

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO FINAL

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

PAULO CEZAR CAYRES RAMOS

MARCO ANTÔNIO BRASIL TERADA
(Orientador)

Brasília - DF, 08 Dezembro de 2009

RESUMO

Sistemas Web são largamente utilizados atualmente devido à grande popularização da internet que vem acontecendo devido à evolução dos meios de telecomunicações.

O Sistema Web de Simulação de Antenas é um Site que se propõe a ser um propagador dos conceitos, teorias e programas de simulação de antenas. Além disto, pretende ser um sistema de fácil manutenção. É importante salientar que este sistema não é uma ferramenta para desenvolvimento de programas de antenas e sim de acesso aos mesmos, portanto os programas de antenas já devem estar desenvolvidos.

Para tanto foi implantado um banco de dados através do SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL.

O PostgreSQL é um poderoso sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional de código aberto. Possui suporte para as linguagens de programação Java através do driver JDBC, ODBC, Perl, Python, Ruby, C, C++, PHP, Lisp, Scheme, e Qt dentre outras.

Para interpretar a linguagem Java, utilizada na construção do projeto, foi utilizado o Servidor Web TomCat. Este servidor web é capaz de interpretar códigos fontes implementados em Java e Sites com páginas dinâmicas escritas com a linguagem JSP - Java Server Pages.

A linguagem Java é uma das linguagens orientadas a objeto mais utilizadas, pois é uma linguagem multiplataforma, permitindo que um software escrito funcione em qualquer sistema operacional sem grandes problemas.

A linguagem JSP é uma variação do Java que permite a construção de páginas dinâmicas, isto é, páginas que montam a estrutura HTML dinamicamente durante a execução do código fonte JSP.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento e documentação do projeto Web foi a UML – Unified Modeling Language. O projeto conta com os seguintes artefatos da UML.

1. Caso de Uso – Descreve as funcionalidades do sistema na visão do cliente. Ele representa uma seqüência de ações realizada por um sistema que produz um resultado de valor observável para determinado usuário.
2. Regras de Negócio – Detalhamento técnico de como são executados os processos descritos nos Casos de Uso. As regras de negócios devem ser descritas da forma mais clara possível.
3. Especificação Suplementar – Descreve os requisitos não funcionais do sistema, tais como usabilidade, confiabilidade, desempenho, suportabilidade, procedimentos de backup e recuperação de dados, requisitos de compatibilidade e restrições de design. As Especificações Suplementares capturam os requisitos não funcionais de sistema que não são capturados imediatamente nos casos de uso. Entre os requisitos não funcionais estão:
 - Requisitos legais e de regulamentação e padrões de aplicativo.
 - Atributos de qualidade do sistema a ser criado, incluindo requisitos de usabilidade, confiabilidade, desempenho, disponibilidade e suportabilidade.
 - Requisitos que tratam da segurança do sistema, tais como trilha de auditoria, matriz de acesso, classificação da informação, procedimentos de backup e recuperação de dados.
 - Outros requisitos, como sistemas operacionais e ambientes, requisitos de compatibilidade e restrições de design.
4. Modelo de Caso de Uso – Sintetiza o comportamento do sistema através da integração entre os Atores (papéis) do sistema e seus Casos de Uso.
5. Modelo de Dados Relacional – Representa a estrutura de dados do sistema através de suas entidades e relacionamentos.

Índice

1. Introdução	1
2. UML – Unified Modeling Language	1
3. Modelagem de Dados.....	8
4. Infra-estrutura	11
5. Antenas	14
5.1 Características da onda eletromagnética.....	14
5.2 Conceitos básicos de radiação.....	21
5.3 Parâmetros principais de antenas	32
5.4 Programas de Simulação.....	40
6. Sistema Web de Simulação de Antenas	51
6.1 Introdução	51
6.2 Telas de Manutenção.....	51
6.3 Telas de Visitação	58
6.4 Telas dos Programas de Simulação de Antenas	60
7. Conclusões	62
8. Referências	62
Apêndice A - Criação do ambiente para o Sistema.....	63
Apêndice B - Documentação UML.....	65
Apêndice C - Abreviaturas e Siglas.....	89

1. Introdução

O Sistema Web de Simulação de Antenas é um projeto que consiste na construção de um sistema web para disponibilização de programas de simulação de antenas. Este sistema web é um ambiente de fácil manutenção e capaz de executar programas em Java Applet. Foi construído com o objetivo de facilitar a inclusão de novos programas sem a necessidade de ferramentas de desenvolvimento.

O Sistema Web de Simulação de Antenas não tem como objetivo desenvolver os programas em Java Applet. É somente uma plataforma para armazenar e executar-los.

A modelagem e documentação do projeto foi toda baseada na UML – Unified Modeling Language. Esta linguagem de modelagem é um padrão internacional em desenvolvimento de sistemas.

O projeto foi desenvolvido com a filosofia de software livre. Por isso todas as ferramentas utilizadas são grátis e algumas de código aberto.

As ferramentas utilizadas foram:

- Linguagem Java e JSP
- PostgreSQL
- TomCat
- Jude Community
- BD Designer

2. UML – Unified Modeling Language

2.1 Introdução

A UML – Unified Modeling Language é uma linguagem de modelagem unificada como o próprio nome diz. A UML foi criada para se tornar uma linguagem entendida por todos e visou facilitar a forma de projetar e documentar um sistema. A ferramenta utilizada para a modelagem em UML foi o JUDE Community que é uma ferramenta gratuita.

A UML é uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas de software.[3]

A UML não é uma metodologia de desenvolvimento, o que significa que ela não diz para você o que fazer para projetar um sistema. Basicamente, a UML permite que desenvolvedores visualizem os produtos de seus trabalhos em diagramas padronizados.

2.2 Elementos da UML

Na UML temos elementos gráficos para representar os elementos da orientação a objeto. Abaixo segue a lista de elementos que podem ser representados através da UML.

2.2.1 De estrutura

Classe

Classe ativa

Interface

Componente

Colaboração

Nó

2.2.2 De comportamento

Ator

Casos de uso

Iteração

Máquina de estados

2.2.3 De agrupamento

Pacote

Modelo

Subsistema

Framework

Para cada projeto deve ser feita uma análise de quais diagramas e documentos realmente agregam valor. Pois adotar toda a documentação UML para um projeto pode agregar pouco valor e com certeza vai sobrecarregar o projeto com burocracias que poderiam ser evitadas. Neste Projeto não serão detalhados todos os elementos. Serão detalhados somente os elementos utilizados na sua construção.

2.2.4 Ator

O ator é um elemento da UML que representa um papel ou conjunto de papéis que os usuários de casos de uso executam quando interagem com esses casos de uso. Um ator

representa um papel que um ser humano, outro sistema ou uma máquina pode desempenhar dentro de um sistema.

2.2.5 Casos de Uso

O Caso de Uso é um elemento da UML que representa uma unidade funcional do sistema. Em outras palavras, é o elemento que descreve uma interação entre usuário (humano ou máquina) e o sistema. O Caso de Uso deve conter a especificação de um conjunto de ações executadas por um sistema, que contém um resultado de valor observável para o usuário.

Segue na Fig2.1 o diagrama de caso de uso do Sistema Web de Simulação de Antenas para ilustrar.

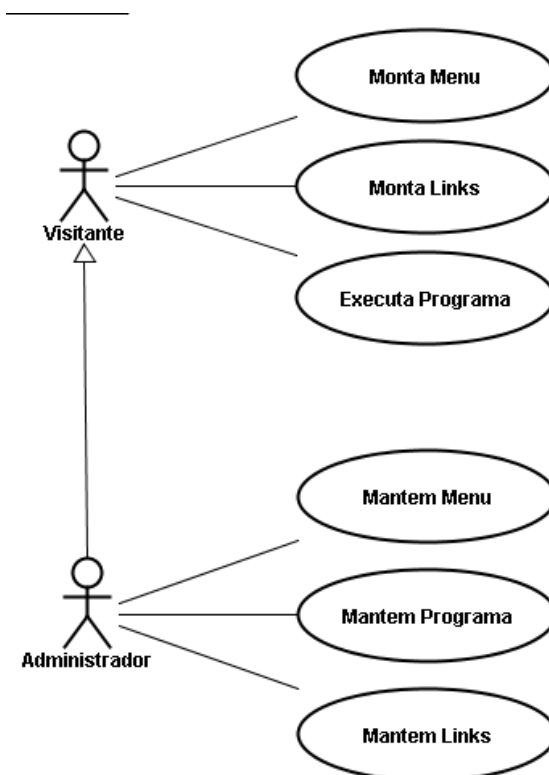


Fig2.1 – Diagrama de caso de uso do Sistema.

As elipses apresentadas no diagrama são a representação gráfica dos Casos de Uso do sistema. Os personagens representam os atores envolvidos durante a execução dos casos de uso.

2.2.6 Classes

A Classe é um elemento da orientação a objeto que representa uma entidade do mundo real, seja ela concreta ou abstrata. As Classes são a base das linguagens orientadas a objeto.

Uma classe é definida quando se tem a necessidade de representar um objeto do mundo real no mundo computacional. A classe é a abstração de um objeto do mundo real levando as características deste objeto para o mundo computacional.

Para ilustrar segue um exemplo de classe para representar um aluno da UnB.

1. Características.

- Matrícula.
- Nome.
- Cod. Curso.
- IRA.

2. Comportamento.

- InsereMatrícula.
- RecuperaMatrícula
- InsereNome.
- RecuperaNome
- InsereCod.
- RecuperaCod.
- InsereIRA.
- RecuperaIRA.

As características de uma classe, em sistemas orientados a objeto, tem uma denominação própria, são os atributos. Enquanto que as funções que representam os comportamentos possíveis para uma classe são denominados de métodos.

As classes tem sua representação gráfica na UML. A representação é uma tabela de três linhas onde a primeira linha tem o nome da classe, geralmente intuitivamente ligado ao seu representante no mundo real, a segunda linha contém a lista de atributos e a terceira linha contém a lista de métodos.

Resumindo, uma classe é composta pelas informações que ela é capaz de guardar (atributos) e as ações que ela é capaz de executar (métodos). Normalmente os métodos

de uma classe estão intimamente ligados aos atributos já que, por melhores práticas, é comum que só os métodos tenham acesso aos atributos. Isto porque quando um programador cria um método, há uma preocupação com regras de validação dos dados que não seria executada se alguém pudesse simplesmente alterar um atributo diretamente. Esta característica é chamada de encapsulamento.

Segue na Fig2.2 ilustração da representação gráfica de uma classe na UML.

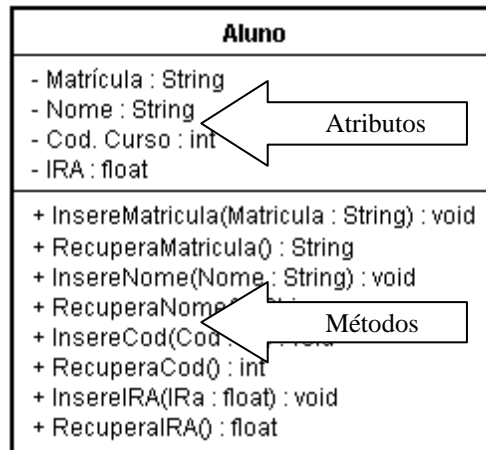


Fig2.2 – Exemplo de Classe.

2.3 Documentos da UML

2.3.1 Modelo de Caso de Uso

Modelo de Caso de uso é um documento que condensa todos os casos de uso de um sistema e suas interações com os atores em diagramas de caso de uso. Além disto, este documento tem a descrição passo a passo de como cada caso de uso é executado, descrevendo também como ocorre a interação entre ator e caso de uso.

No Modelo de Casos de Uso devem constar todas as interações entre atores e casos de uso. Cada ação necessária para que um caso de uso se conclua deve estar descrita por menor que seja.

Após a leitura de um modelo de casos de uso o leitor deve ser capaz de entender o funcionamento do sistema de uma forma geral. Os detalhes técnicos de como os passos dos casos de uso são executados devem constar no documento de regras de negócio.

2.3.2 Documento de Regras de Negócio

O Documento de regras de negócio deve de um projeto deve conter todo o detalhamento técnico de como são executados os passos descritos nos Casos de Uso. As regras de negócios devem ser descritas da forma mais clara possível.

Neste documento devem constar formulas matemáticas que são executadas durante os casos de uso, regras de validação tais como validação de datas, CPF, dígitos verificadores etc.

O objetivo deste documento é deixar o modelo de casos de uso livre de detalhes técnicos. E mais, se alguns casos de uso compartilham de uma mesma regra, esta regra pode ser escrita uma só vez. A vantagem é que se uma regra for alterada não será necessário uma busca por todos os casos de uso para encontrar quais compartilham da mesma regra e alterar a regra em todos eles. Basta que se atualize a regra uma só vez no documento de regras de negócio e tudo está resolvido. Para que isto funcione é necessário que cada caso de uso faça referência às regras que são necessárias para sua execução.

2.3.3 Diagramas de Sequência

O desenvolvimento de sistemas orientados a objetos normalmente é subdividido em camadas. Isto para que alterações futuras no sistema não causem impacto por todo o sistema.

Uma subdivisão trivial é por três camadas. Uma apresentação, uma para dados e outra para executar as regras de negócio do sistema.

Um exemplo de fácil entendimento da vantagem da divisão em camadas é que no caso de troca do SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados seria necessário analisar códigos fontes mais complicados pois nos códigos fontes haveriam regras de negócio, formatação de tela além dos códigos fontes responsáveis pela comunicação com o banco de dados.

Para um sistema desenvolvido em camadas bastaria alterar os códigos da camada de dados. Para o restante do sistema seria transparente esta alteração.

As camadas são compostas por classes responsáveis pelos serviços (métodos) que aquela camada deve desempenhar. E os diagramas de sequência descrevem exatamente como ocorre a comunicação entre cada camada e suas classes.

Os Diagramas de Sequência são artefatos que representam as trocas de informação entre as camadas do sistema em tempo de execução.

Abaixo na Fig2.3 segue um exemplo de diagrama de sequência do Sistema Web de Simulação de Antenas que foi desenvolvido em cinco camadas.

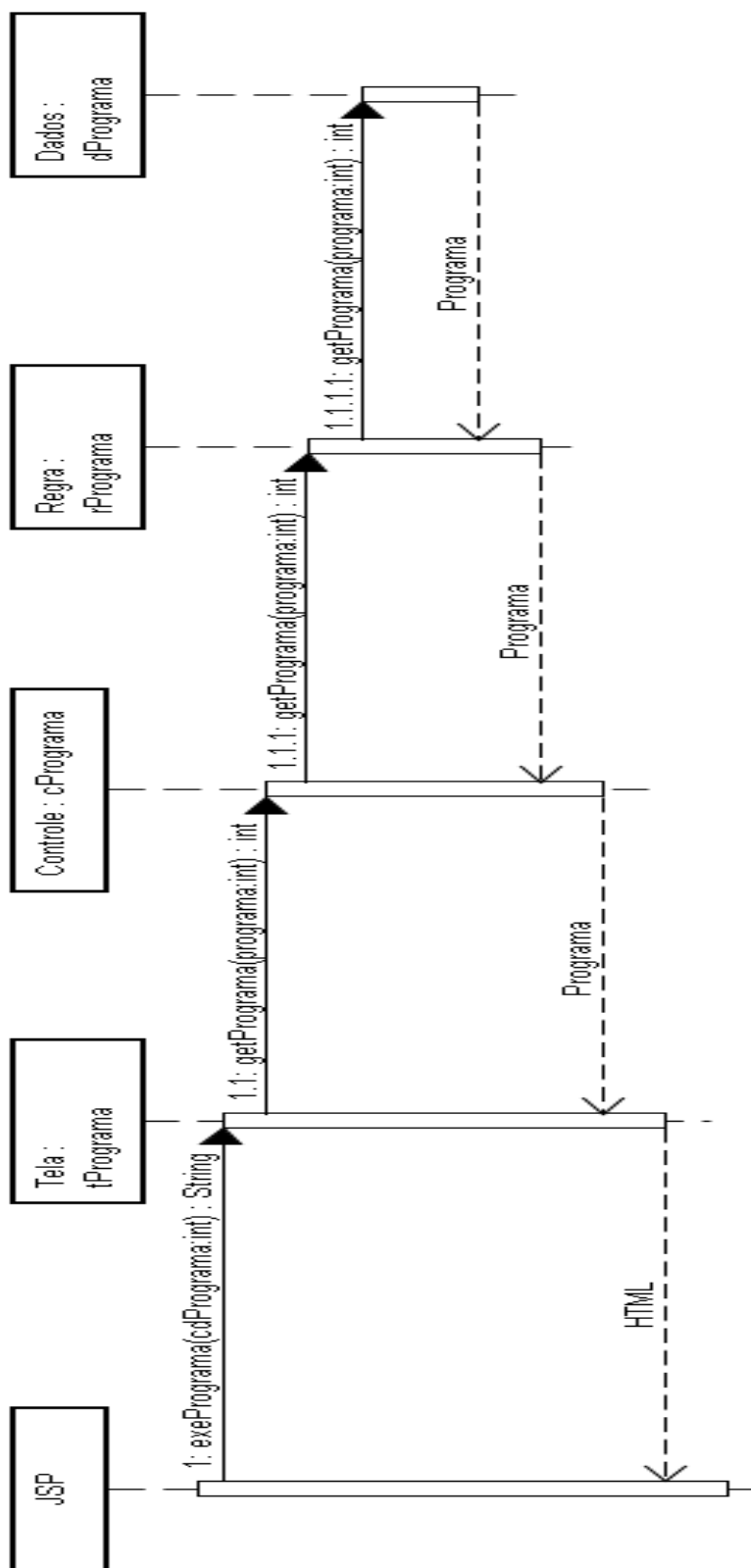


Fig2.3 – Exemplo de Diagrama de Sequência.

Nas setas contínuas constam os métodos que as camadas chamam de outras camadas. Nas setas pontilhadas está a resposta que a camada disponibiliza para a camada que solicitou a execução do método. E é desta forma que as camadas são capazes de trocar as informações necessárias para o funcionamento do sistema.

3. Modelagem de Dados

3.1 Introdução

Para que um sistema guarde informações em disco é necessário que se construa um banco de dados. A ferramenta utilizada como SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados foi o PostGreSQL.

Para que se tenha um banco de dados funcionando com boa performance e para que este banco de dados seja de fácil manutenção no futuro quando houver alguma mudança no sistema, devemos analisar com calma as informações que serão utilizadas pelo sistema e elaborar a estrutura de tabelas adequadamente.

Um banco de dados mal estruturado pode virar um enorme problema em sistemas que são modificados com frequência.

A este processo de análise dá-se o nome de Modelagem de Dados.

3.2 Modelo de Dados

Um modelo de dados é um documento que deve descrever todas as tabelas e os seus relacionamentos, além de descrever cada campo das tabelas indicando o tipo de dados que ele é capaz e armazenar.

A Fig3.1 descreve o modelo de dados do Sistema Web de Simulação de Antenas.

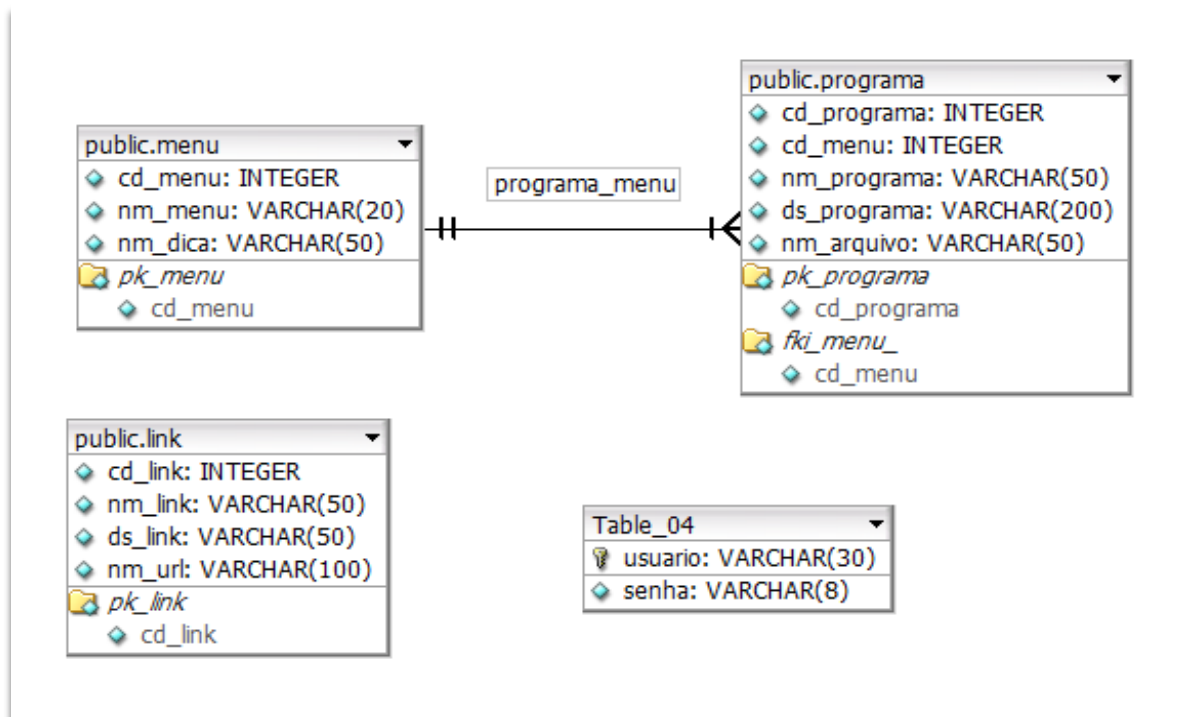


Fig3.1 – Modelo de Dados para persistência das informações do sistema.

3.3 Entidade

Uma entidade de dados é a representação computacional de uma unidade de informação do mundo real. Uma entidade deve conter todas as informações necessárias para descrevê-la dentro do ponto de vista do sistema construído.

É fácil notar uma semelhança com as classes descritas anteriormente. A diferença é que nas entidades de um banco de dados só são descritos os atributos enquanto que nas classes são descritos tanto os atributos quanto os métodos. Obviamente não faz sentido guardar os métodos em disco pois eles só vão ser utilizados o sistema estiver em executando alguma operação. Quando o sistema está ocioso os métodos não estão em execução. O banco de dados serve exatamente para guardar as informações que são importantes mesmo quando o sistema não está em execução, desta forma só os atributos precisam de ser armazenados.

Por este motivo os métodos ficam somente nos códigos fontes enquanto que as definições dos atributos ficam tanto nos códigos fontes quanto no banco de dados.

3.4 Relacionamento

Os relacionamentos são a forma de ligar as entidades do sistema umas com as outras e expressar o grau de dependência entre elas. Estes relacionamentos podem ser de três tipos.

- 1 para 1
- 1 para n
- n para n

Para que haja entendimento de como funciona um relacionamento é interessante fazer alguns exemplos.

1. 1 para 1

Para uma empresa que concede Laptops para todos os funcionários. Mas cada funcionário só pode ter um Laptop da empresa.

Teremos uma tabela que contém uma lista de todos os funcionários da empresa e teremos outra tabela que contém uma lista de todos os Laptops da empresa. O relacionamento entre as duas tabelas deve ser 1 para 1. Isto é, cada funcionário listado na tabela de funcionários só pode estar associado a um laptop da tabela de Laptops.

2. 1 para n

Para uma empresa que controla os pedidos dos produtos de seus clientes em que cada cliente possa fazer vários pedidos.

Teremos uma tabela que contém uma lista de todos os clientes cadastrados na empresa e teremos outra tabela que contém uma lista de todos os pedidos de produtos. O relacionamento entre as duas tabelas deve ser 1 para n. Isto é, cada cliente listado na tabela de clientes pode estar associado a vários pedidos da tabela de pedidos. Mas um pedido só pode estar associado a um cliente.

3. n para n

Para uma universidade onde cada professor ministra aulas para vários alunos. E um aluno tem aula com vários professores.

Teremos uma tabela que contém uma lista de todos os alunos da universidade e teremos outra tabela que contém uma lista de todos os professores da universidade. O relacionamento entre as duas tabelas deve ser n para n. Isto é, cada aluno listado na tabela

de funcionários pode estar associado a vários professores da tabela de professores. E cada professor pode estar associado a vários alunos da tabela de alunos.

4. Infra-estrutura

4.1 Introdução

Para a construção do projeto Sistema Web de Simulação de Antenas foi necessária a implantação de uma infra-estrutura para suportar o seu funcionamento.

As linguagens utilizadas foram o Java e o JSP contando com banco de dados PostGreSQL e um servidor web TomCat.

Para o desenvolvimento e documentação nos padrões da UML foram utilizadas as ferramentas Jude Community e o BD Designer para a modelagem de dados.

4.2 Linguagens Java e JSP

O Sistema Web de Simulação de Antenas foi desenvolvido utilizando a orientação a objetos. A orientação a objetos foi desenvolvida com o objetivo de simplificar a programação de sistemas complexos. A orientação a objetos é uma abstração do mundo real onde representamos as entidades do mundo real, sejam concretas ou conceituais, através de um objeto computacional. Objetos podem representar entidades concretas (um arquivo no meu computador, uma bicicleta) ou entidades conceituais (uma estratégia de jogo, um número complexo e as possíveis operações matemáticas que ocorrem entre eles).

Diferentemente das linguagens estruturadas onde temos variáveis que armazenam valores e as funções que são chamadas para executar as tarefas, nas linguagens orientadas a objetos os objetos além de guardar os valores necessários a sua existência, também guardam seu comportamento. Em linguagens orientadas a objetos, chamamos de atributos os valores armazenados ao invés de variáveis, e chamamos de métodos as tarefas que o objeto é capaz de desempenhar ao invés de funções.

A linguagem utilizada para implementação dos códigos fonte do projeto foi o Java, que é uma das linguagens orientadas a objeto mais utilizadas no momento, pois é uma linguagem multiplataforma, teoricamente permitindo que um software escrito em Java funcione em qualquer sistema operacional sem grandes problemas.

A linguagem JSP é uma variação do Java que permite a construção de páginas dinâmicas, isto é, páginas que montam a estrutura HTML dinamicamente durante a execução

do código fonte JSP. Tanto o JSP quanto o Java são linguagens orientadas a objetos e desta forma são capazes de implementar objetos.

4.3 PostgreSQL

O SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados utilizado para suportar o banco de dados do projeto foi o PostgreSQL.

O PostgreSQL é um poderoso sistema gerenciador de banco de dados de código aberto. Possui suporte para as linguagens de programação Java através do driver JDBC, ODBC, Perl, Python, Ruby, C, C++, PHP, Lisp, Scheme e Qt dentre outras.

Atualmente a capacidade do PostgreSQL está limitada aos parâmetros da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros técnicos do SGBD PostgreSQL

Parâmetro	Limite Máximo
Tamanho Máximo do Banco de Dados	Ilimitado
Tamanho máximo de uma Tabela	32 TB
Tamanho Máximo de uma Linha	400 GB
Tamanho Máximo de um Campo	1 GB
Máximo de Linhas por Tabela	Ilimitado
Máximo de Colunas por Tabela	250–1600 dependendo do tipo de coluna
Máximo de Índices por Tabela	Ilimitado

Como o próprio nome diz o PostgreSQL é um banco de dados baseado na linguagem SQL - Structured Query Language, ou em português Linguagem de Consulta Estruturada.

A linguagem SQL é um grande padrão de banco de dados. Vários SGBD são baseados nesta linguagem a exemplo do PostgreSQL, MySQL, Microsoft SQL Server entre outros.

O SQL é uma linguagem que permite a consulta, manipulação, alteração e exclusão de informações em um banco de dados.

Para mais detalhes sobre a linguagem SQL e como utilizar a mesma com o PostgreSQL visite os sites abaixo.

<http://www.postgresql.org.br/>

<http://www.sql.org/>

4.4 TomCat

O TomCat é um servidor web de código aberto criado para interpretar as linguagens Java e JSP. Este servidor web é capaz de interpretar códigos fontes implementados em Java e sites com páginas dinâmicas escritas com a linguagem JSP - Java Server Pages.

O Java e o JSP são linguagens interpretadas, pois foram desenvolvidas com intuito de ser multiplataforma, desta forma um programa escrito nestas linguagens deve ser capaz de executar em sistemas operacionais variados.

Os responsáveis por garantir esta capacidade são exatamente os servidores web ou interpretadores Java. Bastando que se instale o servidor web ou interpretador Java compatível com o sistema operacional, tudo deverá ocorrer normalmente. Assim um mesmo código Java deverá ser executado sem problemas nas diversas plataformas.

Para saber mais sobre o TomCat visite o site.

<http://tomcat.apache.org/>

4.5 Jude Community

O Jude Community é uma ferramenta de modelagem grátis, capaz de construir os diagramas e documentos previstos pelo padrão UML. A documentação do Sistema Web de Simulação de Antenas foi construída através desta ferramenta.

Dentre as possibilidades do Jude estão os seguintes diagramas:

1. Diagramas Estruturais
 - Diagrama de classes
 - Diagrama de objetos
 - Diagrama de componentes
 - Diagrama de instalação
 - Diagrama de pacotes
 - Diagrama de estrutura
2. Diagramas Comportamentais
 - Diagrama de Caso de Uso
 - Diagrama de transição de estados
 - Diagrama de atividade

3. Diagramas de Interação

- Diagrama de sequência
- Diagrama de Interatividade
- Diagrama de colaboração ou comunicação
- Diagrama de tempo

Em um projeto orientado a objetos é de suma importância que se construa alguns destes diagramas, para que se tenha um entendimento maduro sobre como o sistema deverá funcionar e como deverá ser construído. Só é recomendado iniciar a construção dos códigos fontes após esta análise do problema.

4.6 BD Designer

O BD Designer é uma ferramenta visual para modelagem, criação e manutenção de banco de dados.

Nesta ferramenta é possível criar as tabelas, chaves primárias, chaves estrangeiras, índices e os relacionamentos existentes entre as tabelas para um banco de dados de forma visual. A forma visual facilita o entendimento e evita que erros na modelagem do banco de dados se tornem um problema. Já que é bem mais complicado corrigir erros quando um sistema já foi construído sobre uma base de dados mal modelada.

O BD Designer também é capaz de gerar código SQL que quando executado em um SGBD cria toda a estrutura de dados que foi desenhada visualmente na ferramenta.

5. Antenas

5.1 Características da onda eletromagnética

A tabela 5.1 descreve o espectro de frequências e suas subdivisões. Na tabela consta a denominação para cada faixa de frequências e aplicações usuais para cada uma. A Fig5.1 apresenta a subdivisão do globo em regiões definidas pela International Communication Union.

Tabela5.1 - Designação das Bandas de Frequências e aplicações típicas. [5]

Banda de Frequências	Designação Aplicações típicas
3 - 30 kHz Very low frequency	Navegação em longas distâncias,(VLF) comunicações submarinas.
30 - 300 kHz Low frequency (LF)	Navegação em longas distâncias, rádio farol marítimo.
300 - 3.000 kHz Medium frequency	AM comercial, rádio marítimo, (MF) frequências de emergência.
3 - 30 MHz High frequency	Rádio amador, comunicações (HF) militares, broadcasting internacional, comunicações com aviões e navios em grandes distâncias.
30 - 300 MHz Very high frequency	Televisão VHF, rádio FM, frequency (VHF) comunicação AM aérea, auxílio à navegação aérea.
0,3-3GHz Ultra high frequency	Televisão UHF, radar, enlaces de frequency (UHF) microondas, auxílio à navegação.
3 - 30 GHz Super high frequency	Comunicações por satélite, frequency (SHF) enlaces de microondas e radar.
30 - 300 GHz Extra high frequency	Radar, satélite experimental. frequency (EHF) Comunicações ópticas.
103 -107 GHz	Infravermelho, luz visível, ultravioleta.

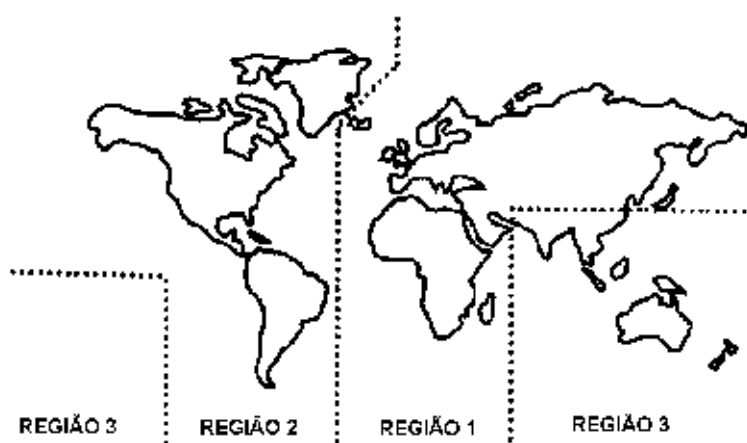


Fig.5.1 - Mapa regional do ITU. [5]

5.1.1 Frente de onda

Um campo eletromagnético radiado possui uma componente elétrica e uma componente magnética que são perpendiculares entre si. Os campos elétrico e magnético se propagam de forma normal à direção de propagação, configurando o que se denomina de onda transversal eletromagnética (TEM), Fig5.2 isto se deve ao fato de que os campos interagem entre si. Um campo elétrico variante no tempo produz um campo magnético também variante no tempo.

“A frente de onda é uma superfície imaginária formada por pontos em que os campos têm fase constante. Se, além da fase constante, os campos têm a mesma magnitude em qualquer ponto, a frente de onda é uniforme. Nesse caso, os valores máximos e mínimos dos vetores campo elétrico e campo magnético ocorrem no mesmo instante de tempo e são independentes do ponto de observação na frente de onda. Ondas eletromagnéticas no espaço livre caminham como uma onda plana não uniforme.”[5]

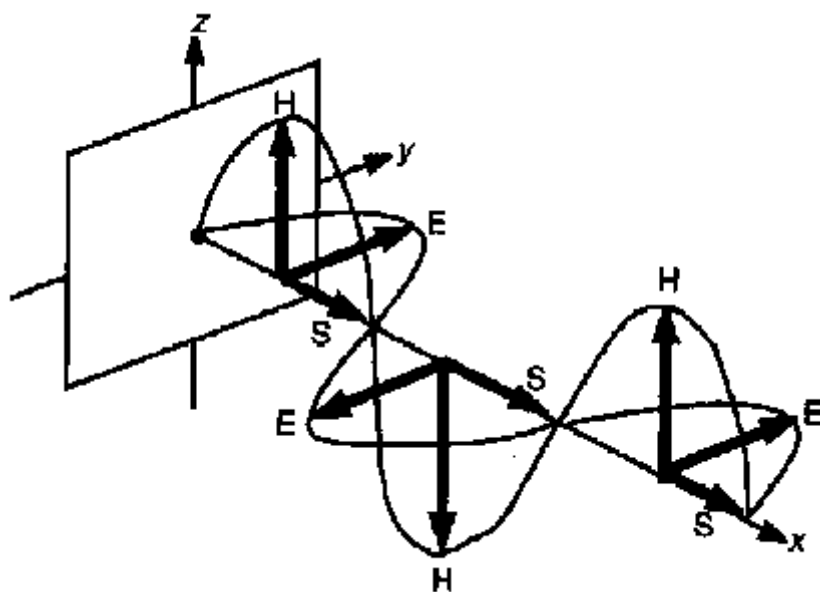


Fig5.2 - Frente de onda eletromagnética. [5]

O período é o tempo necessário para que um sinal variando no tempo volte a sua fase inicial. Obviamente isto só é válido para sinais periódicos. Mas como qualquer sinal poder ser representado como uma somatória de sinais senoidais, podemos considerar qualquer sinal como um sinal periódico.

O período T e é expresso por

$$T = f^{-1} \quad (5.1)$$

em que f é a frequência (o número de ciclos por segundo, em Hz).

5.1.2 Comprimento de onda

O comprimento de onda é a distância que um sinal periódico percorre para que se complete um ciclo, isto é, a distância entre duas superfícies de mesma fase

Para uma onda eletromagnética o comprimento de onda depende do meio no qual a onda se propaga, e é expresso por

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (5.2)$$

em que v é a velocidade de propagação, em m/s.

5.1.3 Velocidade de propagação

A velocidade de propagação da onda é determinada por

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (5.3)$$

em que μ é a permeabilidade magnética do meio e ϵ é a permissividade elétrica do meio. No vácuo,

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (5.4)$$

em que $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ e $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$. Um outro meio dielétrico qualquer é especificado em termos da permissividade relativa $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ e da permeabilidade relativa

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}. \quad (5.5)$$

5.1.4 Polarização

Uma onda eletromagnética que varia senoidalmente no tempo é caracterizada pela sua frequência, magnitude, fase e polarização.

A polarização é definida na superfície que contém o campo elétrico. Ela forma geométrica que o campo elétrico desenha nesta superfície ao longo do tempo em um ponto de observação.

Os tipos de polarização são:

- Linear
 - Vertical
 - Horizontal
 - Inclinada
- Elíptica
 - Elíptica
 - Circular

A polarização circular é um caso particular de polarização elíptica.

As Fig5.3 e Fig 5.4 ilustram uma onda eletromagnética com polarização linear vertical.

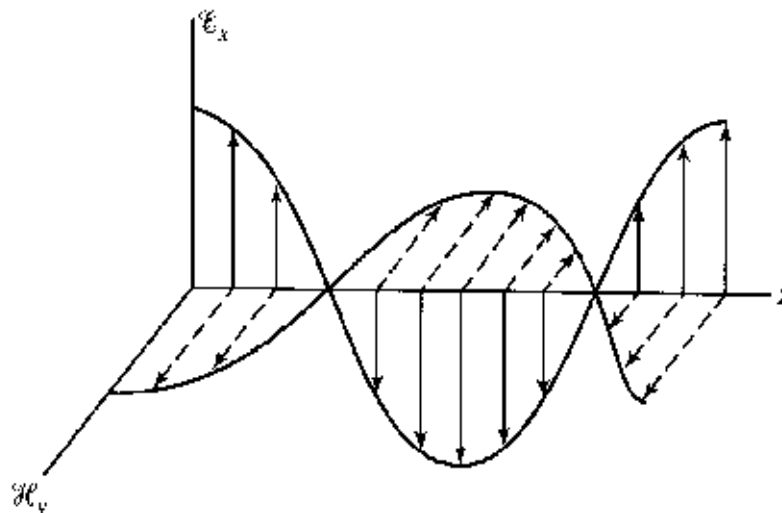


Fig5.3 - Comportamento espacial dos campos elétrico e magnético, em uma onda polarizada linearmente na vertical. [5]

Na Fig. 5.4 a ilustra uma onda com polarização linear vertical. Na Fig. 5.4 b a ilustração de uma onda com polarização linear horizontal. Na Fig. 5.4 c ilustra uma onda com polarização circular com sentido horário. Na Fig. 5.4 d ilustra uma onda com polarização circular com sentido anti-horário. Na Fig. 5.4 e ilustra uma onda com polarização elíptica com sentido horário. Na Fig. 5.4 f ilustra uma onda com polarização elíptica com sentido anti-horário.

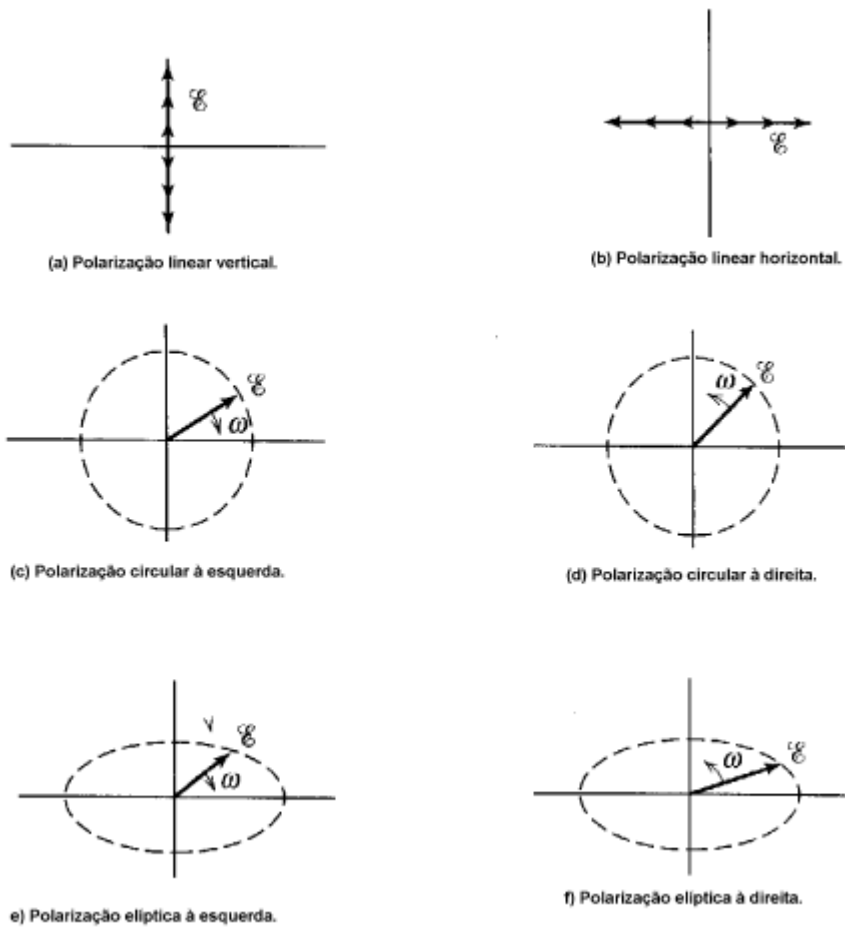


Fig5.4 Alguns tipos de polarização. A onda se aproxima do observador. [5]

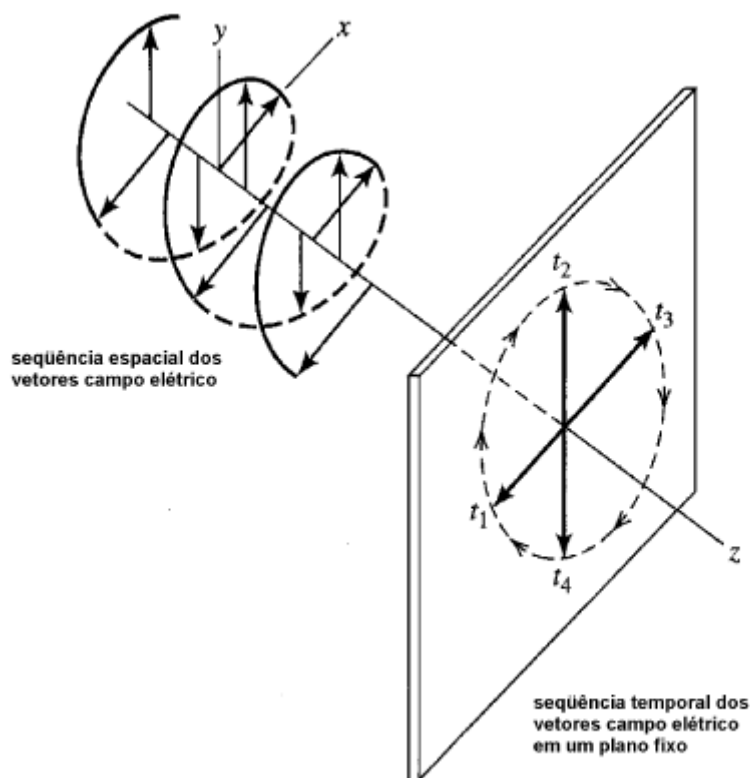


Fig5.5 Vista em perspectiva de uma onda circularmente polarizada para a esquerda. [5]

5.2 Conceitos básicos de radiação

5.2.1 Introdução

A radiação de energia eletromagnética pode ser um efeito desejado ou não.

No caso das antenas a radiação da energia eletromagnética é um efeito desejado. Desta forma um projeto de antena procura a maior eficiência possível para o tipo de aplicação desejada.

Com este objetivo são construídos os programas de simulação de antenas. O objetivo destes softwares é otimizar o projeto de uma antena melhorando os parâmetros que forem considerados mais importantes para o projeto.

Para o projeto de uma antena, os seguintes parâmetros são necessários.

1. A intensidade relativa do campo para várias direções (o diagrama de radiação da antena);
2. A potência total radiada quando a antena é excitada por uma tensão ou corrente conhecida;

3. A impedância de entrada da antena para propósito de casamento;
4. A largura de banda da antena com relação a alguma das propriedades anteriores;
5. A eficiência de radiação, ou a relação da potência radiada para a potência total;
6. Para antenas de alta potência, a máxima intensidade de campo, em determinadas posições no ar ou dielétrico, que possa causar efeito corona ou ruptura do dielétrico.

A técnica para se obter qualquer uma das informações anteriores é a solução das equações de Maxwell sujeitas às condições de contorno na antena e no infinito. Isso só é possível em alguns poucos casos, porque a maioria das configurações práticas são muito complicadas para a solução por esta técnica direta.

5.2.2 Equações de Maxwell

A teoria do eletromagnetismo se baseia nas equações de Maxwell. Estas equações foram obtidas de forma experimental e sua aplicação se confirma na prática.

As equações de Maxwell são apresentadas aqui para campos harmônicos pois na teoria de antenas é interessante desenvolver os raciocínios supondo campos variantes no tempo. São apresentadas funções do tipo $e^{j\omega t}$, em que $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular.

$$\nabla \times \bar{E} = \frac{-\partial \bar{B}}{\partial t} = -j\omega \bar{B} \quad (5.6)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} + \bar{J}_T = j\omega \bar{D} + \bar{J}_T \quad (5.7)$$

$$\nabla \cdot \bar{D} = \rho_T(t) = \rho_T \quad (5.8)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \quad (5.9)$$

Além das equações de Maxwell, são importantes as relações constitutivas quee são dadas por

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad (5.10)$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H} \quad (5.11)$$

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} \quad (5.12)$$

em que σ é a condutividade do meio. No espaço livre, as relações constitutivas são

$$\bar{D} = \epsilon_0 \bar{E} \quad (5.13)$$

$$\bar{B} = \mu_0 \bar{H} \quad (5.14)$$

As derivadas temporais foram substituídas por $j\omega$, considerando-se fasores de fontes senoidais, aonde:

$$\omega = 2\pi f \quad (5.15)$$

5.2.3 Condições de contorno

As relações (5.6) a (5.15) são válidas em pontos do espaço contínuo. Mas é necessário aplicar condições quando analisamos a propagação entre dois meios.

A Fig5.6 mostra um condutor perfeito ($\sigma = \infty$) com um vetor unitário normal \hat{n} para a superfície. O campo eletromagnético é nulo no condutor perfeito. Portanto, na superfície, a componente tangencial do campo elétrico é contínua através do contorno e é igual a zero, então

$$\hat{n} \times \bar{E} = 0 \quad (5.16)$$

Do mesmo modo, a componente normal do campo magnético deve ser zero, uma vez que nenhum fluxo magnético penetra no condutor, logo

$$\hat{n} \cdot \bar{H} = 0 \quad (5.17)$$

Na superfície condutora, deve fluir uma densidade de corrente J_s (A/m) dada por

$$\bar{J}_s = \hat{n} \times \bar{H} \quad (5.18)$$

A densidade de corrente é igual, em magnitude, à componente tangencial do campo magnético, mas esses dois vetores formam um ângulo reto. A densidade de carga na superfície do condutor é

$$\rho_s = \hat{n} \cdot \bar{D} \quad (5.19)$$

As linhas de densidade de fluxo terminam nas cargas uma vez que não existe campo dentro do condutor.

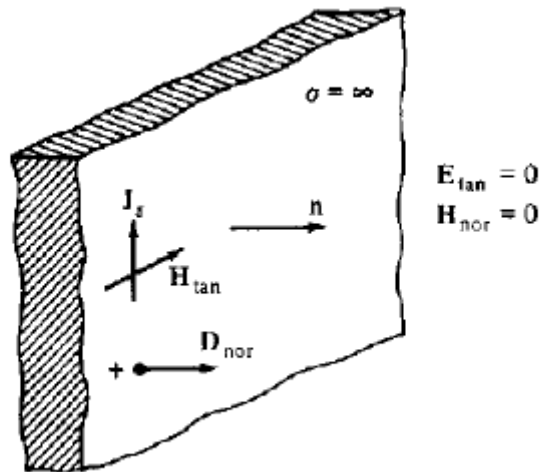


Fig5.6 Condições de contorno para um condutor perfeito. [5]

5.2.4 Funções potenciais

Para se obter a solução das equações de Maxwell para campos radiados é introduzida a função auxiliar potencial vetor magnético \mathbf{A} , que satisfaz a seguinte equação de onda vetorial

$$\nabla^2 \bar{A} + k^2 \bar{A} = -\bar{J} \quad (5.20)$$

em que $k = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ é a constante de propagação do meio. Os vetores campo elétrico e campo magnético são determinados deste vetor auxiliar por meio das relações

$$\bar{E} = -\bar{J}\omega\mu\bar{A} - j\frac{1}{\omega\epsilon}\nabla(\nabla\cdot\bar{A}) \quad (5.21)$$

$$\bar{H} = \nabla \times \bar{A} \quad (5.22)$$

Para calcular os campos eletromagnéticos para distribuições de correntes em antenas se utiliza uma série de suposições simplificadoras do modelo. A primeira delas consiste em que a antena emissora se localiza no espaço homogêneo infinito. Nesse caso, a solução para a equação de onda é da forma

$$\bar{A}(x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \iiint_v \bar{J}(x', y', z') \frac{e^{-jk|\hat{r}-\hat{r}'|}}{|\hat{r}-\hat{r}'|} dv' \quad (5.23)$$

em que $|\hat{r} - \hat{r}'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$ é a distância do ponto de observação para um ponto qualquer localizado na região da fonte de corrente, Fig5.7

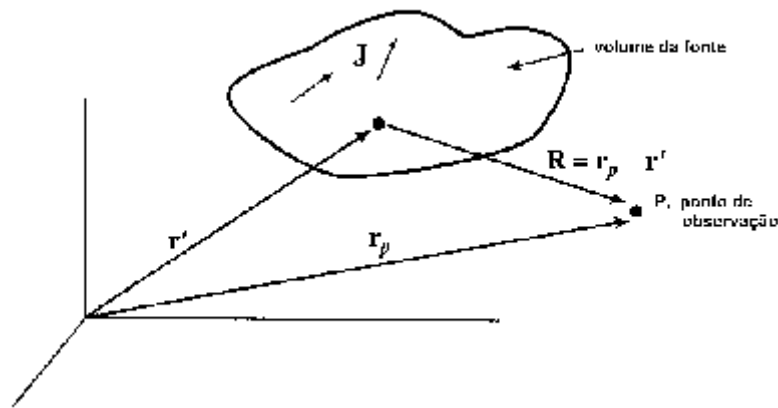


Fig5.7 Vetores usados para a solução de problemas de radiação. [5]

5.2.5 Dipolo elétrico elementar

Vários tipos de antenas são formados por conjuntos de fios condutores. Na maioria dos casos a seção transversal do fio é desprezada

O dipolo elétrico de Hertz, com corrente infinitesimal Idl , é um radiador elementar, Fig5.8.

As antenas reais, embora tenham uma distribuição de corrente diferente, podem ter seus campos calculados através de integração como se fossem uma série de infinitos dipolos de Hertz.

5.2.6 Campos radiados

Para a corrente infinitesimal da Fig5.8, em que Idl está na direção z , o potencial vetor magnético, determinado por (5.23), terá uma única componente na direção z igual a

$$A_z = I \frac{Id_z}{4\pi R} e^{-jkR} \quad (5.24)$$

Utilizando-se a componente esférica do potencial vetor $A = -A_z \sin\theta$ determina-se, na região de campo distante ($r \gg \lambda$),

$$E_\theta = j \frac{Id_z}{2\lambda} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \sin\theta \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (5.25)$$

$$H_\phi = \frac{E_\theta}{\eta} = j \frac{Id_z}{2\lambda} \sin\theta \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (5.26)$$

em que $\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377\Omega$ é a impedância intrínseca do espaço livre.

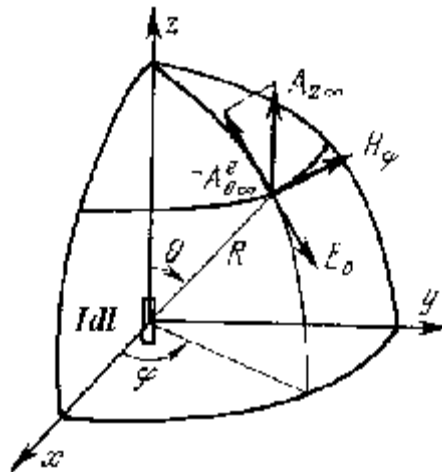


Fig5.8 Corrente elementar na origem do sistema de coordenadas esféricas. [5]

Das expressões (5.7) e (5.8) e da Fig5.8, se conclui que:

1. O dipolo de Hertz emite ondas progressivas, que se deslocam para o infinito com a velocidade da luz;
2. O vetor E se localiza no plano de elevação, que passa pelo eixo do dipolo; e o vetor H se localiza no plano de azimute. Portanto, o dipolo emite ondas com polarização linear;
3. As superfícies de fase constante dessas ondas são esferas cujos centros coincidem com o centro do dipolo. Então, o dipolo tem um centro de fase que coincide com o seu centro.

As magnitudes, dos campos elétrico e magnético, dependem do ângulo de observação. Devido à simetria axial os campos não dependem do ângulo de observação ϕ . No plano de elevação (no plano do vetor E), o diagrama de radiação é uma senóide, traçada no sistema de coordenadas polares. No plano azimute (no plano do vetor H), o diagrama de radiação é uma circunferência. Portanto, o dipolo de Hertz radia o máximo de energia na direção perpendicular ao seu eixo e, ao longo do seu eixo, a radiação é zero, Fig5.9

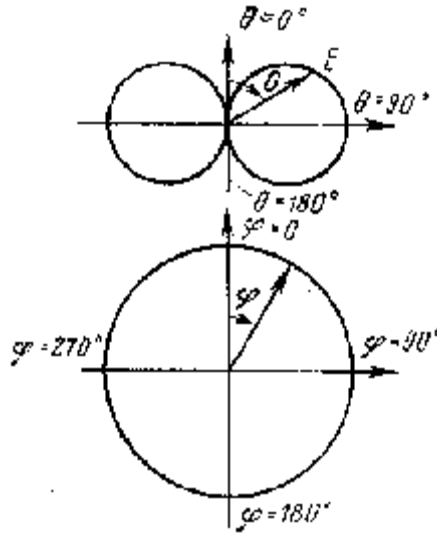


Fig5.9 Diagrama direcional do dipolo elétrico de Hertz. [5]

5.2.7 Potência radiada e resistência de radiação

A potência média radiada pelo dipolo de Hertz para campo distante pode ser obtida pela integral do vetor de Poynting em uma superfície fechada.

$$P_r = \frac{1}{2} \text{Re} \left[\oint_S \vec{E} \times \vec{H}^* \cdot d\vec{s} \right] = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \frac{|E_\theta|}{\eta} R^2 \sin\theta d\theta = \frac{40\pi^2}{\lambda^2} (Idz)^2 \quad (5.27)$$

É conveniente se expressar a potência média radiada da seguinte forma

$$P_r = \frac{1}{2} |I_A|^2 R_r \quad (5.28)$$

em que R_r é a resistência de radiação da antena e I_A é o valor da amplitude da corrente em qualquer ponto da antena, em geral utiliza-se o valor máximo. Comparando-se (5.9) e (5.10), tem-se que a resistência de radiação, para o dipolo de Hertz, é

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{dz}{\lambda} \right)^2 \Omega \quad (5.29)$$

A resistência de radiação da antena é importante do ponto de vista da sua comparação com a resistência devido às perdas ôhmicas R_p , que determina a potência dissipada por aquecimento: $P_p = 1/2 |I|^2 R_p$. Quando a corrente se distribui uniformemente, como ocorre no dipolo de Hertz, a resistência de perdas é igual a $R_p = R_l dz$, em que R_l é a resistência linear do condutor, calculada em alta frequência mediante a teoria do efeito pelicular ou efeito skin, em /m. Pode-se estabelecer a eficiência do dipolo mediante a relação

$$e_r = \frac{P_r}{P_r + P_p} = \frac{R_r}{R_r + R_p} = \frac{\frac{dz}{\lambda}}{\frac{dz}{\lambda} + \frac{3R_l \lambda}{2\pi\eta}} \quad (5.30)$$

5.2.8 Diretividade

A diretividade mede a capacidade de uma antena de concentrar a energia em uma determinada direção em detrimento de outras direções. Para a direção de máxima radiação, a diretividade é determinada por

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{S_{m\acute{a}x}}{S_{m\acute{e}d}} \quad (5.31)$$

Como $S_{m\acute{e}d} = \frac{P_r}{4\pi R^2}$ e $S_{m\acute{a}x} = \frac{|E_{m\acute{a}x}|^2}{2\eta}$, a expressão para a determinação da diretividade torna-se

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{|E_{m\acute{a}x}|^2 2\pi R^2}{\eta P_r} \quad (5.32)$$

Ou, para o espaço livre,

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{|E_{m\acute{a}x}|^2 R^2}{60 P_r} \quad (5.33)$$

Usando-se as equações de Maxwell (5.6) a (5.9), bem como identidades vetoriais e as relações intrínsecas do meio dadas por (5.11) a (5.14), pode-se demonstrar que a diretividade do dipolo de Hertz, na direção de máxima radiação, é igual a 1,5 (ou 1,76 dBi = -0,39 dBd).[1]

5.2.9 Antena dipolo

A antena dipolo é amplamente utilizada na prática como um elemento isolado ou na formação de conjuntos mais complexos. O dipolo elétrico é um condutor cilíndrico de comprimento $l_1 + l_2$ e raio a , alimentado nos pontos de corte por um gerador em alta frequência, Fig5.10 Quando os comprimentos dos braços são iguais, $l_1 = l_2$, o dipolo é simétrico. O gerador pode ser acoplado no dipolo de diversas maneiras. Em particular, os dipolos simétricos podem ser alimentados por meio de linhas de transmissão bifilares (equilibradas).

Para determinar os campos elétrico e magnético radiados pelo dipolo, pode-se utilizar o método direto. Considere o dipolo simétrico orientado no eixo z , com o seu centro coincidindo com a origem do sistema de coordenadas esféricas. Como as correntes que circulam no dipolo têm somente componentes na direção z , o potencial vetor na região de campo distante, equação (5.23), terá somente a componente z , igual a

$$A_z = \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \int_{-l}^l I_z(z') e^{-jkz' \cos\theta} dz' \quad (5.34)$$

em que $z' \cos\theta$ é a diferença de percurso entre os raios traçados desde a origem das coordenadas e desde o ponto de integração z' até o ponto de observação.

Utilizando uma distribuição de corrente senoidal da forma

$$I_z = I_0 \frac{\sin k(l-|z|)}{\sin kl} \quad |z| < l \quad (5.35)$$

e a relação entre o potencial vetor magnético e o campo elétrico determina-se

$$E_\theta = \frac{j I_0 \eta}{2\pi \sin kl} \frac{\cos(kl \cos\theta) - \cos kl}{\sin\theta} \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (5.36)$$

Para um dipolo curto, os cossenos com pequenos argumentos na fórmula (5.19) podem ser substituídos pelos dois primeiros termos do desenvolvimento em série exponencial $\cos\alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$, e, considerando que $\sin kl \approx kl$, chega-se a

$$E_{\theta} = \frac{jI_0\eta}{2} \frac{l}{\lambda} \sin\theta \frac{e^{-jkR}}{R} \quad \text{Para } kl \ll 1 \quad (5.37)$$

Comparando as equações (5.19) e (5.7) se conclui que o dipolo simétrico curto, com distribuição de corrente senoidal, é equivalente, para o campo radiado, ao dipolo elétrico de Hertz de comprimento duas vezes menor e possui um diagrama de radiação normalizado igual a $F(\theta) = j\sin\theta$. Em particular, para o dipolo curto de comprimento total $2l$ a diretividade no plano transversal é 1,5 e o módulo da resistência de radiação no espaço livre é igual a

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \Omega \quad (5.38)$$

Para o dipolo de meia onda com o comprimento de cada braço $l = \frac{\lambda}{4}$, a expressão (5.19) se reduz a

$$E_{\theta} = \frac{jI_0\eta}{2} \frac{l}{\lambda} F(\theta) \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (5.39)$$

Em que

$$F(\theta) = j \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \quad (5.40)$$

A radiação máxima, como no caso anterior, está orientada no plano transversal $\theta = \frac{\pi}{2}$ e a largura do diagrama de radiação é um pouco menor. A largura do diagrama de radiação é normalmente caracterizada pelo ângulo de abertura $\Delta\theta$, em cujos limites a intensidade de campo não é menor que a intensidade de campo na direção de radiação máxima dividida por $\sqrt{2}$. Esse ângulo de abertura é denominado de largura de feixe de meia potência.

Aumentando-se o comprimento dos braços do dipolo para $l = \frac{\lambda}{2}$ o diagrama de radiação transversal do dipolo simétrico se estreita e, para $l > \frac{\lambda}{2}$, além do lobo principal aparecem lóbulos secundários. Aumentando-se ainda mais o comprimento dos braços do dipolo, o lobo principal começa a diminuir e os lóbulos secundários aumentam. Isto se deve

ao surgimento de setores em oposição de fase na distribuição de corrente ao longo do dipolo, Como exemplo, para $l = \lambda$ não ocorre radiação na direção $\theta = 90^\circ$. Salientando que o comprimento de cada braço do dipolo mede l , isto é, o tamanho total do dipolo é $2l$

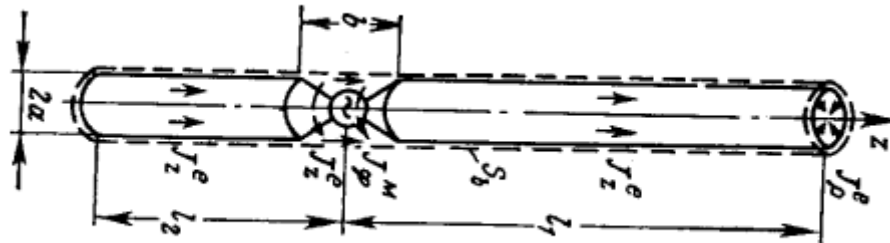


Fig5.10 Dipolo elétrico. [5]

5.3 Parâmetros principais de antenas

5.3.1 Introdução

As antenas são importantíssimas para o funcionamento de meios de comunicação, radares etc.

Para o funcionamento eficaz, as antenas devem satisfazer certos requisitos. Entre eles cabe destacar em primeiro lugar duas condições.

1. A antena deve distribuir a energia no espaço de forma otimizada, evitando desperdiçar energia em direções onde não é necessário. Esta característica é avaliada através do diagrama de irradiação da antena.
2. A transmissão de uma antena também não deve consumir a energia que deveria ser radiada. Desta forma a antena deve ter a melhor eficiência possível na radiação do campo eletromagnético.

5.3.2 Diagrama de radiação

Um dos parâmetros mais importantes das antenas é o diagrama de radiação que determina como a antena radia nas diversas direções a sua volta. No caso mais geral, a curva característica de radiação envolve o produto de três fatores

$$\bar{F}(\theta, \phi) = F(\theta, \phi)\bar{p}(\theta, \phi)e^{j\Phi(\theta, \phi)} \quad (5.41)$$

Em (5.41), o fator real positivo $F(\theta, \phi)$ é a curva característica de radiação (diagrama direcional) de amplitude do campo. Esse fator é normalizado de modo que

$$\max[F(\theta, \phi)] = 1 \quad (5.42)$$

Elevado ao quadrado, $F(\theta, \phi)$ se transforma automaticamente na curva característica de radiação de potência. Então, a função $F^2(\theta, \phi)$ descreve a distribuição angular normalizada do vetor de Poynting total $\bar{S} = \bar{E} \times \bar{H}$, na região de campo distante da antena.

A curva característica da amplitude de radiação de uma antena pode ser obtida tanto teórica como experimentalmente. Para a sua representação, se utilizam distintos métodos de construção gráfica. A Fig.5.11 mostra alguns diagramas de radiação de antenas.

A representação espacial da superfície total do diagrama direcional de amplitude, semelhante aos da Fig.5.11, é bastante complexa e, por isso, é comum se apresentar planos convenientes desse diagrama. Para antenas de baixa diretividade como, por exemplo, a antena dipolo, se utilizam as seções principais do sistema de coordenadas esféricas: o plano equatorial e o par de planos ortogonais meridianos. Quando as antenas são direcionais, se utilizam pares de seções perpendiculares, que passam pela direção de radiação máxima. Nesse caso, uma das seções escolhidas é o plano em que o lóbulo principal do diagrama tem largura mínima. Se as antena têm polarização linear, também se pode escolher o par de seções paralelas aos vetores campos elétrico e magnético, os denominados plano E e plano H.

Para representar as seções dos diagramas direcionais, se utilizam as coordenadas polares e cartesianas, assim como se utilizam diferentes escalas de amplitude: linear (para campo), quadrática (para potência) e logaritma (dB). A Fig.5.12 mostra diferentes formas de representação de um mesmo diagrama direcional bidimensional para comparação. Os diagramas direcionais polares têm como inconveniente a dificuldade de se determinar com exatidão as posições angulares de zero e de máximo de radiação. A escala quadrática tende a

omitir os lóbulos de pequena magnitude e, por isso, não servem para representar diagramas de antenas com baixa radiação lateral. A escala logaritma se estabelece pela relação

$$FdB(\theta, \phi) = 20 \log F(\theta, \phi) = 10 \log F^2(\theta, \phi) \quad (4.43)$$

e descreve muito bem as particularidades dos diagramas direcionais de amplitude em um extenso intervalo dinâmico.

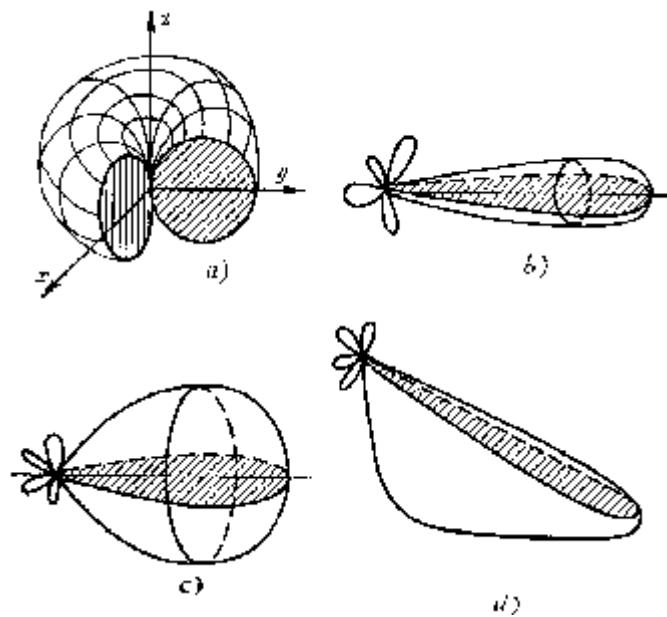


Fig5.11 Diagramas de radiação típicos. [5]

5.3.3 Polarização

O fator $\bar{p}(\theta, \phi)$ na equação abaixo é o vetor unitário de polarização, com as componentes orientadas segundo as direções dos vetores básicos do sistema de coordenadas esféricas

$$\bar{p}(\theta, \phi) = p_\theta(\theta, \phi)\hat{a}_\theta + p_\phi(\theta, \phi)\hat{a}_\phi \quad (5.44)$$

O módulo do vetor \bar{p} sempre é igual à unidade, independentemente das direções θ, ϕ , isto é

$$\sqrt{|p_\theta|^2 + |p_\phi|^2} = 1 \quad (5.45)$$

As componentes p_θ e p_ϕ indicam, para cada direção θ, ϕ , o conteúdo relativo das componentes vertical e horizontal do vetor intensidade de campo elétrico na região de campo distante da antena, assim como a defasagem entre essas componentes.

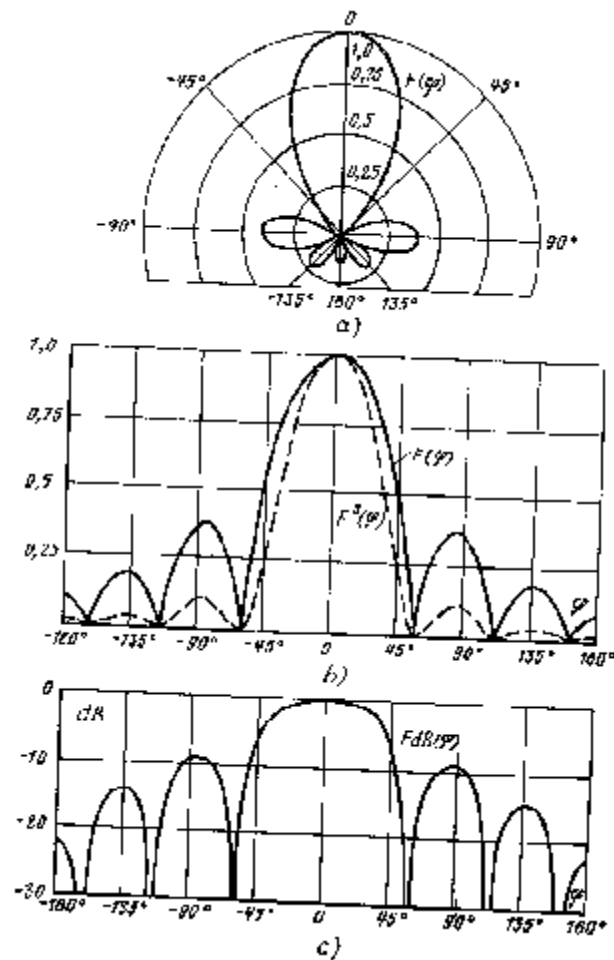


Fig5.12 Formas de representação de diagramas direcionais em duas dimensões. [5]

5.3.4 Diretividade e Ganho

A diretividade de uma antena é dada pela relação da máxima intensidade de radiação (potência por unidade de ângulo sólido) $U(\theta, \phi)_{máx}$ para a intensidade de radiação média $U_{méd}$. Ou, para uma certa distância da antena, a diretividade pode ser expressada como a relação entre o valor máximo do vetor de Poyntig e o seu valor médio

$$D = \frac{U(\theta, \phi)_{máx}}{U_{méd}} = \frac{S(\theta, \phi)_{máx}}{S_{méd}} \quad (5.46)$$

Ambos os valores da intensidade de radiação e do vetor de Poynting devem ser medidos na região de campo distante da antena. O vetor de Poynting médio sobre uma esfera é dado por

$$S(\theta, \phi)_{méd} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi S(\theta, \phi) d\Omega \frac{W}{m^2} \quad (5.47)$$

Então, a diretividade

$$D = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{máx}} d\Omega} = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_n(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (5.48)$$

em que P_n é o vetor de Poynting normalizado e Ω_A é a área de feixe da antena.

Como exemplo, para uma antena isotrópica (igual radiação em todas as direções)

$P_n(\theta, \phi) = 1$ (para todo θ e ϕ), e então $\Omega_A = 4\pi$, o que significa uma diretividade unitária.

Esta é a menor diretividade que uma antena pode apresentar. Logo, Ω_A deve sempre ser igual ou menor que 4π , enquanto a diretividade deve ser igual ou maior que a unidade.

O ganho de uma antena tem relação com a eficiência da antena. Se a eficiência não é igual a 100%, o ganho é menor que a diretividade. Então, o ganho é igual a

$$G = eD \quad (5.49)$$

em que “e” é o fator de eficiência que varia entre (0 e 1). Desprezando o efeito de lóbulos secundários e as perdas, pode-se determinar o ganho por meio da expressão aproximada

$$D \cong \frac{4\pi}{\theta_{HP} \phi_{HP}} \cong \frac{41.000}{\theta^{\circ}_{HP} \phi^{\circ}_{HP}} \quad (5.50)$$

em que θ_{HP} é a largura de feixe de meia potência no plano θ e ϕ_{HP} é a largura de feixe de meia potência no plano ϕ , Fig.5.13. Nessa figura, o dipolo de meia onda é usado como referência para o ganho de uma antena, então, em decibéis, tem-se que

$$dBi = dBd + 2,15 \quad (5.51)$$

em que dBi é o ganho relativo ao radiador isotrópico e dBd é o ganho relativo ao dipolo de meia onda.

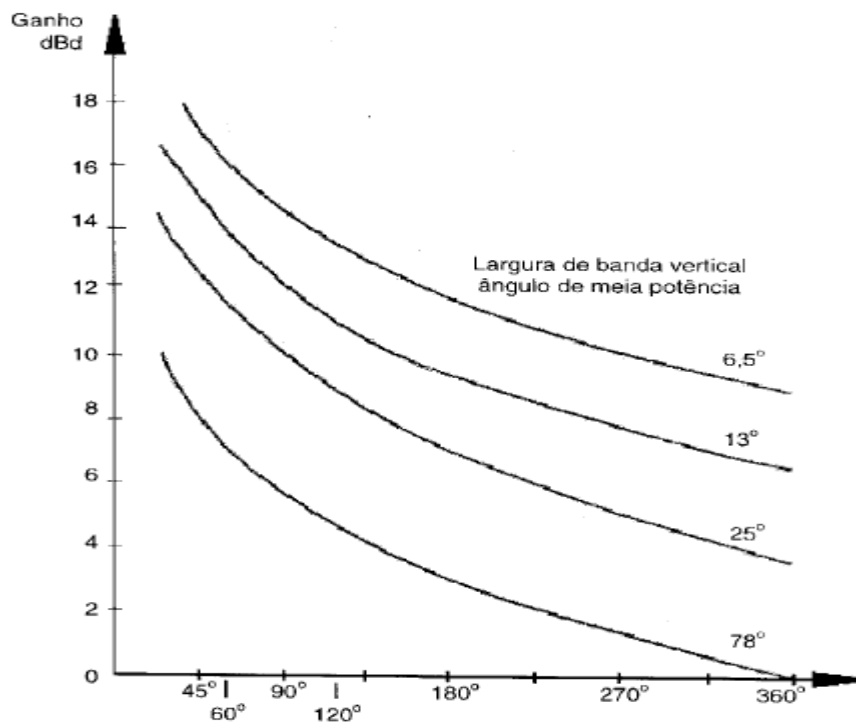


Fig5.13 Ganho em função da largura de feixe. [5]

O aumento da concentração de energia em uma direção pode ser obtido por meio de conjunto de antenas elementares. A Fig.5.14 mostra esse efeito utilizando-se conjuntos de dipolos de meia onda.

5.3.5 Relação frente-costas

A relação frente-costas é a comparação entre o lóbulo principal ou frontal e o nível de lóbulo traseiro. Quanto maior o valor da relação frente costas, menos energia a antena radia nas direções que não a do lóbulo frontal. Isto indica que a antena também sofre menos interferência de sinais vindos de direções diferentes do lóbulo frontal Fig.5.14. Esse parâmetro é importante no estudo da interferência de sinais provenientes de outras antenas.

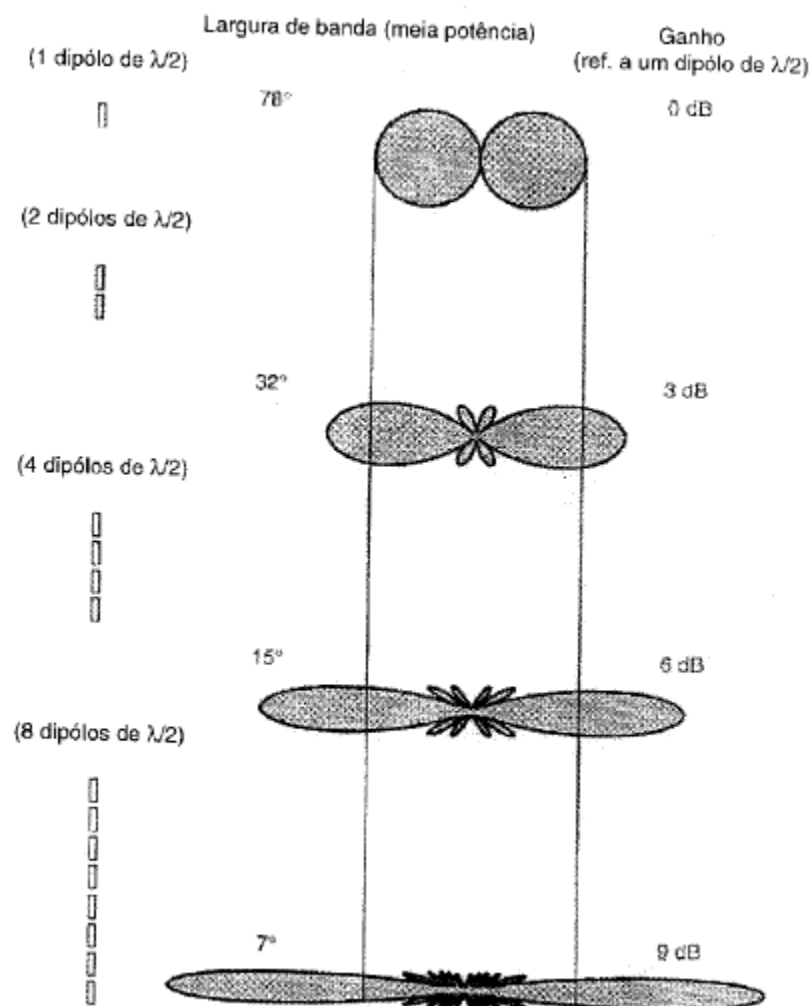


Fig5.14 Aumento do ganho por meio de conjunto de dipolos de meia onda. [5]

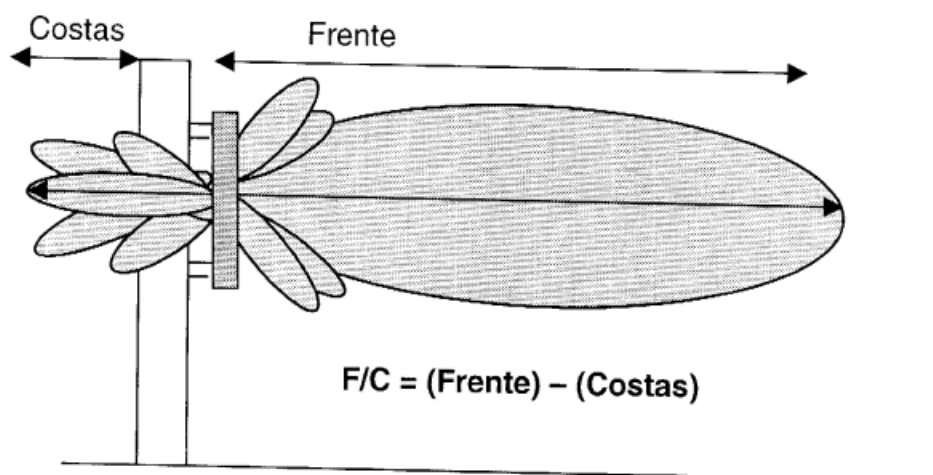


Fig5.15 Relação frente-costas (diagrama em dB). [5]

5.3.6 Impedância

A impedância de entrada de uma antena é uma função da frequência e não pode ser descrita por uma expressão analítica simples. No entanto, para uma dada frequência, a impedância da antena pode ser representada por uma resistência em série com uma reatância. Em uma banda estreita de frequências, essa representação ainda pode ser utilizada, mas somente de forma aproximada. Quando a banda de frequências é centrada na frequência de ressonância da antena, uma melhor aproximação é obtida representando-se a antena como um circuito RLC série. Quando a faixa de operação estende-se sobre uma grande banda de frequências, esta representação não é adequada.[5]

5.3.7 Largura de banda

A largura de banda de uma antena é um parâmetro importante, pois os meios de comunicação exigem cada vez mais capacidade de tráfego de informação. E a quantidade de informação que um sistema de comunicação é capaz de trafegar está diretamente ligada à largura de banda que este sistema é capaz de transmitir com eficiência.

A largura de banda de uma antena é medida em termos de outros parâmetros. Isto é, é preciso saber como a antena se comporta em relação a certos parâmetros ao longo de toda a sua banda de frequências.

A largura de banda pode ser definida para um valor mínimo de eficiência de radiação, ou para uma diretividade mínima na direção de máxima diretividade.

5.4 Programas de Simulação

5.4.1 Introdução

Nesse capítulo, pretende-se descrever o funcionamento dos programas de simulação de antenas já existentes no Sistema Web de Simulação de Antenas. São eles o GRADMAX e o WebPRAC.

É necessário ressaltar que outros programas podem ser incluídos posteriormente no Sistema. Bastando seguir as orientações do Capítulo 6.

5.4.2 WebPrac

O PRAC (*Parabolic Reflector Analysis Code*) é um programa de simulação de antenas parabólicas escrito em Pascal. Programas escritos em linguagem Pascal geram problemas em versões mais recentes do Windows e principalmente em outros sistemas operacionais. Desta forma o WebPRAC foi desenvolvido em Java Applets, que o torna flexível quanto aos diversos sistemas operacionais e navegadores de internet.

Ele já foi muito utilizado no ensino de antenas, em pesquisas e também pela indústria atingindo resultados notáveis, sendo comparável com softwares proprietários. Por ser um software gratuito, ele pode ser utilizado e distribuído sem nenhum custo. [4]

Ao acessar o programa WebPrac, o usuário visualizará a imagem da Fig. 5.1. Para utilizar o WebPRAC, basta preencher os parâmetros da antena e clicar em uma das duas opções existentes: “*Run and Plot*” ou “*Run Table*”. A primeira opção realizará a análise da antena e mostrará o diagrama de radiação da mesma. A segunda opção também realizará a análise da antena, entretanto, retornará os valores dos pontos do gráfico traçado em “*Run and Plot*” permitindo que os resultados obtidos sejam exportados para outros softwares.

Como pode-se verificar na Fig. 5.16 os parâmetros de entrada do software:

Tabela 5.2 – Parâmetros de entrada

- **Frequency:** frequência em que a antena funcionará. Expressa em Ghz.
- **Dimension Unit:** unidade em que os dados serão incluídos. Pode-se escolher cm, m, polegadas ou pés.
- **D:** o diâmetro da antena, expressa na unidade selecionada no item anterior.
- **H:** a altura da antena em relação ao eixo S .
- **F/Dp Ratio:** a razão entre o valor de F e o valor de Dp .
- **Phi:** Ângulo de visualização
- **Inicial theta:** Refere-se ao valor do primeiro ângulo que será feita a análise do ganho.
- **Theta Increments:** Refere-se ao incremento de ângulo em relação ao theta inicial.
- **N. of theta values:** Refere-se ao número de pontos que serão calculados. Combinado com os valores de *Inicial Theta* e *Theta Increments*, esse valor definirá os ângulos thetas que serão calculados.
- **Feed Type:** Refere-se a modelagem matemática do alimentador. Atualmente, apenas o modelo \cos^q está implementado.
- **Feed Pointing Angle:** Refere-se ao ângulo do alimentador em relação ao plano S . Ângulo ψ_f .
- **Feed Taper:** Refere-se ao valor em dB do modelo \cos^q .
- **Feed Taper Angle:** Refere-se ao valor do ângulo, em graus do modelo \cos^q .

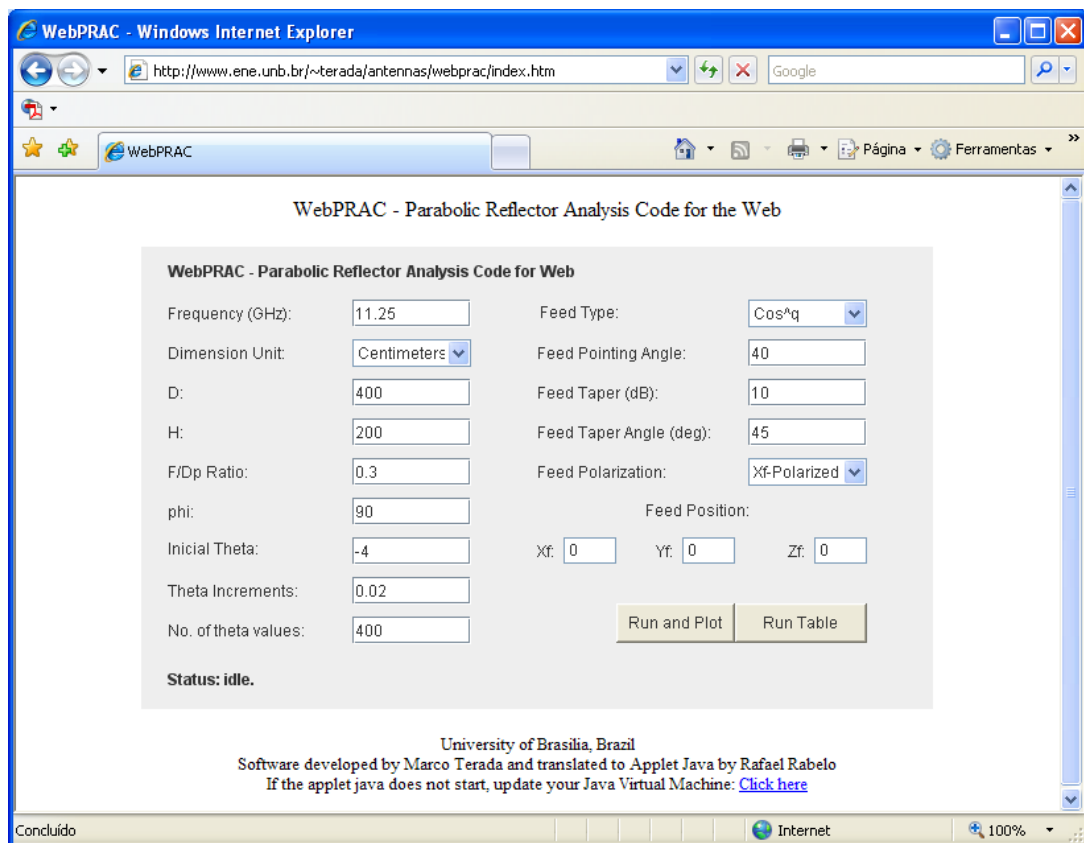


Fig. 5.16 – Tela inicial do WebPRAC[4]

A Fig. 5.17 mostra os parâmetros geométricos do refletor parabólico offset.

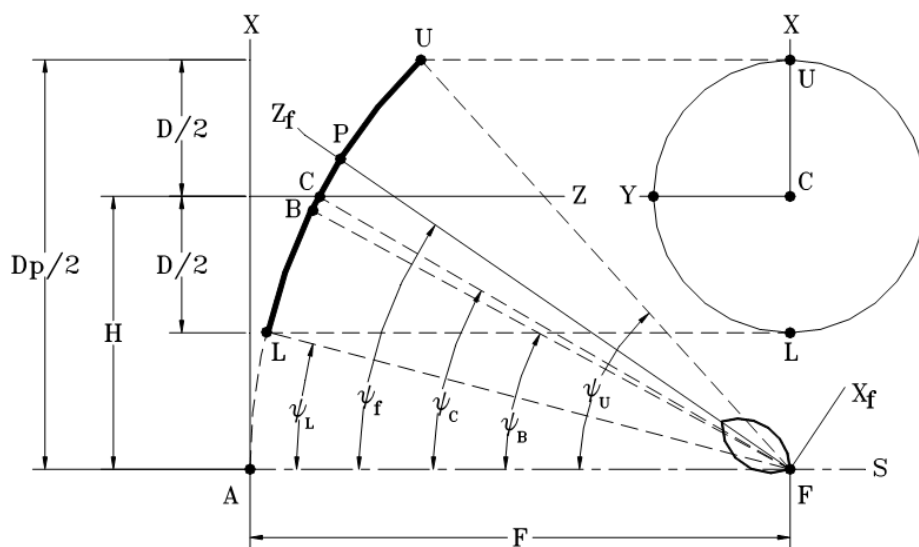


Fig. 5.17 – Parâmetros geométricos do refletor parabólico offset.[4]

A Fig. 5.18 mostra o gráfico que é traçado a partir dos valores padrão que são carregados em conjunto com o WebPRAC. Eles são referentes a uma antena com 4 m de diâmetro e que opera na frequência de 11,25 Ghz.

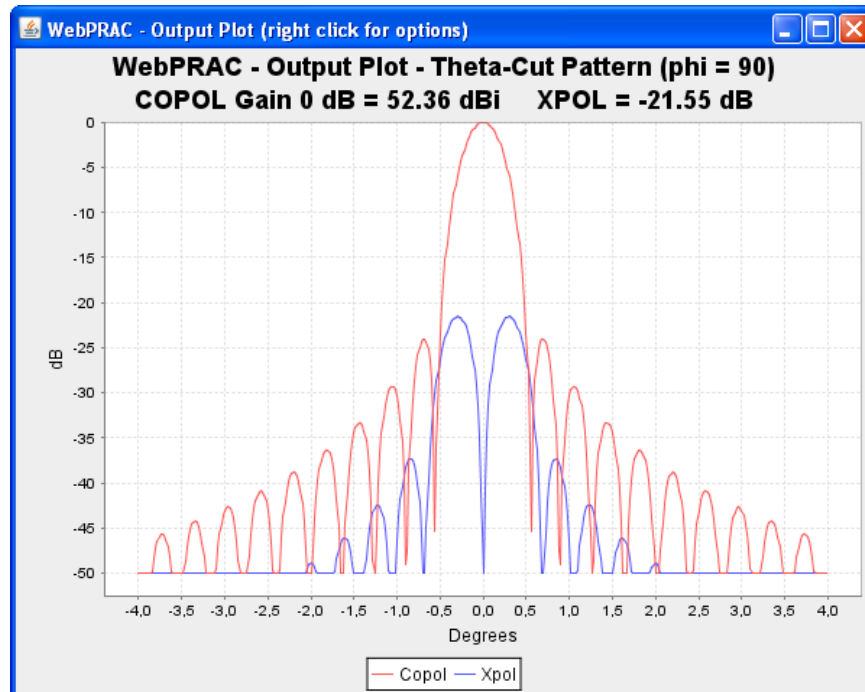


Fig. 5.18 – Diagrama de radiação da antena padrão do WebPRAC. [4]

5.4.3 GRADMAX

O *GRADMAX for Web* é um software de análise e otimização de antenas de fio, escrito primeiramente em 1991 para MS-DOS. Nas últimas décadas, antenas de fios sempre estiveram relacionadas a sistemas de radiodifusão. Apesar de também terem sido utilizadas para outras aplicações abaixo de 2 GHz como o GPS, apenas com o advento da TV Digital esse tipo de antena começou a ser pesquisada novamente. [4]

Da mesma forma que o *WebPRAC*, o *GRADMAX for Web* está escrito na tecnologia de Applets Java.

Ao executar o GRADMAX o usuário visualizará a tela da Fig. 5.19. Nesta tela é possível carregar algumas antenas conhecidas que já fazem parte do programa, entre elas:

- Dipolo;
- Cardióide;
- Yagi;
- Monopolo com 6 fios;
- V-Dipolo.

Para carregar as antenas já existentes no programa o usuário deve clicar no botão “Load” para que os parâmetros sejam carregados, depois clica-se em “Run” para que seja feita a simulação e o seu diagrama de radiação calculado e traçado. A Fig. 5.20 mostra o diagrama de radiação nos planos xy e xz para um dipolo com 45 cm de diâmetro. Outra opção é o botão “Segments” que mostra os segmentos em qual o fio é dividido para o cálculo pelo método dos momentos.

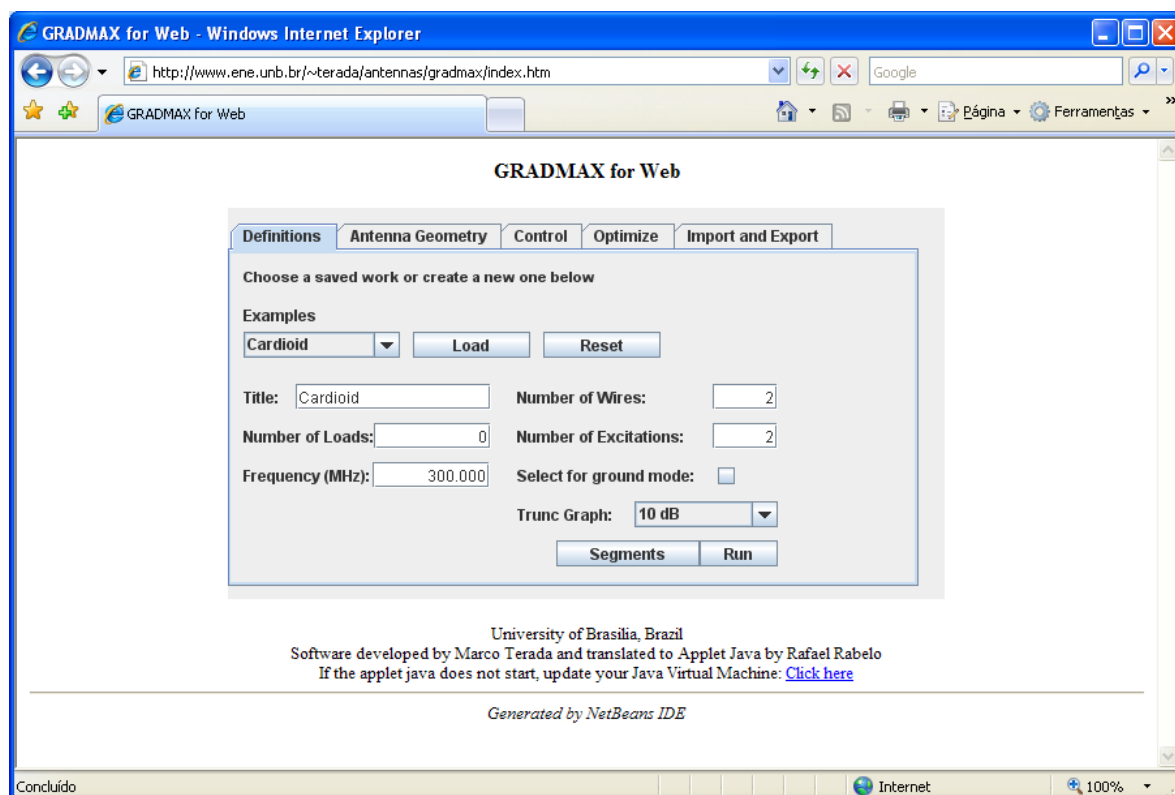


Fig. 5.19 – Tela inicial do GRADMAX para Web. [4]

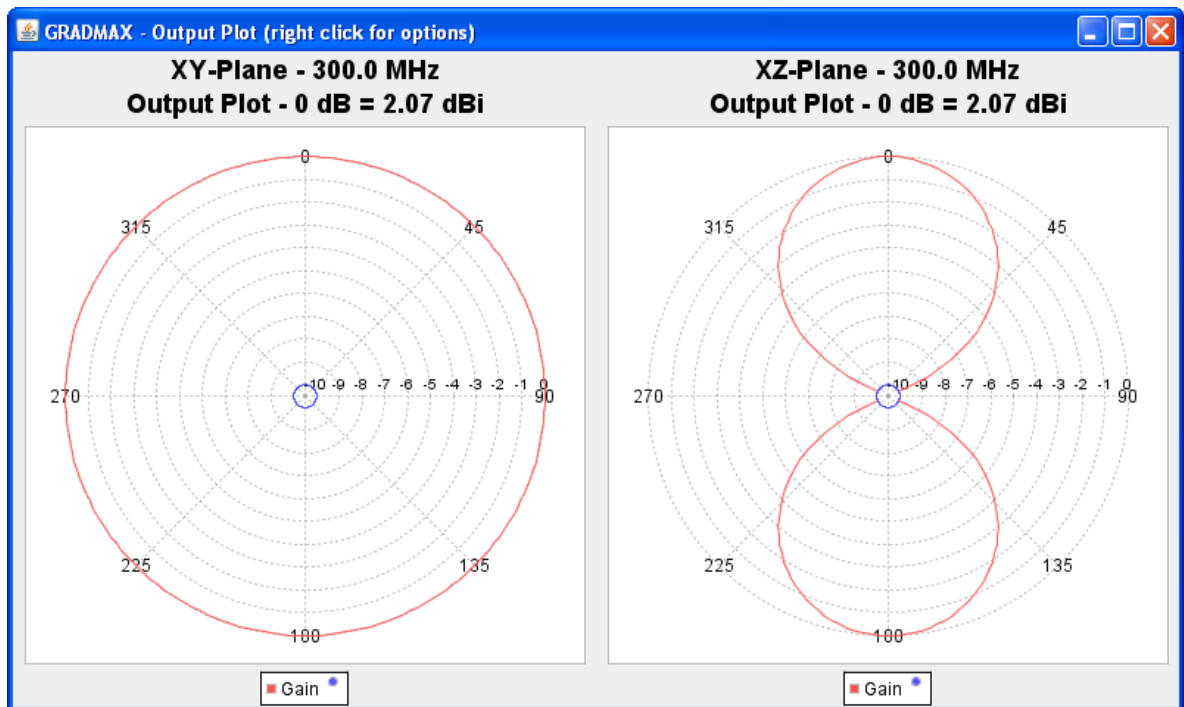


Fig. 5.20 – Diagrama de radiação de um dipolo. [4]

5.4.4 Incluindo uma nova antena no GRADMAX for Web

Caso o usuário deseje simular uma antena diferente das pré-definidas, deve-se clicar no botão “Reset” que limpa os parâmetros que estavam carregados. Em seguida, o usuário deve preencher três abas:

- *Definitions;*
- *Antenna Geometry;*
- *Control.*

Primeiramente o usuário deve preencher os campos da aba *Definitions*. São eles:

- *Title:* O nome da antena. É um campo texto qualquer;
- *Number of wires:* Número de fios dessa antena. Atualmente está limitada 100 fios.
- *Number os loads:* Número de cargas da antena.
- *Number of excitations:* Número de excitações para a antena.
- *Frequency (Mhz):* A frequência de operação da antena, em Mhz.

- *Select for ground mode*: Essa opção deve estar selecionada caso a antenna esteja operando no modo terra.
- *Trunc graph*: O valor em que o gráfico será truncado em relação ao máximo da antena. Por padrão, está setado em 10 dB.

Após o preenchimento da aba *Definition* O usuário deve definir as coordenadas de cada fio, para alternar entre os fio basta utilizar os botões de navegação “*Next wire*” e “*Previous wire*”.

Para o preenchimento dessa aba, sugere-se que primeiro seja feito um desenho como o da Fig. 5.21 para facilitar a visualização da antena e a inclusão das coordenadas e informações dos fios corretamente. Essa figura mostra um exemplo de uma antena em que 1, 2 e 3 são fios. As coordenadas x, y e z de cada ponto devem ser inseridos nos campos X1, X2, Y1, Y2, Z1 e Z2. O valor de NS deve ser preenchido com o número de segmentos do fio.

Após preencher os dados dos fios pode-se clicar no botão “*Segments*” na aba *Definitions*. Então o GRADMAX exibirá cada fio e seus segmentos. O usuário pode verificar os segmentos desta forma para decidir em qual segmento ficará a excitação.

Os valores de C1 e C2 definem os pontos de conexão e para o iésimo fio deve ser levado em conta que uma conexão existe apenas com um fio anteriormente definido.

Os valores para C1 e C2 valem:

- 0: quando não houver conexão;
- -i: conexão ao plano terra;
- k: se o ponto final do fio “i” estiver conectado com o fio “g” (E1 com E2 ou E2 com E1), onde $k < i$;
- -k: se o ponto final do fio “i” estiver conectado com o fio “g” (E1 com E1 ou E2 com E2), onde $k < i$. Conexões negativas geram problemas quando for utilizada a opção de otimização.
- Fio 1
 - C1 = -1 (conexão do ponto E1 - plano terra);
 - C2 = 0 (é nulo pois os fios 2 e 3 ainda não foram definidos).
- Fio 2
 - C1 = 1 e C2 = 0
- Fio 3

- $C1 = 1$ (ou -2) e $C2 = 0$

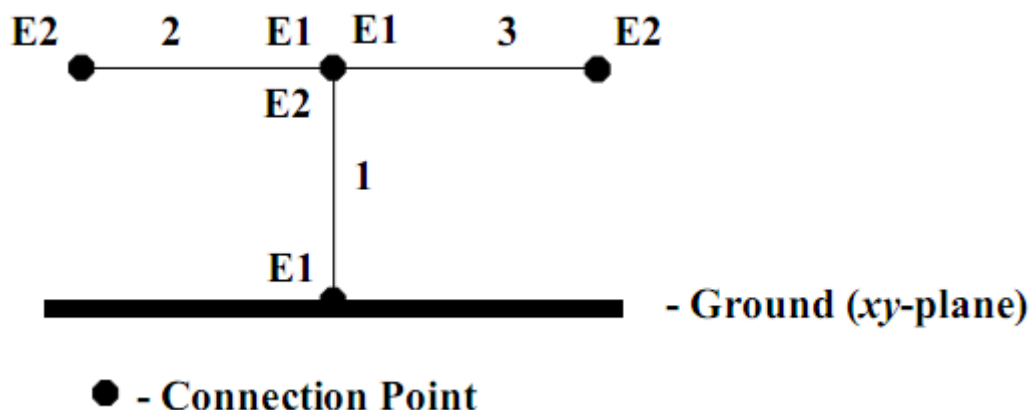


Fig. 5.21 – Exemplos de conexão dos fios da antena. [4]

5.4.5 Dicas e Erros comuns de utilização

- Os diagramas de radiação são desenhados apenas nos planos xy e xz. O usuário deve dispor as antenas de forma que pelo menos um dos principais planos sejam traçados.
- O plano terra deve ser o xy.
- Todas as dimensões devem estar em metros.
- Os pontos decimais são sempre fixados nos campos de entrada.
- A opção “Segments” mostra as coordenadas geométricas associadas a cada segmento. Essa função é importante para garantir a convergência da parte imaginária da impedância nos casos em que o número de fios é muito grande. Se o número de segmentos for mudado, o número do pulso do(s) ponto(s) de alimentação também precisarão ser mudados.
- Um número par de segmentos resulta em um número ímpar de pulsos, tal que exista um pulso no centro do fio.
- Os pontos de alimentação devem estar sempre localizados sobre um fio ou em um local com uma conexão diferente de zero.
- Um fio muito pequeno (ex: 2.5 GHz) dividido em 50 ou mais segmentos causará certamente problemas numéricos de overflow.
- Para que se obtenha uma boa precisão, deve-se utilizar de 10 a 20 segmentos por λ e com raio $R \leq \lambda/100$

5.4.6 Otimização

A opção de otimização disponível nesse programa implementa o método modificado do Gradiente para encontrar geometrias em que o ganho seja maior **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Podem ser realizadas otimizações na forma de um fio (modelado como uma série de fios) quanto à otimização da distância entre os diferentes fios, restritos a uma matriz de monopolos.

Para realizar a otimização, deve-se preencher as informações dos fios e clicar no botão “*Angle*” caso desejar otimizar com relação ao ângulo, ou “*Distance*” caso desejar realizar a otimização pela distância. A Fig. 5.22 mostra a tela que possui a aba com os dois comandos.

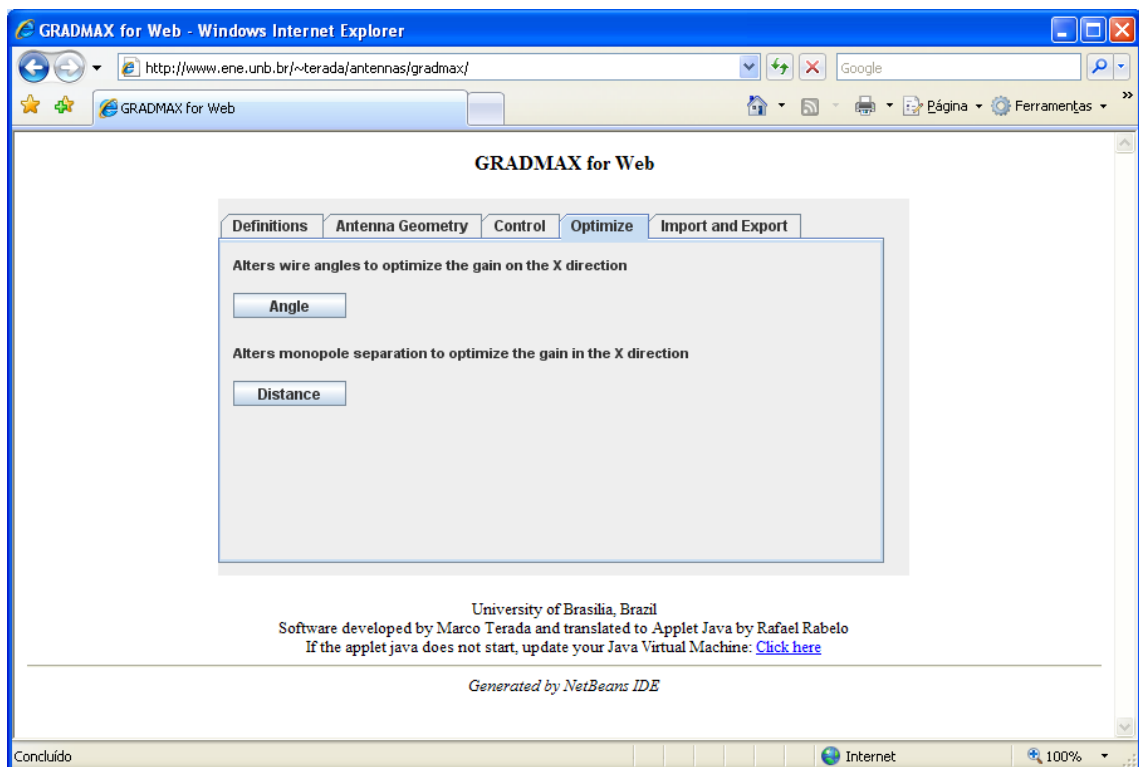


Fig. 5.22 – Tela de Otimização no *GRADMAX for Web*. [4]

Após clicar em um dos dois botões, a otimização será realizada. A cada iteração da otimização, aparecerá uma caixa como a da Fig. 5.23 com as informações de voltagem, corrente, impedância, ganho antes da otimização e o ganho após essa iteração. Essa caixa dá duas opções ao usuário: continuar ou interromper a otimização. Caso a otimização seja interrompida, será traçado o diagrama de radiação da antena otimizada até essa iteração. É possível continuar a otimização até que não se tenha mais nenhum avanço após uma outra iteração. Nesse ponto, a otimização será finalizada e o diagrama de radiação final será

traçado. Além disso, os dados da nova geometria da antena otimizada estará disponível na aba “Antenna Geometry”.

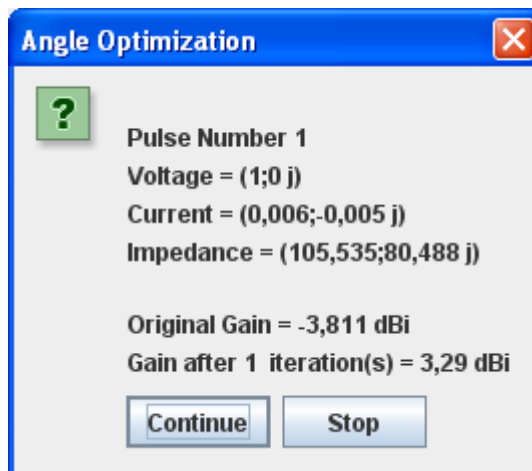


Fig. 5.23 – Caixa contendo opções de continuar ou interromper a otimização. [4]

5.4.7 Importar e Exportar Antenas

Por questões de segurança, a tecnologia de Java Applets não permite que se abra ou grave arquivos na máquina do usuário. Essa característica dessa tecnologia gerou uma dificuldade na manipulação dos dados do *GRADMAX for Web* já que a inclusão das informações da antena pode se tornar bastante dispendiosa a medida que o número de fios aumenta. Sendo assim, foi criado um recurso para permitir a exportação e importação dos dados da antena digitados nas abas *Definitions*, *Antenna Geometry* e *Control*.

A partir do momento que os dados de uma antena qualquer já estiverem sido digitados no *GRADMAX for Web*, pode-se utilizar o botão “Export” da aba “Import and Export” para exportar essas informações. Ao clicar nesse botão, aparecerá uma janela parecida com a Fig. 5.24 que conterá as informações referentes a antena digitada. Essa informação deve ser salva em algum arquivo texto para que seja posteriormente utilizada. Os campos contendo as informações da antena estão separados por um ponto e vírgula “;”.

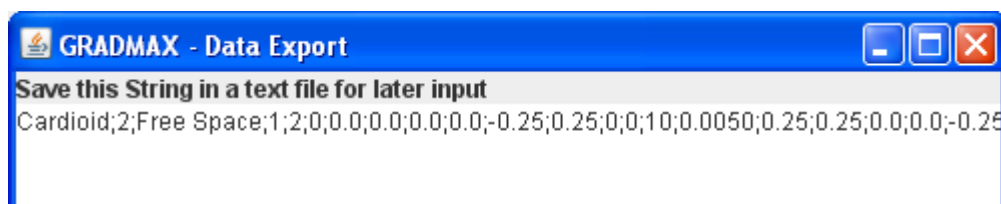


Fig. 5.24 – String para armazenamento dos dados incluídos. [4]

Num outro momento, o usuário pode colar essa String no campo destinado a esse fim e clicar no botão ao lado “*Import*”, mostrados na Fig. 5.25. Ao fazer isso, todas as informações referentes a antena previamente digitada e exportada estarão disponíveis para uso no *GRADMAX for Web* nas abas de origem.

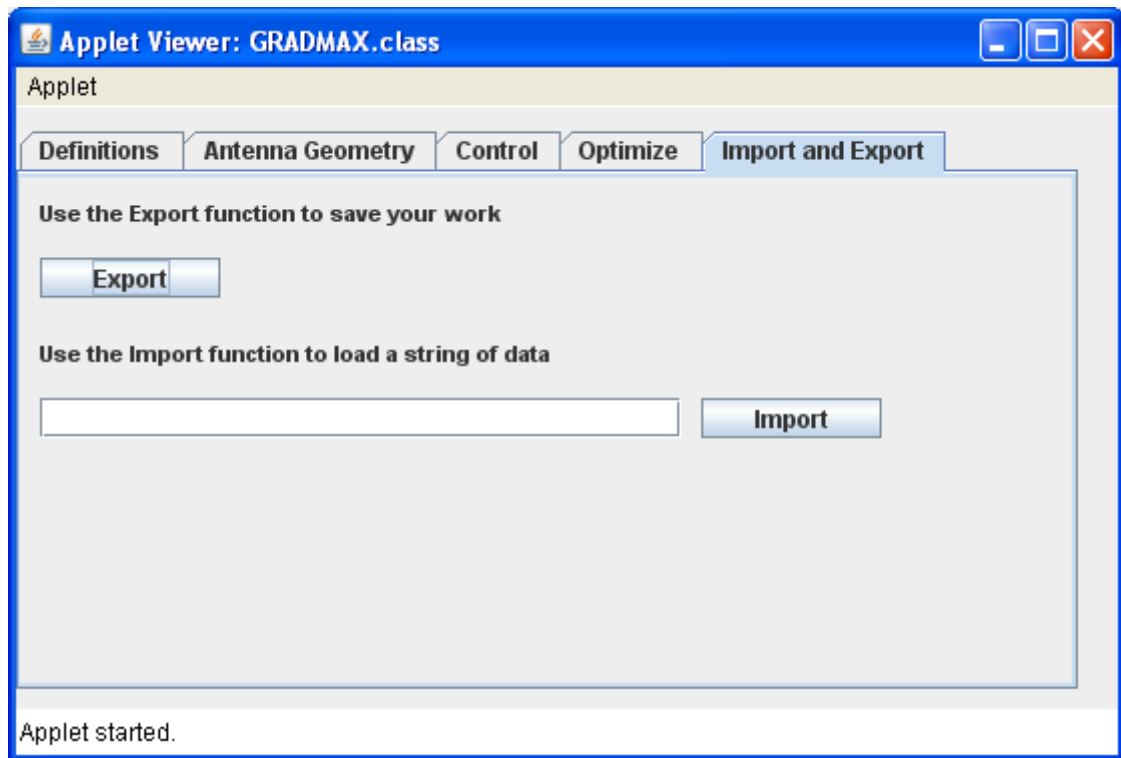


Fig. 5.25 – Tela para inclusão de uma String anteriormente armazenada. [4]

6. Sistema Web de Simulação de Antenas

6.1 Introdução

Nesta seção serão apresentadas as telas do sistema seguidas de uma descrição das funcionalidades existentes em cada tela.

6.2 Telas de Manutenção

6.2.1 Tela inicial de Manutenção

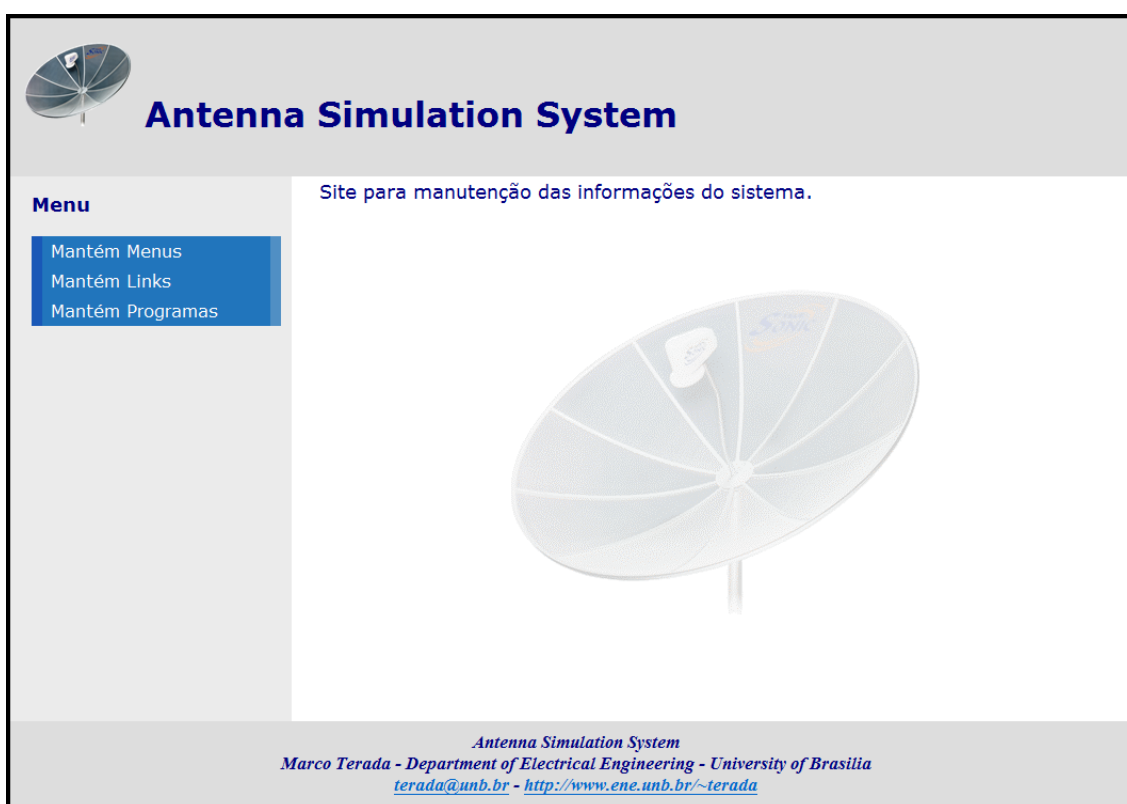


Fig. 6.1 – Tela inicial de Manutenção.

Acima na Fig. 6.1. segue a tela inicial da página de manutenção do sistema. Possui três menus que direcionam às telas de manutenção de Menus, Links e Programas que seguem abaixo.

6.2.2 Tela de Lista de Menus

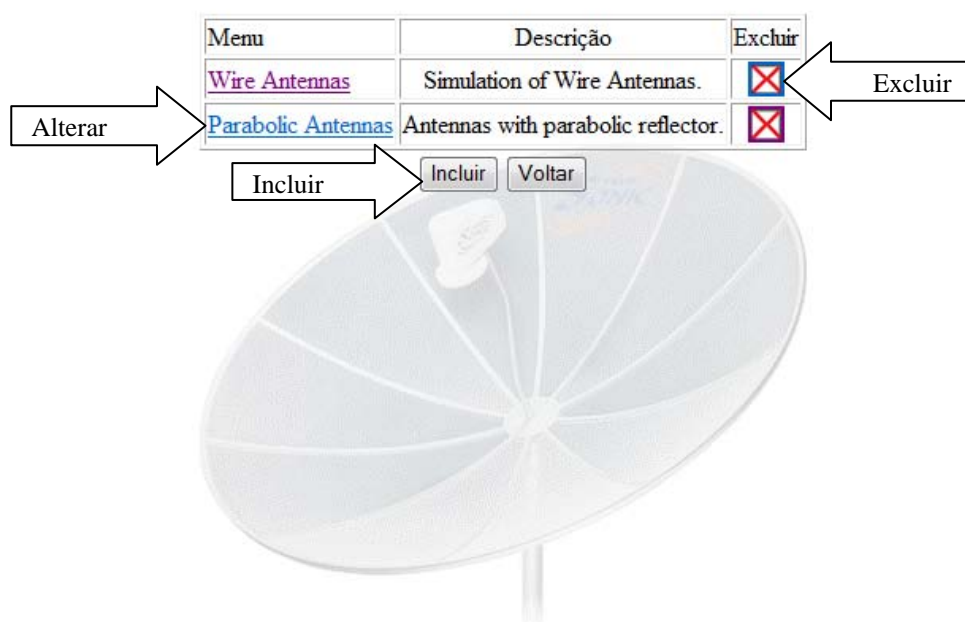


Fig. 6.2 – Tela de Lista de Menus.

A tela da Fig 6.2 tem como objetivo listar as informações dos menus cadastrados no sistema que aparecem na tela inicial de visitação. Para incluir um novo menu, basta clicar no botão incluir, para alterar alguma informação de um menu já existente, basta clicar hiperlink no nome do menu e para excluir um menu, basta clicar no “X” em vermelho.

Abaixo segue a tela que descreve as informações que devem ser preenchidas para cada menu.

6.2.3 Tela de Manutenção de Menus

Digite Id que representa a ordem que o Menu aparece na tela:

Digite o texto que será exibido no nome do Menu:

Digite o texto que será exibido na descrição do Menu:




Fig. 6.3 – Tela de Manutenção de Menus.

A Fig. 6.3 apresenta a tela de manutenção dos Menus do sistema.

O primeiro campo é o id. O id é um campo que dá ao sistema a informação de qual será a posição do menu na tela. Se preenchido com um será o primeiro menu, com dois o segundo e assim por diante.

O segundo campo é o nome do menu. O texto digitado aqui será exibido no botão do menu.

O terceiro campo é uma descrição do menu. O texto digitado na descrição aparece em forma de uma caixa de texto quando a seta do mouse passa em cima do menu.

Esta tela é a mesma tanto para incluir um menu quanto para alterar os dados de um menu já cadastrado. A diferença é que na inclusão, os campos vem em branco e na alteração os campos vem preenchidos com as informações do menu que será alterado.

6.2.4 Tela de Lista de Links





Link	Dica	Url	Excluir
Portal Bovespa	Site da Bovespa - Ações e informações de Empresas	http://www.bovespa.com.br	
Portal Globo	Site do portal Rede Globo.	http://www.globo.com	
Portal WikiPedia	Portal com base de Conhecimentos	http://pt.wikipedia.com	
Portal yahoo	Site de e-mail e noticia do Yahoo.	http://www.yahoo.com.br	



Fig. 6.4 – Tela de Lista de Links.

A tela da Fig 6.4 tem como objetivo listar as informações dos links cadastrados no sistema e que aparecem na tela inicial de visitação. Para incluir um novo link, basta clicar no botão incluir, para alterar alguma informação de um link já existente, basta clicar no hiperlink com o nome do link e para excluir um link, basta clicar no “X” em vermelho.

6.2.5 Tela de Manutenção de Links

Digite o texto que será exibido no Link:

Digite o texto que será exibido na dica do Link:

Digite a URL para onde o Link deve apontar:



Fig. 6.5 – Tela de Manutenção de Links.

A Fig. 6.5 apresenta a tela de manutenção dos Links do sistema.



O primeiro campo é o texto do link. É este texto que será exibido como hiperlink na tela do sistema.

O segundo campo é uma descrição do link. O texto digitado na descrição aparece em forma de uma caixa de texto quando a seta do mouse passa em cima do link.

O terceiro campo é a URL para onde o link aponta. O texto digitado aqui informa ao sistema para qual endereço de internet deve-se navegar caso o link receba um click.

Esta tela é a mesma tanto para incluir um link quanto para alterar um link. A diferença é que na inclusão, os campos vem em branco e na alteração os campos vem preenchidos com as informações do menu que será alterado.

6.2.6 Tela de Lista de Programas

Programa	Descrição	Arquivo	Menu Associado	Excluir
GRADMAX	GRADMAX for Web - Wire Antennas Simulation	GRADMAX	Wire Antennas	
WebPRAC	Analysis of Reflector Antennas.	PRAC	Parabolic Antennas	




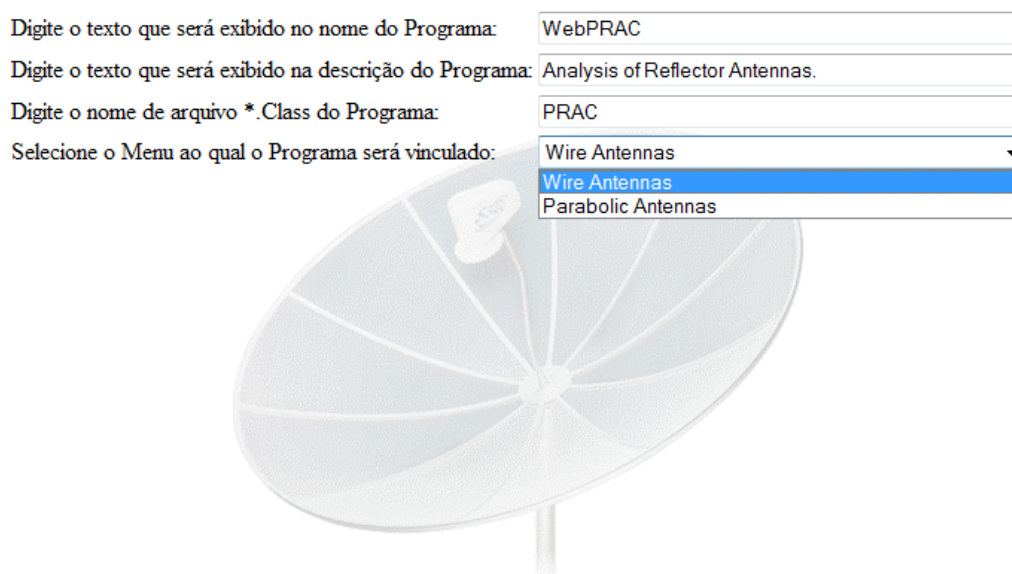
Fig. 6.6 – Tela de Lista de Programas.

A tela da Fig. 6.6 tem como objetivo a manutenção das informações dos programas de simulação de antenas que são executados no sistema. Para incluir um novo programa basta clicar no botão incluir, para alterar alguma informação de um programa já existente basta clicar no hiperlink com o nome do programa e para excluir um link basta clicar no “X” em vermelho.

Aqui existe um detalhe. Para que um programa seja incluído no site é necessário que a pasta que contem o software de simulação de antenas esteja alojada no Servidor Web TomCat. Para isto basta copiar a pasta para o seguinte endereço.

"C:\Program Files\Apache Software Foundation\Tomcat 6.0\webapps\antenna"

6.2.7 Tela de Manutenção de Programas



Digite o texto que será exibido no nome do Programa: WebPRAC

Digite o texto que será exibido na descrição do Programa: Analysis of Reflector Antennas.

Digite o nome de arquivo *.Class do Programa: PRAC

Selecione o Menu ao qual o Programa será vinculado: Wire Antennas

- Wire Antennas
- Parabolic Antennas

Fig. 6.7 – Tela de Manutenção de programas.

A Fig. 6.7 apresenta a tela de manutenção dos Programas de simulação de antenas do sistema.

O primeiro campo é o Nome do Programa. É este texto que será exibido como submenu na tela do sistema. Uma vez que o submenu recebe um click, o site executa o programa de simulação de antenas em outra janela.

O segundo campo é uma descrição do programa. O texto digitado na descrição aparece em forma de uma caixa de texto quando a seta do mouse passa em cima do link.

O terceiro campo é o nome da pasta onde o programa se encontra. Esta é a mesma pasta que foi copiada para o Servidor Web TomCat. Uma exigência é que o nome da pasta seja o mesmo do arquivo Class principal.

O quarto campo é o menu ao qual o programa estará associado. Este campo é exibido como uma combobox onde aparecem todos os menus que estiverem incluídos no sistema. Basta selecionar o menu.

Esta tela é a mesma tanto para incluir um programa quanto para alterar um programa. A diferença é que na inclusão, os campos vem em branco e na alteração os campos vem preenchidos com as informações do programa que será alterado.

6.3 Telas de Visitação

6.3.1 Tela inicial de Visitação

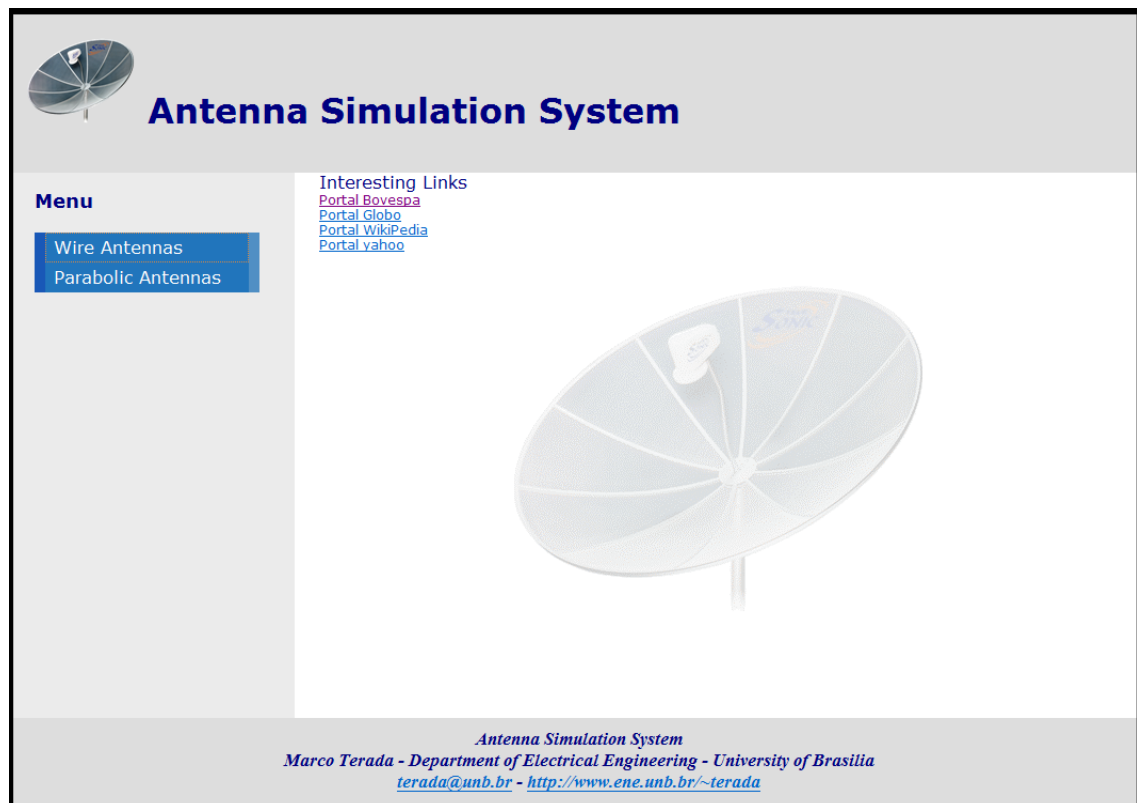


Fig. 6.8 – Tela de Inicial de Visitação.

A tela da Fig. 6.8 é de visitação do sistema. É através dela que os visitantes do site poderão ter acesso aos programas, e links recomendados.

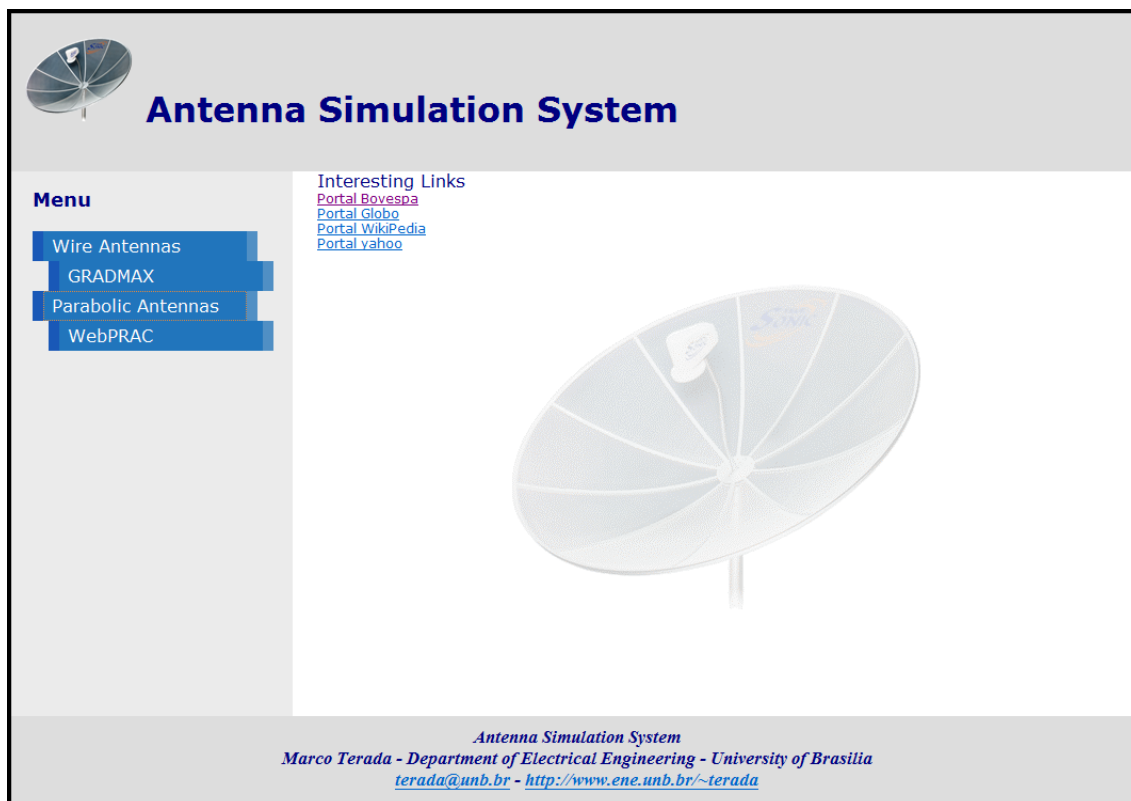


Fig. 6.9 – Tela de inicial de Visitação com Submenus Abertos.

A tela da Fig. 6.9 é a de visitação do sistema, mas com os submenus visíveis. Para visualizar ou ocultar um submenu, basta efetuar um click no menu correspondente.

Todos os menus, submenus e links que aparecem nesta tela são carregados através de consulta ao banco de dados onde estão armazenadas as informações. Estas informações foram incluídas no banco de dados através da utilização das telas anteriores que fazem parte da área de manutenção do sistema.

Ao efetuar um click nos submenus dos programas entram em execução os programas de simulação de antenas.

6.4 Telas dos Programas de Simulação de Antenas

6.4.1 Tela do GRADMAX

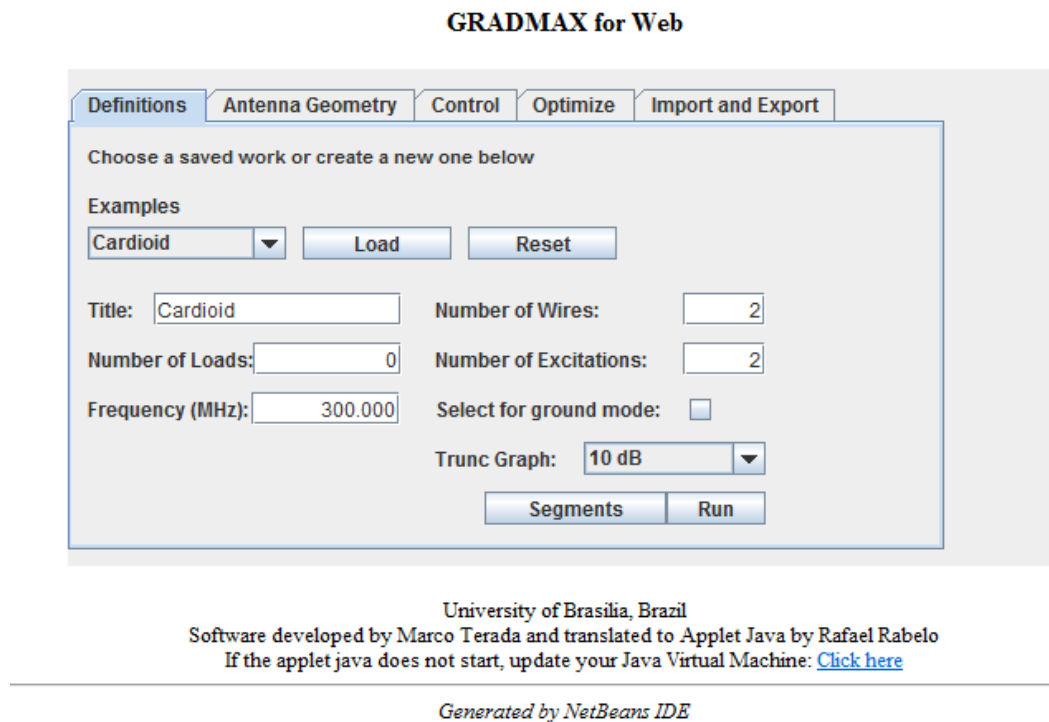


Fig. 6.10 – Tela de inicial do GRADMAX.

Acima segue o programa GRADMAX. Este programa é capaz de simular o funcionamento de antenas de fio. Na sessão 5.4 é descrito o funcionamento dos programas de simulação de antenas.

6.4.2 Tela do PRAC

PRAC for Web

WebPRAC - Parabolic Reflector Analysis Code for Web

Frequency (GHz):	<input type="text" value="11.25"/>	Feed Type:	<input type="text" value="Cos^q"/>
Dimension Unit:	<input type="text" value="Centimeters"/>	Feed Pointing Angle:	<input type="text" value="40"/>
D:	<input type="text" value="400"/>	Feed Taper (dB):	<input type="text" value="10"/>
H:	<input type="text" value="200"/>	Feed Taper Angle (deg):	<input type="text" value="45"/>
F/Dp Ratio:	<input type="text" value="0.3"/>	Feed Polarization:	<input type="text" value="Xf-Polarized"/>
phi:	<input type="text" value="90"/>	Feed Position:	
Initial Theta:	<input type="text" value="-4"/>	Xf: <input type="text" value="0"/>	Yf: <input type="text" value="0"/>
Theta Increments:	<input type="text" value="0.02"/>	Zf: <input type="text" value="0"/>	
No. of theta values:	<input type="text" value="400"/>	<input type="button" value="Run and Plot"/> <input type="button" value="Run Table"/>	

University of Brasilia, Brazil
Software developed by Marco Terada and translated to Applet Java by Rafael Rabelo
If the applet java does not start, update your Java Virtual Machine: [Click here](#)

Generated by NetBeans IDE

Fig. 6.11 – Tela de inicial do PRAC.

Acima segue o programa PRAC. Este programa é capaz de simular o funcionamento de antenas parabólicas. Na sessão 5.4 é descrito o funcionamento dos programas de simulação de antenas.

7. Conclusões

O resultado obtido na construção do Sistema Web de Simulação de Antenas permite notar o grande benefício que a utilização da UML pode trazer ao se desenvolver sistemas, seja para aplicação estritamente comercial ou para aplicações voltadas para engenharia como no caso do Sistema Web de Simulação de Antenas.

A utilização de ferramentas de código aberto permite o desenvolvimento sem custos para instituições que não visam lucro. Permitindo a produção de software de nível acadêmico sem problemas com licenças de produtos que não são gratuitos.

8. Referências

- [1] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele **Antenna Theory and Design**. Second Edition, 1998. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] H. M. DEITEL, P. J. DEITEL **Java Como Programar**. Sexta Edição, 2005. Editora Prentice Hall.
- [3] Grady BOOCH, James RUMBAUGH, Ivar JACOBSON **UML Guia do Usuário**. Segunda Edição, 2006, Rio de Janeiro. Editora Campus.
- [4] Rafael RABELO **Análise da Taxa de Rejeição Sistêmica Para Diversos Esquemas de Modulação**. Dissertação de Mestrado, universidade de Brasília, 2009
- [5] Antônio MARTINS, Franklin COSTA **Antenas e propagação**, Notas de Aula.

APÊNDICE

Apêndice A - Criação do ambiente para o Sistema.

1. Servidor Web TomCat:

1.1. Onde encontrar.

O servidor Web TomCat pode ser encontrado no site <http://tomcat.apache.org/>.

Neste endereço é possível encontrar o executável de instalação da ferramenta e documentação para sua instalação, configuração e utilização.

Execute o download da última versão do TomCat.

1.2. Instalando e Configurando o TomCat.

- Execute o programa de instalação.
- Durante a instalação o usuário é questionado algumas vezes.
- Só é necessário definir uma senha para administrador do servidor Web.
- O restante pode ser deixado como está.
- A senha de administrador é utilizada para alterar opções avançadas do servidor Web. A instalação já vem com as configurações necessárias e não precisa ser alterada.

1.3. Preparando o TomCat para conexão com o PostgreSQL.

- É necessário o download do driver JDBC para o PostgreSQL que pode ser encontrado no seguinte endereço: <http://jdbc.postgresql.org/download.html>
- No parágrafo “Current Version” da página, faça o download dos drivers encontrados.
- Faça uma cópia dos arquivos na pasta “lib” da instalação do TomCat. A instalação normalmente se encontra em c:\Arquivos de Programa\Apache..\TomCatxx\lib
- Os arquivos normalmente vem com extensão ZIP e devem ser renomeados para extensão JAR.

2. Sistema Gerenciador de Banco de Dados - PostGreSQL:

2.1. Onde encontrar.

O SGBD PostGreSQL pode ser encontrado no site <http://postgresql.org/>

Neste endereço é possível encontrar o executável de instalação da ferramenta e documentação para sua instalação, configuração e utilização.

Execute o download da última versão do PostGreSQL.

2.2. Instalando e Configurando o PostGreSQL.

- Execute o programa de instalação.
- Durante a instalação o usuário é questionado algumas vezes.
- Só é necessário definir uma senha para administrador do banco de dados. Esta senha é utilizada para fazer a manutenção do banco de dados.
- O restante pode ser deixado como está.
- Durante a instalação são oferecidas ferramentas adicionais. Estas ferramentas não são necessárias.

Apêndice B - Documentação UML.

1. Caso de uso – Executa Programa

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso Executa Programa

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
22/04/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso Executa Programa

1. Descrição

Este caso de uso permite executar um programa de simulação de antenas.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

2.2. Visitante – Este ator representa o visitante do sistema.

3. Pré-Condições

Não se Aplica.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o ator seleciona o programa do sistema a ser executado.

4.1. *Fluxo Básico – [Executa Programa]*

4.1.1. O Ator seleciona um Programa do Sistema.

4.1.2. O sistema executa o Programa.[RN09]

4.1.3. O caso de uso se encerra.

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

2. Caso de uso – Monta Menu.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso *Monta Menu*

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
22/04/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso

Monta Menu

1. Descrição

Este caso de uso permite a inclusão, alteração, exclusão e consulta de menus do sistema.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

2.2. Visitante – Este ator representa o visitante do sistema.

3. Pré-Condições

Não se Aplica.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o ator acessa a página inicial do sistema.

4.1. Fluxo Básico – [Monta Menu]

4.1.1. **O Ator acessa a pagina inicial do sistema.**

4.1.2. **O sistema consulta os menus cadastrados no sistema.**

- Ordem do Menu
- Nome do Menu.
- Dica do Menu.

4.1.3. **O sistema consulta os programas cadastrados no sistema.**

- Nome do Programa.
- Descrição do Programa.
- Categoria do Programa.
- Nome do Arquivo.

4.1.4. **O sistema monta a estrutura do Menu. [RN07][RN08]**

4.1.5. **O caso de uso se encerra.**

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

3. Caso de uso – Monta Link.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso *Monta Link*

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso

Mantém Link

1. Descrição

Este caso de uso permite a inclusão, alteração, exclusão e consulta de Links do sistema.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

2.2. Visitante - Este ator representa o visitante do site.

3. Pré-Condições

Não se Aplica.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o Ator acessa a página inicial do sistema.

4.1. Fluxo Básico – [Monta Link]

4.1.1. O Ator acessa a página inicial do sistema.

4.1.2. O sistema consulta os links cadastrados.

- Texto do Link.
- Dica do Link.
- URL do Link.

4.1.3. O sistema monta os links em ordem alfabética.[RN08]

- Texto do Link.
- Dica do Link.
- URL do Link.

4.1.4. O caso de uso se encerra.

4.2. Fluxos de Exceção

Não se Aplica.

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

4. Caso de uso – Mantém Menu.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso Mantém Menu

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso Mantém Menu

1. Descrição

Este caso de uso permite a inclusão, alteração, exclusão e consulta de menus do sistema.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

3. Pré-Condições

O usuário deve estar autorizado como administrador do sistema.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o Ator seleciona a opção de manter Menus.

4.1. Fluxo Básico – [Consulta Menu]

4.1.1. **O Ator seleciona a opção de consultar os menus cadastrados. [FA1]**

4.1.2. **O sistema exibe todos os menus em ordem crescente do campo ordem do menu. [FA2], [FA3].**

- Ordem do Menu.
- Nome do Menu.
- Dica do Menu.

4.1.3. **O caso de uso se encerra.**

4.2. Fluxos Alternativos

FA1. [Inclui Menu]

Após o passo 1 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje incluir Menus, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema que deseja incluir Menus.
2. O sistema exibe as informações para preenchimento.
 - Ordem do Menu
 - Nome do Menu.
 - Dica do Menu.
3. O Ator preenche as informações e confirma.
4. O sistema armazena as informações do menu.
 - Ordem do Menu [RN02][RN05][RN06][FE02]
 - Nome do Menu.
 - Dica do Menu.
5. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA2. [Altera Menu]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje Alterar Menus, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema qual menu deseja alterar.
2. O sistema exibe as informações para preenchimento.
 - Ordem do Menu [RN03] [RN05][RN06][FE02]
 - Nome do Menu.
 - Dica do Menu.
3. O Ator preenche as informações e confirma.
4. O sistema armazena as novas informações do Menu.
5. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA3. [Exclui Menu]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje Excluir Menus, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema qual Menu deseja excluir e confirma.
2. O sistema exclui as informações do Menu. [FE1][RN04]
3. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

4.3. Fluxos de Exceção

FE1. [Programa Associado ao Menu]

Durante o passo 2 do Fluxo Alternativo 3 “FA3. [Exclui Menu]”, caso existam

Programas associados ao Menu sendo excluído, os seguintes passos devem ser executados:

1. O sistema informa ao Ator que não é possível excluir o Menu pois existem programas associados a ele.

FE2. *[Ordem do Menu Inválida]*

Durante o passo 4 do Fluxo Alternativo 1 “FA1. *[Inclui Menu]*” ou o passo 2 Fluxo Alternativo 2 “FA2. *[Altera Menu]*”, caso a Ordem do Menu não esteja de acordo com a regra de negócio [RN06] os seguintes passos devem ser executados:

1. O sistema exibe a seguinte mensagem:
“A ordem do menu deve estar compreendida nos números naturais.”
2. O sistema retorna ao passo de onde havia saído anteriormente.

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

5. Caso de uso – Mantém Link.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso Mantém Link

Versão 1.0

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso Mantém Link

1. Descrição

Este caso de uso permite a inclusão, alteração, exclusão e consulta de Links do sistema.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

3. Pré-Condições

O usuário deve estar autorizado como administrador do sistema.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o Ator seleciona a opção de manter Links.

4.1. Fluxo Básico – [Consulta Link]

4.1.1. **O Ator seleciona a opção de consultar os links cadastrados. [FA1]**

4.1.2. **O sistema exibe os links por ordem alfabética. [FA2], [FA3].**

- Nome do Link.
- Dica do Link.
- URL do Link.

4.1.3. **O caso de uso se encerra.**

4.2. Fluxos Alternativos

FA4. [Inclui Link]

Após o passo 1 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje incluir Links, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema que deseja incluir Links.
2. O sistema exibe as informações para preenchimento.
 - Nome do Link.
 - Dica do Link.
 - URL do Link.
3. O Ator preenche as informações e confirma.
4. O sistema armazena as informações do Link.
5. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA5. [Altera Link]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje Alterar Links, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema qual Link deseja alterar.
2. O sistema exibe as informações para preenchimento.
 - Nome do Link.
 - Dica do Link.
 - URL do Link.
3. O Ator preenche as informações e confirma.
4. O sistema armazena as novas informações do Link.
5. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA6. [Exclui Link]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje excluir links, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema qual Link deseja excluir e confirma.
2. O sistema exclui as informações do Link.
3. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

4.3. Fluxos de Exceção

Não se Aplica.

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

6. Caso de uso – Mantém Programa.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Especificação de Caso de Uso *Mantém programa*

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

Especificação de Caso de Uso

Mantém Programa

1. Descrição

Este caso de uso permite a inclusão, alteração, desativação, consulta e reativação de programas incluídos através de upload pelo usuário.

2. Atores

2.1. Administrador – Este ator representa o usuário que faz a manutenção do sistema.

3. Pré-Condições

O usuário deve estar autorizado como administrador do sistema.

4. Fluxo de Eventos

Este Caso de Uso se inicia quando o Ator seleciona a opção de manter programas.

4.1. Fluxo Básico – [Consulta Programa]

4.1.1. O Ator seleciona a opção de consultar os programas cadastrados. [FA4]

4.1.2. O sistema exibe os programas em ordem alfabética de categoria e em seguida ordem alfabética de nome do programa. Para os programas exibidos, o sistema mostra se a situação é “Inativo” ou “Ativo” [FA1], [FA2], [FA3].

- Nome do Programa.
- Descrição do Programa.
- Menu associado. [RN01]
- Nome do Arquivo.

4.1.3. O caso de uso se encerra.

4.2. Fluxos Alternativos

FA7. [Exlui Programa]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje excluir programas, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator seleciona os programas que pretende excluir e confirma.
2. O sistema exclui o programa.
3. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA8. [Altera Programa]

Após o passo 2 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje alterar informações programas, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator seleciona o programa que deseja alterar.
2. O sistema exibe as informações atuais do programa permitindo a alteração destas informações.
 - Nome do Programa.
 - Descrição do Programa.
 - Menu associado. [RN01]
 - Nome do Arquivo.
3. O Ator altera os parâmetros e confirma.
4. O sistema armazena os dados informados.
5. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

FA9. *[Inclui Programa]*

Antes do passo 1 do Fluxo Básico, caso o Ator deseje incluir informações programas, os seguintes passos devem ser executados:

1. O Ator informa ao sistema que deseja incluir programas.
2. O sistema exibe a estrutura de pastas do microcomputador que está em uso.
3. O Ator busca o programa que deseja incluir e confirma.
4. O sistema carrega o caminho do programa e exibe as informações sobre o programa para preenchimento.
 - Nome do Programa.
 - Descrição do Programa.
 - Menu associado. [RN01]
 - Nome do Arquivo.
5. O Ator preenche as informações e confirma.

6. O sistema armazena as informações e efetua o upload do programa selecionado.
7. O sistema retorna ao passo 1 do fluxo básico.

4.3. *Fluxos de Exceção*

Não se Aplica.

5. Requisitos Especiais

Não se aplica.

6. Ponto de Extensão

Não se aplica.

7. Pós-Condições

Não se aplica.

8. Informações Complementares

Não se aplica.

9. Referências

Regra_Negocio.doc

7. Modelo de Casos de Uso.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Modelo de Casos de Uso

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

1. Objetivo

Este artefato tem o objetivo de dar uma visão geral do sistema evidenciando suas funcionalidades e as interações com seus atores.

2. Atores



Fig01 – Diagrama de Atores

2.1. **Administrador**

É o ator responsável pela manutenção do sistema. Este ator tem acesso a todas as funcionalidades do sistema. Este ator também herda todas as características do ator visitante conforme fig01.

2.2. **Visitante**

Este ator representa qualquer pessoa que estiver visitando o sistema. Este ator não tem acesso a nenhuma das funcionalidades de manutenção e portanto não tem capacidade de alterar o comportamento do sistema.

3. Casos de Uso

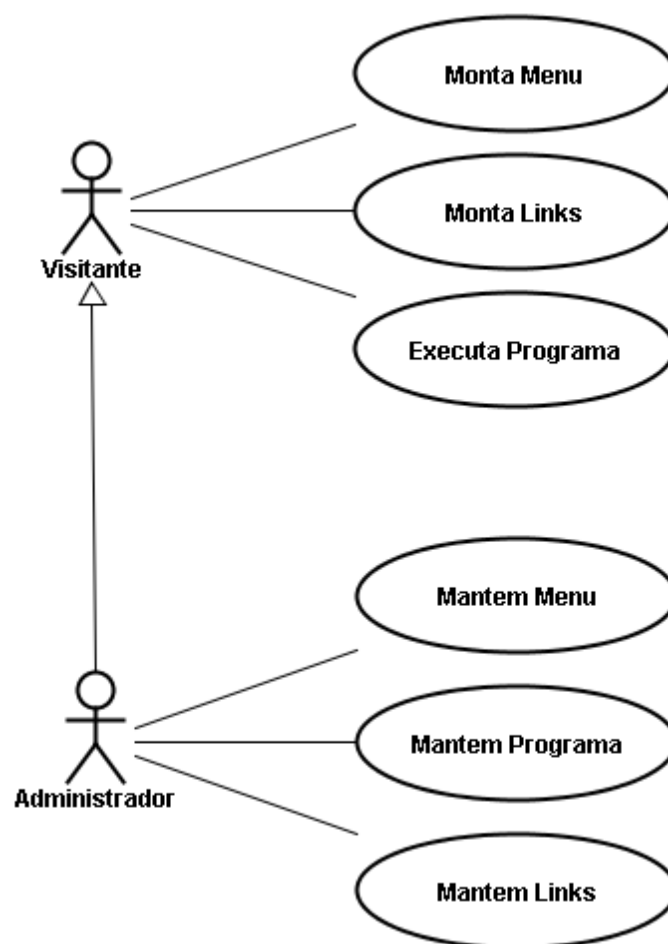


Fig02 – Diagrama de Caso de Uso

3.1. *Monta Menu*

Este caso de uso é responsável por montar o menu na tela do sistema de forma a prover navegabilidade aos usuários visitantes. O menu é montado com base nas informações contidas no banco de dados. Estas informações são mantidas pelo usuário administrador do sistema.

3.2. *Monta Links*

Este caso de uso é responsável por montar a lista de Links na tela do sistema. Os links estão armazenados em banco de dados e são mantidos pelo usuário administrador do sistema.

3.3. *Executa Programas*

Este caso de uso é responsável por executar os programas de simulação de antenas. Os códigos fontes dos programas estão armazenados no servidor e as informações adicionais no banco de dados. Os programas são mantidos pelo usuário administrador do sistema.

3.4. *Mantém Menu*

Este caso de uso é responsável por manter as informações do menu do sistema. Estas informações são armazenadas em banco de dados. O administrador é o único ator capaz de executar esta funcionalidade.

3.5. *Mantém programa*

Este caso de uso é responsável por manter as informações dos programas de simulação de antenas do sistema. Estas informações são armazenadas em banco de dados e o código fonte gravado em pasta específica do servidor. O administrador é o único ator capaz de executar esta funcionalidade.

3.6. *Mantém Links*

Este caso de uso é responsável por manter as informações dos links do sistema. Estas informações são armazenadas em banco de dados. O administrador é o único ator capaz de executar esta funcionalidade.

8. Documento – Regras de Negócio.

SISTEMA WEB DE SIMULAÇÃO DE ANTENAS

Regras de Negócio

Versão 1.0

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
26/03/2009	1.0	Criação do documento para definição do escopo do projeto.	Paulo Cezar Cayres Ramos

1. Objetivo

O objetivo deste documento é descrever as regras do negócio do projeto SIXXX – Sistema ..., as quais são levantadas junto aos usuários.

2. Definições

2.1. – *Lista de Menus associados.*

A Categoria de programas é exibida em forma de lista. Esta lista é montada através de consulta à lista de categorias armazenada no sistema.

2.2. – *Inclusão de Ordem de Menu já existente.*

Caso o ator esteja incluindo um menu, e preencha a ordem do menu com um valor já existente em outro menu, o sistema deve aceitar o valor e

somar uma unidade na ordem de todos os menus com ordem igual ou superior ao do menu que está sendo incluído.

2.3. – *Alteração de Ordem do Menu para Ordem já existente.*

Caso o ator esteja alterando um menu, e preencha a ordem do menu com um valor já existente em outro menu, o sistema deve aceitar o valor e somar uma unidade à ordem de todos os menus com ordem igual ou superior ao do menu que está sendo alterado, exceto à ordem do menu que está sendo alterado.

2.4. – *Exclusão de Menu.*

Caso o ator esteja excluindo um menu, o sistema deve verificar o valor da ordem do menu que está sendo excluído e deve subtrair uma unidade de todos os menus com ordem do menu superior.

2.5. – *Ordem do Menu Superior à do Maior Menu.*

Caso o ator esteja incluindo ou alterando um menu, e preencha a ordem do menu com um valor superior ao valor da maior ordem de menu existente, o sistema deve ignorar o valor preenchido e considerar a ordem como uma unidade acima da maior ordem de menu existente.

2.6. – *Domínio da Ordem do Menu.*

A ordem do menu deve estar compreendida nos números naturais.

2.7. – *Montagem do Menu.*

O sistema deve montar a estrutura de menus da seguinte forma:

1. A ordem de exibição dos menus na tela é feita do menor valor do campo "Ordem do Menu" para o maior.
2. Para cada Menu podem existir submenus. Estes Submenus são montados através da regra de negócio [RN08] quando o ator seleciona um dos menus.

2.8. – Montagem do SubMenu.

O sistema deve montar os submenus para cada menu da seguinte forma:

1. O sistema identifica a quais são os SubMenus para cada Menu através do campo Categoria do Programa, isto é, quando Ordem do menu é igual à Categoria do Programa.
2. Quando um Menu é selecionado devem ser exibidos todos os Submenus que estiverem associados e que tenham o respectivo programa ativado.
3. Os Submenus devem conter link apontando para a página que carrega o Applet de execução dos programas.

2.9. – Execução do Programa.

Os programas que são executados pelo sistema devem ser abertos em outra janela do navegador e são executados através de Applet.

3. Referências

Não se aplica.

Apêndice C - Abreviaturas e Siglas.

- Ator – Elemento da UML que representa um papel ou responsabilidade dentro do sistema.
- Atributo – Elemento que representa uma característica de uma classe.
- BD Designer – Ferramenta livre para modelagem de dados.
- Caso de Uso – Elemento da UML que representa uma funcionalidade do sistema.
- Classe – elemento da orientação a objeto que representa uma abstração de um objeto do mundo real.
- dB – Unidade Decibel.
- Entidade – Elemento da modelagem de dados que representa as características de um objeto do mundo real.
- GRADMAX – Programa de simulação de antenas de fios.
- IRA – Índice de Rendimento acadêmico. Indicador do nível de desempenho acadêmico de um aluno.
- Java – Linguagem de programação orientada a objetos.
- JSP – Java Server Pages. Tecnologia Java para páginas dinâmicas na Web.
- Jude Community – Ferramenta livre para modelagem em UML.
- Método – Elemento que representa uma função que uma classe pode desempenhar.
- Modelo de Casos de Uso – Documento da UML que apresenta todos os casos de uso em diagramas. Fornece uma visão geral do sistema.
- PostGreSQL – Sistema gerenciador de Banco de Dados.
- SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados.
- Relacionamento – Representa o grau de dependência entre entidades de um sistema.
- SQL – Structured Query Language. Linguagem para consultas a banco de dados.
- TEM – Onda transversal Eletromagnética.
- TomCat – Servidor Web.
- UML – Unified Modeling Language.
- WebPRAC – Programa de simulação de antenas parabólicas.