente o projeto deste acoplador começa pela avaliação da função $k(x/l)$

correspondente aos requerimentos técnicos assumidos, $k(x/l) = \sum_{m=0}^6 k_m (x/l)^m$ onde

$0 \leq x/l \leq l$. Os coeficientes $k_0, k_1, k_2, \dots, k_6$ são derivados da referência bibliográfica (1) e são relacionados ao acoplamento médio C e a tolerância ΔC . Os valores do acoplamento médio possíveis para este caso são 8.34, 10 e 20 dB e 1% de oscilação de tensão.

O comprimento l da seção de acoplamento é determinado pelo coeficiente da frequência de corte inferior, $(l/\lambda)_c$, multiplicado pelo comprimento de onda máximo λ_{\max} . Assim: $l = \lambda_{\max} (l/\lambda)_c$.

Na tabela I estão mostrados os valores dos coeficientes k e de $(l/\lambda)_c$ para os possíveis valores do acoplamento médio C .

TABELA 6.1-COEFICIENTES DO FATOR DE ACOPLAMENTO $k(x/l)$

Oscilação de tensão – 1%								
C[dB]	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	$(l/\lambda)_c$
8.34	0.6688	-0.9751	-0.6127	1.6194	-0.4024	-0.5828	0.2938	0.354
10	0.5749	-0.9500	-0.2495	1.2963	-0.6825	-0.0996	0.1174	0.358
20	0.1980	-0.4121	0.1856	0.1304	-0.1095	-0.0044	0.0141	0.365

As impedâncias $Z_{oe}(x_i/l)$ e $Z_{oo}(x_i/l)$, para valores discretos de x_i/l , são calculadas segundo as fórmulas abaixo:

$$Z_{oe}(x_i/l) = Z_o \sqrt{[1+k(x_i/l)]/[1-k(x_i/l)]}$$

$$Z_{oo}(x_i/l) = Z_o^2 / Z_{oe}(x_i/l)$$

A partir da base teórica apresentada e de sub-rotinas, escritas em Basic, na referência bibliográfica desenvolveu-se um applet Java para o projeto de acopladores de microondas incluindo o acoplador passa-altas Chebyshev assimétrico. Os dados de entrada para este acoplador são:

- ⇒ Z_o = impedância dos terminais em ohms
- ⇒ C = valor médio do fator de acoplamento em dB
- ⇒ f_c = frequência de corte em GHz

O programa retorna: a configuração das portas, a largura e o espaçamento da linha de transmissão acoplada em função de x (ver figura1), a largura da linha de transmissão nos terminais para se obter a impedância desejada e o comprimento da seção de acoplamento l . A configuração das portas deste acoplador é:

- Porta1-Porta de entrada
- Porta2-Porta acoplada
- Porta4-Porta isolada

6.1 MATERIAL UTILIZADO

O acoplador foi construído com tecnologia *stripline*. Os dados relativos ao material utilizado estão mostrados a seguir:

- Substrato:
 - Marca: Arlon
 - Modelo:1859
 - $\epsilon_r = 2,176$
 - $h = 1,524\text{mm}$
- Conectores:

Marca:SMA

Modelo:R125541

Características:

- ⇒ Espaçamento entre os planos terra: 1/8"(3.17mm)
- ⇒ Faixa de frequência: 4GHz
- ⇒ V.S.W.R. :1.20max

Este conector está ilustrado na figura 3 abaixo.

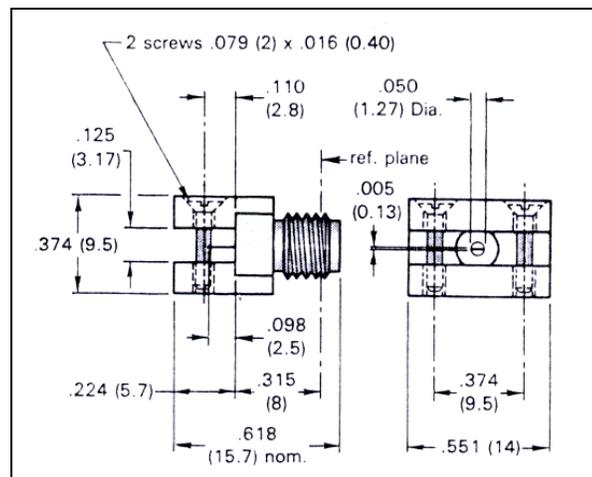


Figura6.3-Conector

O tipo de conexão é M19, como mostrado na figura4.

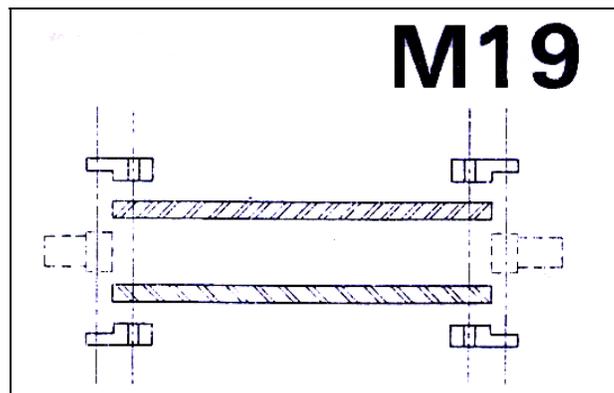


Figura6.4- Conexão M19

6.2 PROJETO

O projeto do acoplador foi realizado com o auxílio do *applet* sobre acopladores descrito no capítulo 5.

Os dados de entrada utilizados foram:

- Dados de entrada:
 1. $Z_0 = 50\Omega$
 2. $C = 20\text{dB}$
 3. $f_c = 2\text{GHz}$
- Dados da tecnologia de construção:
 1. Tipo de tecnologia: Stripline
 2. $\epsilon_r = 2.176$
 3. $\mu_r = 1$
 4. espessura do substrato $h = 1.524\text{mm}$

A partir destes dados obteve-se os resultados mostrados na tabela 6.2.

TABELA 6.2- RESULTADOS

x[mm]	0	1,86	3,71	5,57	7,42	9,28	11,13	12,99	14,85	16,7	
s[mm]	0,39	0,46	0,55	0,64	0,75	0,86	0,99	1,12	1,27	1,44	
w[mm]	2,34	2,38	2,41	2,44	2,46	2,48	2,5	2,51	2,52	2,53	
Zoo[ohm]	40,91	41,77	42,6	43,39	44,15	44,85	45,51	46,13	46,69	47,2	
Zoe[ohm]	61,11	59,85	58,68	57,61	56,63	55,74	54,93	54,2	53,55	52,97	
x[mm]	18,56	20,41	22,27	24,13	25,98	27,84	29,69	31,55	33,4	35,26	37,12
s[mm]	1,61	1,8	2	2,22	2,46	2,72	3	3,32	3,69	4,11	4,63
w[mm]	2,53	2,54	2,54	2,54	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
Zoo[ohm]	47,66	48,07	48,43	48,75	49,02	49,25	49,44	49,6	49,72	49,82	49,9
Zoe[ohm]	52,45	52,01	51,62	51,28	51	50,76	50,57	50,41	50,28	50,18	50,11

$$W_0 = 2.55\text{mm}$$

$$l = 37.12\text{mm}$$

Os valores mostrados na tabela 6.2 fazem referência a figura 6.5 abaixo. A dimensão x varia entre $0 \leq x/l \leq 1$. Os valores dados na tabela variam em função de x .

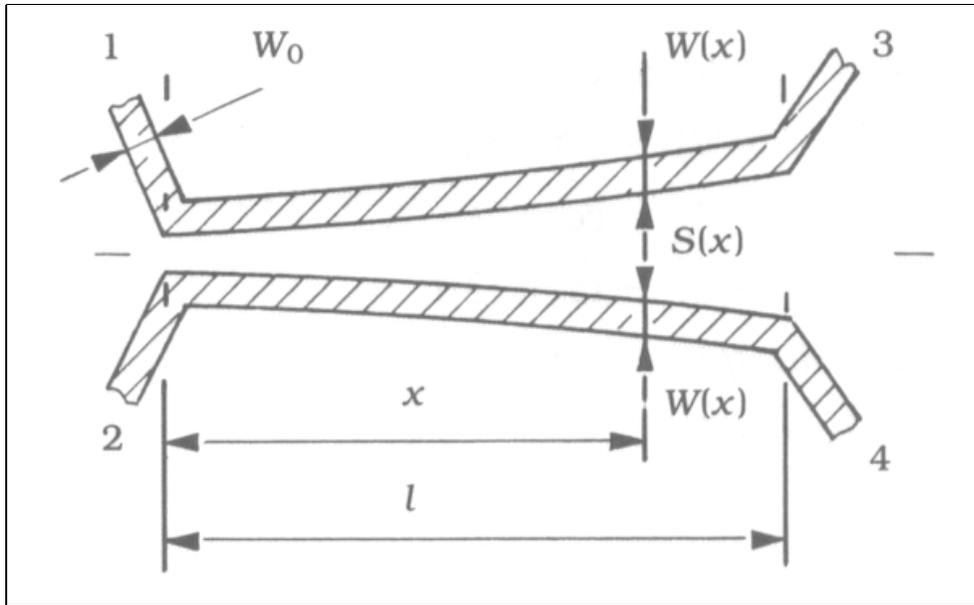


Figura6.5- Detalhes da seção de acoplamento

O aspecto e as medidas do circuito na placa está mostrado na figura 6.6

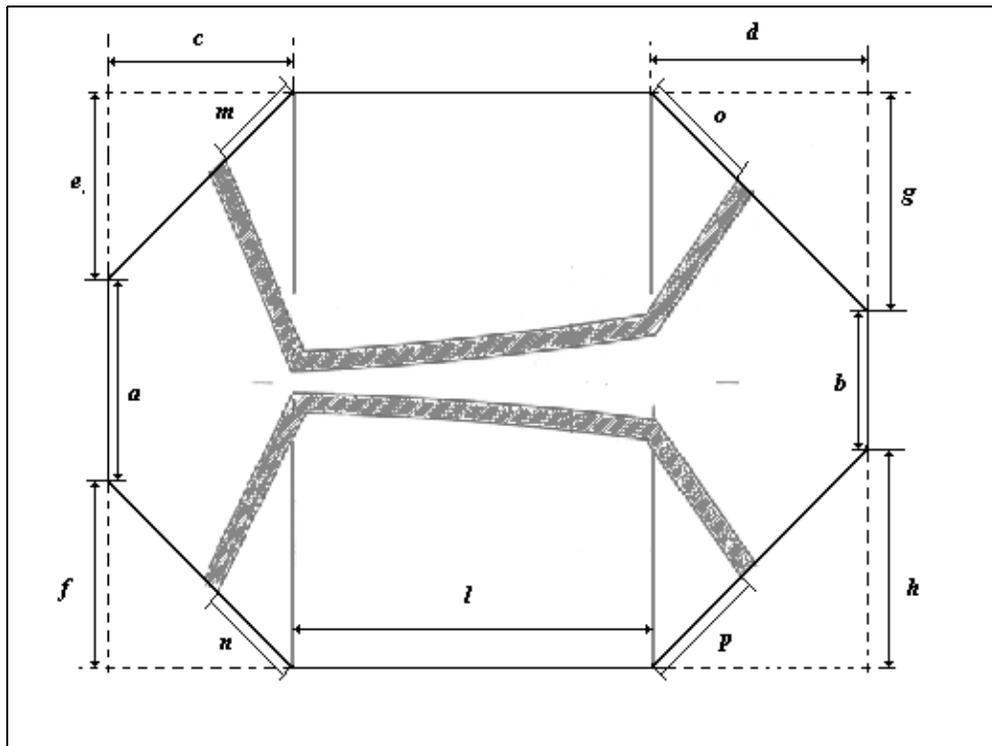


Figura6.6 – Detalhes geométricos do acoplador

Legenda:

$a = 20,4256\text{mm}$

$d = g = h = 22,3896\text{mm}$

$b = 13,9444\text{mm}$

$l = 37,12\text{mm}$

$c = e = f = 19,1490\text{mm}$

$o = p = 14,5568\text{mm}$

$m = n = 12,1959\text{mm}$

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que as ferramentas multimídia são um poderoso artifício para facilitar o aprendizado. A medida que o usuário pode interagir com o objeto de estudo e assistir explicações, o entendimento se torna mais fácil e rápido.

Os softwares de autoria, neste caso o Authorware, se mostram adequados na composição de ambientes multimídia. Pois proporcionam a integração de aulas em videostreaming, softwares e livros eletrônicos em um só programa, permitindo ao usuário navegar pelos módulos divididos por assunto.

Os softwares de análise e síntese permitem ao usuário simular um projeto, visualizando gráficos e a forma do dispositivo.

Assim podemos concluir que o ambiente de concepção de dispositivos de microondas se mostra eficaz no aprendizado de conceitos relacionados aos dispositivos de microondas e no projeto dos mesmos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] B. P. Lathi, Modern Digital and Analog Communication Systems, 3rd ed., Oxford: New York, 1998.

[2] Rosloniec, Stanislaw. Algorithms for Computer-Aided Design of Linear Microwave Circuits. Artech House, 1990.

[3] L. A. Trinogga, Guo Kaizhou, I. C. Hunter. Pratical Microstrip Circuit Design. Ellis Horwood, 1991.

[4] J. A. G. Malherbe. Microwave Trnasmission Line Couplers. Artech House, 1988

[5] H. Jr. Harlan. Stripline Circuit Design. Artech House, 1982.