

**Universidade do Vale do Paraíba**  
**Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento**

**Arnaldo José Marçal**

**“Projeto e Desenvolvimento de uma Célula Eletromagnética de Modo  
Transversal (TEM-Cell) Aplicada à Sistemas Biológicos ”**

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – SP**

**2005**

**Arnaldo José Marçal**

**“Projeto e Desenvolvimento de uma Célula Eletromagnética de Modo Transversal (TEM-Cell) Aplicada a Sistemas Biológicos ”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, como complementação dos créditos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof.Dr. Landulfo  
Silveira Junior

**São José dos Campos – SP**

**2005**

M262p

Marçal, Arnaldo José.

Projeto e Desenvolvimento de uma Célula Eletromagnética de  
Modo Transversal (TEM-Cell) Aplicada a Sistemas Biológicos/  
Arnaldo José Marçal.- São José dos Campos: UNIVAP, 2005.  
f. il.; 31cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Biomédica do Instituto de Pesquisa e  
Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, 2005

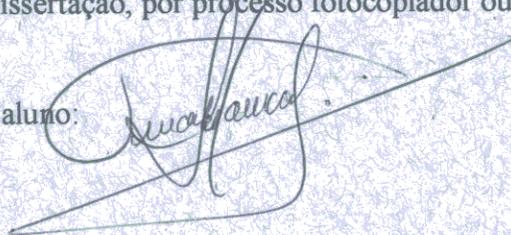
1. Radiofrequência 2. Microondas 3. Campos eletromagnéticos  
4. Graus de exposição I. Prof. Dr. Landulfo Silveira Junior, Orient.  
II. Título.

CDU: 537-962:61

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou  
parcial desta dissertação, por processo fotocopiador ou transmissão eletrônica.

Assinatura do aluno:

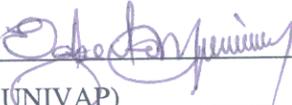
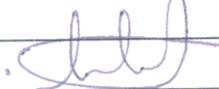
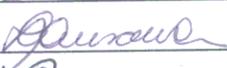
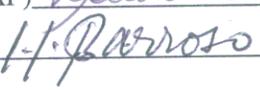
Data:



**“PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA ELETROMAGNÉTICA DE MODO TRANSVERSAL (TEM-CELL) APLICADA À SISTEMAS BIOLÓGICOS”**

Arnaldo José Marçal

Banca Examinadora:

Prof. Dr. **EGBERTO MUNIN** (UNIVAP)   
Prof. Dr. **LANDULFO SILVEIRA JUNIOR** (UNIVAP)   
Prof. Dra. **EMILIA ANGELICA LOSCHIAVO ARISAWA** (UNIVAP)   
Prof. Dr. **JOAQUIM JOSÉ BARROSO DE CASTRO** (INPE) 

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco  
Diretor do IP&D - UniVap

*À minha esposa, **Selma M. Ap. Ribeiro Marçal** e à minha filha **Gabriele Ribeiro Marçal**, pelo amor, apoio e incentivo durante esta caminhada, alegrando-se com minhas conquistas, torcendo pelo meu êxito; embora tantas vezes privados de minha companhia em seus dia-a-dia, doaram-se por inteiro e renunciaram aos seus sonhos para que eu realizasse os meus...*

*A elas, dedico este trabalho!*

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, **Arnaldo do Carmo Marçal** e **Maria Helena José Marçal**, que foram maravilhosos na criação de nós, filhos. Obrigado por vocês terem nos instruído no decorrer destes anos, ensinando-nos a tentar ser sempre pessoas melhores. Acredito que todo esse esforço tenha valido a pena, pois sei que se orgulharão muito de cada conquista nossa.*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço ao Magnífico Reitor Dr. Baptista Gargione Filho, ao Vice Reitor Dr. Teixeira Junior e ao Diretor do IP&D Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco, ao meu orientador Professor Dr. Landulfo Silveira Junior e a todos os Professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Sem o trabalho de vocês, eu não poderia galgar mais este degrau de minha vida acadêmica.*

*Um agradecimento especial ao Professore Dr. Joaquim José Barroso de Castro do INPE, Professor Dr. Eder Rezende Moraes do IP&D e a Professora Dra. Maria Cristina Xavantes do INCOR/SP por todo o apoio e ensinamentos recebidos ao longo do curso e do desenvolvimento desta tese. Que o esforço de vocês retorne em forma de muita paz e saúde.*

*A Professora Dra. Emilia Ângela Loschiavo Arisawa e Professora Sonia Kouri toda minha gratidão pelo trabalho desenvolvido em conjunto. Obrigado pela orientação, repasse de conhecimentos, atenção e paciência a mim dispensado e pelo incentivo nos momentos difíceis.*

*Aos meus amigos Guilherme R. Teodoro e Adriana Uchimura G. dos Santos pela força recebida e pelos momentos de total descontração. Que esse período de convivência tenha servido para nosso crescimento, posto que, mesmo sendo tão diferentes, pudemos partilhar grandes experiências e nos ajudar em momentos tão difíceis para nós todos.*

*Um agradecimento especial aos funcionários da OFICINA MECÂNICA da UNIVAP, sem eles eu não conseguiria concretizar a montagem do projeto de minha pesquisa.*

**“Alguém disse que não poderia ser feito, e ele, com uma risada, respondeu que aquilo talvez "não poderia ser feito", mas que ele não diria isso, até que tivesse tentado.”**

**(Edgard A. Guest)**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é a apresentação das principais normas e parâmetros existentes em países dos continentes europeu e americano no que diz respeito aos limites de exposição do ser humano a campos eletromagnéticos bem como o projeto e desenvolvimento de um guia de onda retangular caracterizado como uma célula eletromagnética de modo transversal (TEM-Cell) para frequências até 1 GHz. e sua validação para experimentos com bactérias. Atualmente as TEM-cell comerciais usadas para frequências de 900 MHz têm somente 5 cm de altura disponíveis para testes e de alto custo; este projeto visa o desenvolvimento de uma TEM-cell com uma altura disponível para testes de 3,5 cm e com uma impedância de  $50 \Omega$ . As medidas de VSWR e perda por inserção apresentaram uma correlação boa com o modelo da TEM-cell. Em 640 MHz a VSWR está em 1:1 que a torna apta a trabalhar em frequências inferiores a 1 GHz, embora outras frequência possam ser utilizadas.

**Palavras-Chave:** Célula TEM, guia de onda retangular, compatibilidade eletromagnética, radiação de microondas, efeito biológico.

## ABSTRACT

The objective of this work is the presentation of the main norms and existent parameters in countries of the european and american continent in what it is says respect to the exhibition limits to electromagnetic fields to the human being as well as the development of a rectangular waveguide characterized as a Transversal electromagnetic mode cells (TEM-cell) for frequencies up to 1 GHz and its validation for experiments with bacterias. Now the TEM-cell commercial used for frequencies of 900 MHz has only 5 cm of available height for tests and of high cost; this project seeks the development of a TEM-cell with an available height for tests of 3,5 cm and with an impedance of 50  $\Omega$ . The measures of VSWR and insertion loss presented a good correlation with the model of the TEM-cell. In 640 MHz VSWR is 1:1 that it turns it capable to work in inferior frequencies to 1 GHz, although other frequencies can be used.

**Keywords:** TEM-Cell, rectangular waveguide, electromagnetic compatibility, microwave radiation, biological effects.

## Listas de Tabelas e Gráfico

|   |    |
|---|----|
| Tabela 01 - Comparativo de Sistemas de Transmissão de RF /Dados ANATEL Abril de 2004.....   | 03 |
| Tabela 02 - Alocação de Frequência para Sistema Celular, Rádio e TV. ....   | 04 |
| Tabela 03 - Valores de Campos Elétricos Usuais. ....  | 05 |
| Tabela 04 - Restrições Básicas para Campos Elétricos e Magnéticos Variáveis no Tempo.....   | 10 |
| Tabela 05 - Níveis de Referência para a Exposição Ocupacional. ....   | 11 |
| Tabela 06 - Níveis de Referência para a Exposição do Público em Geral. ....   | 11 |
| Tabela 07 - Valores limites de SAR para o CENELEC ENV 50166-2, IRPA/ICNIRP e CEU para Exposição Diária de Trabalhadores a Frequências Superiores a 300 MHz..... | 12 |
| Tabela 08 - Valores de Densidade de Potência. ....  | 13 |
| Tabela 09 - NRPB/HPA - Níveis para exposição de frequências em telefonia móvel...   | 14 |
| Tabela 10 - Limite para Exposição Ocupacional/Controlada Permissível.....   | 15 |
| Tabela 11 - Limite para Exposição População Geral/Descontrolada permissível.....  | 16 |
| Tabela 12 - Níveis de Referência para a Exposição Ocupacional. ....   | 18 |
| Tabela 13 - Níveis de Referência para a Exposição do Público em Geral. ....   | 18 |
| Tabela 14 - Restrições Básicas para Exposição a Campos Eletromagnéticos, na Faixa de Radio frequência. ....   | 24 |
| Tabela 15 Intensidade de Campo Eletrico (E) e Densidade de Potencia (S) para a População em Geral.....  | 25 |
| Tabela 16 - Frequências de Corte.....   | 47 |
| Gráfico 01- Análise dos efeitos da radiação não-ionizante, sobre os microrganismos testados em uma célula TEM.....  | 64 |

## Listas de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Crescimento de Usuários de Telefones Celulares de 1985 a 2001 .....   | 08 |
| Figura 2 - FCC Limites para Máxima Exposição Permissível (MEP). .....  | 17 |
| Figura 3 - Exposição Máxima Permitida ao Público em Geral. ....  | 19 |
| Figura 4 - Espectro de Frequências.....  | 21 |
| Figura 5 - Montagem da câmara Célula TEM – Vista Lateral .....   | 34 |
| Figura 6 - Morfologia do <i>E.coli</i> .....   | 36 |
| Figura 7 - Morfologia do <i>S.aureus</i> . ....  | 36 |
| Figura 8 - Vista externa da Célula TEM.....  | 44 |
| Figura 9 - Valores de $Z_0$ versus $w/a$ para Vários Valores de $a/b$ ( $t/b=0$ ) .....  | 45 |
| Figura 10 - Diagrama esquemático do experimento do sistema de exposição de RF/MO.<br>.....   | 48 |
| Figura 11 - Teste de VSWR da Célula TEM com equipamentos Agilent.....  | 49 |
| Figura 12 - Teste de resposta em frequência da Célula TEM com equipamentos Agilent.<br>.....   | 49 |
| Figura 13 - Seção Transversal da Célula TEM com impedância de 50 $\Omega$ . ....   | 50 |
| Figura 14 - Vista interna da Célula TEM com as placas de Petri contendo bactérias <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> e fungo <i>C. albicans</i> ..... | 54 |
| Figura 15 - Vista lateral de uma Célula TEM. ....  | 54 |
| Figura 16 - Vista superior de uma Célula TEM. ....   | 55 |
| Figura 17 - Gráfico de valores de VSWR para frequências de 550 MHz a 750 MHz...56  |    |
| Figura 18 -. Gráfico de Impedância para frequências de 10 MHz a 1.5 GHz .....  | 57 |
| Figura 19 - Gráfico de Perda por Inserção para frequência de 640 MHz.....  | 58 |
| Figura 20 - Gráfico de Perda por Retorno para frequências de 100 MHz a 1 GHz .....   | 59 |
| Figura 21 - Tempo 2 min - <i>E. Coli</i> .....   | 60 |
| Figura 22 - Tempo 5 min - <i>E. Coli</i> .....   | 61 |
| Figura 23 - Controle - <i>E. Coli</i> sem influência de campos eletromagnéticos.....   | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 24 - Controle – <i>C. albicans</i> sem influência de campos eletromagnéticos..... | 62 |
| Figura 25 - Tempo 2 min – <i>C. albicans</i> .....                                       | 63 |

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

A = Área em m<sup>2</sup>

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ANSI = Instituto Nacional de Padrões Americano;

ANATEL = Agencia Nacional de Telecomunicações;

ACGIH = Conferência Americana Governamental das Indústrias Sanitaristas;

ACA = Autoridade de Comunicações Australiana;

CEMRF = Campo Eletromagnético de Rádio Frequência;

$C_f$  = Capacitância Finita;

CENELEC = Comitê Europeu para Padronização de Eletrotécnica;

CEU = Conselho da União Européia;

CEM= Campo Eletromagnético;

CSA= Associação Canadense de Padrões;

D = Densidade de fluxo elétrico em C/m;

DOC = Departamento de Comunicações do Canada;

DoD= Departamento de Defesa dos Estados Unidos;

d = Distância em metros;

dB = Decibel(s) - (10.log<sub>10</sub> A);

E = Campo Elétrico em V/m;

ERB= Estação Rádio Base

EUT =Elemento Sobre Teste;

EM = Estação Móvel;

EMC = Compatibilidade Eletromagnética;

EMI = Interferência Eletromagnética;

EU = Comunidade Européia;

$f_c$  = Frequência de Corte;

$f$  = Frequência de Trabalho;

FM = Frequência Modulada;

FCC = Comitê Federal de Comunicação;

GHz = Giga Hertz (10<sup>9</sup> ciclos por segundos);

GSM = Global Service Mobile;

H = Campo Magnético em A/m;

HPA= Agência de Proteção a Saúde;  
h = Constante de Planck em J/Hz;  
I = Corrente em Ampère;  
IEEE = Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica;  
INICTEL = Instituto Nacional de Investigação e Capacitação de Telecomunicações;  
IRPA = Associação Internacional para a Proteção Contra a Radiação;  
INIRC = Comitê Internacional para Radiações Não-Ionizantes;  
ICNIRP = Comissão Internacional para a Proteção Contra a Radiação Não-Ionizante  
í = Frequência da Onda em Hertz;  
kHz = Kilo Hertz ( $10^3$  ciclos por segundo);  
MHz = Mega Hertz ( $10^6$  ciclos por segundos);  
MPT = Ministerio Telecomunicações de Japão;  
NCRP = Conselho Nacional em Proteção de Radiação e Medidas;  
NIOSH= Instituto Nacional para Segurança Profissional e Saúde;  
NRPB = Comitê Nacional de Proteção à Radiação;  
OMS = Organização Mundial de Saúde;  
ONR= U. S. Office of Naval Research;  
OM = Ondas Médias;  
P = Potência da Onda Eletromagnética em Watts;  
P = Polarização do Meio em C/m;  
RNI = Radiações Não-Ionizante;  
RF = Radio Frequência (300 KHz to 300 GHz);  
SMP = Serviço Móvel Pessoal;  
SAR = Taxa de Absorção Específica;  
TEM= Modo eletromagnético transversal;  
TDMA = Time Division Multiple Access;  
t = Tempo em segundo;  
UFC= Unidade Formadora de Colônia;  
UHF = Ultra High Frequency (300 a 3 GHz);  
UNEP = Nações Unidas para o Meio Ambiente;  
v = Velocidade em m/s;  
V = Tensão em Volts;  
VSWR = Voltage Standing Wave Ratio;  
VHF = Very high frequency (30 a 300 MHz);

$W$  = Energia da Onda Eletromagnética em Joules;

$w$  = Frequência Angular em radiano/s;

$Wd$  = Densidade de Energia em W/Hz;

$\rho$  = Condutividade do do Material em S/m;

$\mu$  = Permeabilidade Magnética em H/m;

$\mu_0$  = Permeabilidade Relativa em H/m;

$\varepsilon$  = Constante Dielétrica Complexa em F/m;

$\delta$  = Profundidade de Penetração no Material;

$Z$  = Impedância Característica em  $\Omega$ .

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.11.3.1 | Flagelos.....   | 38 |
| 2.11.3.2 | Fibras.....   | 38 |
| 2.11.3.3 | Cápsulas.....   | 38 |
| 2.11.3.4 | Parede Celular.....   | 38 |
| 2.11.3.5 | Membrana Citoplasmática.....  | 39 |
| 2.11.4   | Staphylococcus aureus. ....   | 39 |
| 2.11.5   | Escherichia coli.....   | 39 |
| 2.12     | Leveduras.....  | 40 |
| 2.12.1   | Estruturas.....   | 40 |
| 2.12.2   | Reprodução Sexuada e Assexuada.....   | 40 |
| 2.12.3   | Cândida Albicans.....   | 41 |
| 3        | OBJETIVO.....   | 42 |
| 4        | MATERIAL E MÉTODOS.....   | 43 |
| 4.1      | Projeto e Desenvolvimento da célula TEM.....                                | 43 |
| 4.1.1    | Projeto da célula TEM.....  | 43 |
| 4.1.2    | Desenvolvimento de uma célula TEM.....                                      | 44 |
| 4.1.2.1  | Impedância Característica.....  | 45 |
| 4.1.2.2  | Penetração do CE em Meio Condutor.....                                      | 46 |
| 4.1.2.3  | Frequência de Corte.....  | 47 |
| 4.1.3    | Esquema de Exposição à Radiofrequência e Microondas.....                    | 48 |
| 4.1.4    | Medidas de VSWR, perda por retorno, perda por inserção<br>e impedância..... | 48 |
| 4.1.5    | Tamanho do Animal ou Placa de Petri a ser Irradiado (EUT).....              | 50 |
| 4.2      | Análise Microbiológica .....  | 51 |
| 5        | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 53 |
| 5.1      | Normas e padronizações.....   | 53 |
| 5.2      | Testes de desempenho da célula TEM.....                                     | 55 |
| 5.3      | Efeitos da Radiação não-ionizante sobre os microorganismos testados         | 60 |
| 5.3.1    | Cultura de E. coli.....   | 60 |
| 5.3.2    | Cultura de C. albicans.....   | 62 |
| 5.3.3    | Cultura de S. aureus.....   | 63 |
| 5.3.4    | Gráfico dos Resultados.....   | 64 |
| 6        | CONCLUSÃO.....  | 66 |
|          | REFERÊNCIAS.....  | 68 |





# 1 INTRODUÇÃO

É inegável a importância dos modernos meios de comunicação para a economia, a cultura e a ciência, entre outras atividades. Isso decorre da enorme quantidade de informações geradas em locais diferentes daquele onde elas são empregadas, propagando-se através dos sistemas de comunicações via rádio que utilizam ondas eletromagnéticas como elemento de ligação entre transmissores e receptores (CLEARY; CAO; LIU, 1996).

Os sistemas de comunicação via rádio utilizam ondas eletromagnéticas como elemento de ligação entre transmissores e receptores. Essas ondas eletromagnéticas possuem a propriedade de propagar pelo espaço, dispensando a existência de quaisquer meio físico para sua transmissão. Sabe-se que a comunicação por rádio-freqüência está relacionada com a existência de uma onda eletromagnética propagando-se no espaço, então os efeitos induzidos pelos campos eletromagnéticos de rádio freqüência (RF) e a radiação de microondas (MO) provenientes de vários sistemas de transmissão são cada vez mais freqüentes (FERRARI, 1998).

O setor de telecomunicações é uma das áreas de prestação de serviço que mais apresentou avanços tecnológicos nos últimos anos, desde a invenção do aparelho telefônico em 1876 e do transmissor de rádio em 1895, até os dias atuais. Devido ao fato de a telefonia fixa associar o telefone a um local e não a uma pessoa, surgiram sistemas complementares para localização do indivíduo. Foi o recurso imposto pela imobilidade do telefone convencional que fez surgir a telefonia móvel. Os telefones móveis representam hoje a preferência quase unânime dos usuários. Entretanto, as pessoas continuam ainda a ter seu telefone residencial, outro no trabalho e pelo menos um terceiro – o celular para usar quando não estão presentes nestes dois locais (CLEARY; CAO ; LIU, 1996).

Nos sistemas atuais, a comunicação telefônica se dá por modulação digital de uma portadora, que varia na faixa de 500 – 2000 MHz. Ou seja, a operação do sistema nesta faixa implica na irradiação de ondas eletromagnéticas em alta freqüência (DIAS; SIQUEIRA, 2002).

Como consequência, o número de trabalhos mostrando os efeitos da indução de RF e MO dos vários equipamentos de telecomunicações vêm aumentando rapidamente. Infelizmente o mal entendido ainda persiste de que os efeitos da radiação de rádio frequência e microondas têm apenas como resultado a geração de calor, ao contrário do que apresentam vários estudos que mostraram efeitos significantes em várias atividades celulares em sistemas experimentais sobre condições de aquecimento (CLEARY; CAO ; LIU, 1996; IVASCHUK *et al.*, 1997).

Nos anos recentes, o uso do telefone móvel celular tem aumentado muito, resultando em uma proliferação dos campos eletromagnéticos provenientes de rádio-frequência e de microondas no meio ambiente. Resultados de estudos experimentais, epidemiológicos e *in vitro* são controversos e ainda não se conseguiu chegar a uma conclusão definitiva (SHORE, 1998).

Estudos epidemiológicos têm sugerido uma associação entre exposição a campos eletromagnéticos e o aumento da incidência de câncer. Em um dos primeiros estudos realizado sobre este assunto, Wertheimer indicou uma relação entre leucemia infantil e câncer de cérebro em crianças que residiam próximas às linhas de transmissão (WERTHEIMER, 1979).

A mudança na taxa de proliferação de uma cultura celular quando submetida a um meio sob influência de uma radiação não ionizante com variação da intensidade de potência e variação do tempo de exposição, utilizando um equipamento chamado “transverse eletromagnétic cell” (TEM cell), apresentou como resultado um aumento na proliferação da cultura de célula exposta a campos eletromagnéticos na frequência de 900 MHz (KWEE; RASKMARK, 1998).

Muitos outros estudos epidemiológicos foram conduzidos em outras frequências, destacando-se entre eles os realizados por Savitz *et al.*, (1988) e Savitz e Loomis, (1995).

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo das principais normas que regem os padrões de uso de equipamentos geradores de rádio frequência e microondas, um estudo crítico dos parâmetros adotado pelo Brasil, pelo Continente Europeu e Americano. Também se pretende desenvolver um equipamento para a realização de pesquisas biológicas conhecido como célula de modo eletromagnético transversal - Célula TEM e sua validação em experimento com bactérias e fungos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Telefonia Celular

Até o aparecimento da telefonia celular as cidades contavam apenas com as torres de televisão e rádio em frequência modulada (FM) e amplitude modulada, com as torres de rádio em amplitude modulada (AM) situando-se normalmente fora dos grandes centros. Por mais torres de sistemas de transmissão de TV e rádios que existam, seu número é bastante reduzido, face ao número de torres de telefonia celular conforme apresentado na Tabela 01. A explicação para este fato é simples, pois enquanto uma estação de FM ou TV pode cobrir uma área de cerca de 40 km de raio, uma estação celular cobre áreas que vão de 100 m a 5 km de raio. Com isto o número de torres de telefone celular deve ser grande dentro de uma cidade e a população acabou se despertando para o fato de ser vizinha de uma delas (SOARES, 1990).

Tabela 01 - Comparativo de Sistemas de Transmissão de RF /Dados ANATEL Abril de 2004.

| <b>Emissoras AM<br/>Em operação</b> | <b>Emissoras<br/>FM<br/>em operação</b> | <b>Nº ERB's<br/>em operação</b> | <b>Nº Aparelhos<br/>Celulares<br/>em operação</b> |
|-------------------------------------|---|---------------------------------|---|
| 1.552                               | 1.354                                   | 21.509                          | 50.336.187  |

Assim, devemos pesquisar se a telefonia celular pode ser causadora de danos à saúde, quais os níveis de radiações que ela emite e o que ela poderia nos causar.

Considerando-se como exemplo uma estação de televisão padrão com uma potência efetivamente irradiada (E.R.P.) de 30 kW, pode-se afirmar que, neste caso, uma pessoa situada a cerca de 1,5 m da antena, receberia uma radiação de cerca de  $1000 \text{ W/m}^2$ , ou seja radiação idêntica a que receberia do Sol. Porém para uma estação rádio base padrão de telefonia celular (ERB), com uma E.R.P total de 500W,

essa pessoa deveria estar próxima da antena cerca de 20 cm para receber uma radiação idêntica à do Sol segundo Panel (apud SILVA, 2000).

No caso de uma ERB, uma pessoa distante 50 m da torre receberia uma radiação de  $16 \text{ mW/m}^2$ , enquanto uma pessoa com um aparelho de telefone celular com uma E.R.P total de 600 mW e distante 5 cm da cabeça de uma pessoa receberia  $19 \text{ W/m}^2$ , valor bem menor do que o emitido pelo sol, segundo Panel (apud SILVA, 2000).

Sabe-se que a televisão opera na faixa de frequência de  $10^8$  Hz enquanto que a telefonia celular opera na faixa de frequência de  $10^6$  Hz a  $10^9$  Hz e que o Sol está na faixa de frequência de  $10^{16}$  Hz. Desta maneira devemos levar em conta a frequência da radiação e a proximidade da pessoa à antena. Para se entender o problema, deve-se primeiramente estudar o comportamento do sistema biológico em função da frequência segundo Panel (apud SILVA, 2000). Na Tabela 02 apresentamos as principais frequências de diversas aplicações.

Tabela 02 - Alocação de Frequência para Sistema Celular, Rádio e TV.

|                       | Celular<br>TDMA<br>(MHz) | Celular<br>GSM (MHz) | Rádio<br>FM (MHz) | Rádio<br>AM (kHz) | TV             |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------|
|                       | EM                       | SMP                  | -                 | OM                | Canais 38 a 59 |
| Freq. p/ Teste        |                          | 902,5                |                   |                   | 640 MHz/44     |
| Frequência<br>Up Link | 824 a 849                | 890 a 915            | 88 a 108          | 535 a 1605        | 614 a 746      |

EM=Estação móvel, SMP=Serviço móvel pessoal, OM=Ondas médias

## 2.2 Valores Adotados em Projetos

Para sinais de rádio FM, os valores de campo elétrico adotados em projetos de transmissão variam de 54 dBu, correspondendo a  $501 \mu\text{V/m}$ , até 74 dBu, correspondendo a  $5010 \mu\text{V/m}$ , cobrindo uma área de até 40 Km. Para sinais de televisão, os valores de campo situam-se entre 54 dBu à 80 dBu, correspondendo a

10000  $\mu\text{V}/\text{m}$  e uma área de cobertura de até 40 Km. Para sinais de rádios móveis, telefonia celular e sistemas “*wireless*” os valores de potência mínima de recepção adotados, situam-se na faixa de -65 a -85 dBm, o que considerando antenas de recepção de  $\lambda/4$  equivalem a campos elétricos de recepção entre 270  $\mu\text{V}/\text{m}$  à 2700  $\mu\text{V}/\text{m}$ , correspondentes a 48,6 e 68,6 dBu respectivamente e com uma área de cobertura de 100 m a 5 Km. A Tabela 03 resume os valores adotados para projeto nas áreas em estudo segundo Panel (apud SILVA, 2000).

Tabela 03 - Valores de Campos Elétricos Usuais.

| Estação                                   | FM         | TV          | Celular      |
|---|------------|-------------|--------------|
|   | Até 40 km  | Até 40 km   | 100 m a 5 km |
| Campo Elétrico ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) | 501 a 5010 | 501 a 10000 | 270 a 2700   |

## 2.3 Normalização Relativa a Exposição da População aos Campos Eletromagnéticos (0 Hz – 300 GHz) no Brasil e no Mundo

### 2.3.1 A Importância das Normas

Os limites para a exposição segura à radiação eletromagnética são estabelecidos por organismos governamentais e/ou internacionais. Estes se baseiam em resultados e pesquisas científicas realizadas nas áreas que definem quais os níveis máximos para exposição segura à radiação. Para a ABNT a normalização dos limites de irradiação de RF e MO estão presentes na fabricação dos produtos, na transferência de tecnologia, na melhoria da qualidade de vida através de normas relativas à saúde na segurança e na preservação do meio ambiente (ABNT, 2000).

Dentre as principais normas internacionais, as que se destacam pela abrangência e aceitação são as da Comissão Internacional para a Proteção Contra a Radiação Não-Ionizantes (ICNIRP), normas reconhecidas pela Organização Mundial de

Saúde (OMS) e a do Instituto Nacional Americano de Padronização / Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (ANSI / IEEE), que é adotada pelo Comitê Federal de Comunicações (FCC), estes dois últimos representando organismos americanos (OMS, 2004).

No Brasil a ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicações) adotou os limites propostos pela ICNIRP para o controle de emissões de radiofrequência provenientes de equipamentos transmissores de serviços de telecomunicações e emitiu a Resolução nº 303, publicada no Diário Oficial da União de 10 de julho de 2002, que aprovou o regulamento sobre limitação da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz para o público em geral e para pessoas ocupacionalmente expostas (ANATEL, 2002).

A população ocupacionalmente exposta compreende adultos que estão geralmente expostos a condições conhecidas e são treinados para estar atento ao risco potencial e tomar as precauções apropriadas. Em contraste, o público em geral compreende pessoas de todas as idades e estados de saúde e pode incluir grupos ou indivíduos particularmente susceptíveis. Em muitos casos, essas pessoas não têm consciência de sua exposição a campos eletromagnéticos. Além do que, não se pode esperar que indivíduos do público em geral tomem precauções para minimizar ou evitar a exposição. É sobre estas considerações que se baseia a adoção de restrições mais rigorosas para a exposição do público em geral, do que para a população exposta ocupacionalmente segundo ICNIRP (apud ABRICEM, 1999).

O primeiro programa de pesquisa sobre os efeitos biológicos e os perigos provenientes da radiação eletromagnética datam de 1956, quando o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) nomeou a Força Aérea responsável pela coordenação e estudo de três trabalhos. Estes estudos envolviam, basicamente os danos causados por radiação de microondas em seres humanos provenientes do manuseio de radares; análise do efeitos térmicos proveniente da irradiação de microondas e os parâmetros da densidade de potência real dos radares e seu dano a saúde (MICHAELSON, 1987).

Em meados de 1960 foram divulgados os resultados deste programa e sugeriu-se como padrão de segurança o valor de  $100 \text{ W/m}^2$ , ou seja, um valor 10 vezes menor do que a radiação produzida pelo Sol a pino, que é da ordem de  $1000 \text{ W/m}^2$ . A primeira norma de segurança sobre radiação eletromagnética foi elaborada pela ANSI

no ano de 1966, tendo adotado o valor de  $100 \text{ W/m}^2$  como padrão de segurança para radiação. A partir desta data começaram a aparecer normas sobre radiação eletromagnética de outros países e/ou entidades, tais como: Conferência americana Governamental das Indústrias Sanitaristas (ACGIH), Conselho Nacional em Proteção de Radiação e Medidas (NCRP), IEEE, Associação Internacional de Proteção a Radiação (IRPA), Comitê Europeu para Padrões Eletrotécnicos (CENELEC) e o ICNIRP que é o organismo que está empenhado em desenvolver estudos de saúde e segurança sobre exposições a ondas de radiofrequências para o continente Europeu (MICHAELSON, 1987).

Estas normas eram o resultado dos estudos realizados sobre o efeito térmico da radiação, ou seja, o aumento da temperatura provocado em um ser humano pela radiação. A partir daí, definiu-se o SAR (Taxa de Absorção Específica) como uma boa medida destes efeitos (BALZANO, 1997; ANATEL, 1999).

Em 1996, a Organização Mundial de Saúde deu início o projeto “International EMF – Project” que visa avaliar a saúde dos seres humanos e os efeitos ambientais da exposição aos campos: elétrico-estático, campo elétrico, que variam no tempo; e campos magnéticos na frequência de 0 a 300 GHz. O International EMF Project está previsto para terminar no ano de 2007, quando a OMS pretende elaborar uma norma padrão que elimine as diferenças entre os regulamentos atuais de todos os organismos de pesquisas mundiais (OMS, 2004).

Independentemente de organismos internacionais que geram normas de padrões mundiais, cada país tem seu próprio organismo de fiscalização e de controle dos riscos e danos causados pelos campos eletromagnéticos provenientes de equipamentos geradores de rádio frequência tais como:

- PERU, Instituto Nac. de Investigação e Capacitação de Telecom – INICTEL;
- INGLATERRA, Comitê Nacional de Proteção à Radiação - NRPB;
- CANADA, Department of Communication - DOC;
- JAPÃO, Ministry of Post and Telecommunications - MPT;
- AUSTRALIA, Australian Communications Authority - ACA;

Nos Estados Unidos em meados de 1980 houve um crescimento dramático no número de assinantes de telefone sem fio desde que o serviço celular se tornou disponível. Em 1994, 16 milhões de americanos já tinham telefones celulares. Por volta do ano de 2000, o número de usuários de telefones celulares já havia alcançado a cifra de 110 milhões de usuários como pode ser observado na figura 1 (GAO, 2003).

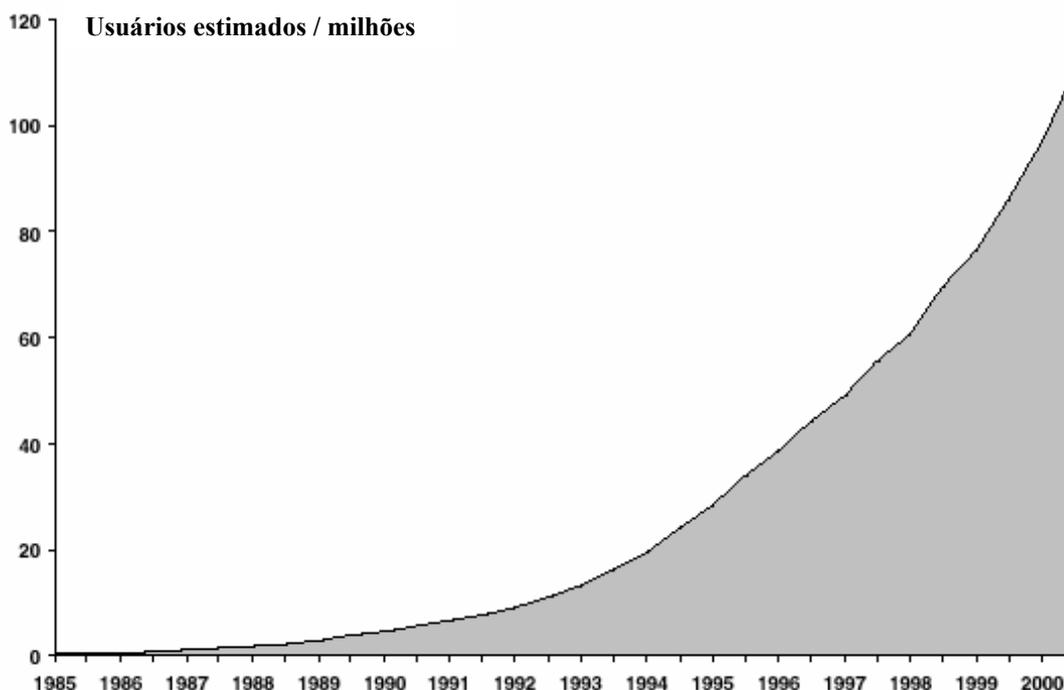


Figura 1 - Crescimento de Usuários de Telefones Celulares de 1985 a 2001 nos EUA.

Existe perspectiva para o futuro de um crescimento muito forte do número de usuários de aparelhos celulares em todo o mundo e a expectativa é de que se chegue a aproximadamente, 1,2 bilhões de usuários em 2005. Em países como a Áustria, Finlândia, Itália, Noruega, Coreia do Sul e Suécia, mais da metade da população já é usuária de telefones celulares (GAO, 2003).

O grande número de usuários de telefones celulares determina um aumento à exposição de RF e MO fazendo com que se torne cada vez mais premente o estudo dos fatores que poderiam propiciar algum dano a saúde humana (KWEE, 1988).

## **2.4 Normalização Internacional**

### **2.4.1 Normalização Européia**

Em 1974, a IRPA formou um grupo de trabalho para examinar os problemas provenientes da Radiação Não Ionizante (RNI), desenvolvendo vários trabalhos no campo de proteção contra essa radiação. Em 1977 foi criada a Comissão Internacional de Radiações Não Ionizantes (INIRC) que trabalhando em conjunto com a Divisão de Saúde Ambiental da Organização Mundial de Saúde, desenvolveu uma série de documentos relacionando os critérios básicos para uma proteção mais eficaz em relação às RNI como parte de um programa da Organização Mundial de Saúde patrocinado pelas Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP). Cada documento inclui uma visão panorâmica das características físicas, instrumentais de medidas e abrangendo também uma revisão total da literatura sobre os efeitos biológicos e uma avaliação dos riscos à saúde proveniente das RNI. Estes critérios de saúde associados aos dados científicos levantados serviram de base para o atual desenvolvimento dos limites de exposição e os códigos de prática relacionados à RNI (ICNIRP, 2004).

No 8º Congresso Internacional da IRPA em Montreal, 1992 foi estabelecida uma nova organização científica independente, a ICNIRP sucessora da IRPA / INIRC, tendo como função investigar os perigos que podem ser associados com as diferentes formas de RNI, desenvolver recomendações internacionais sobre limites de exposição para as RNI e tratar todos os assuntos sobre proteção contra as RNI (ICNIRP, 2004).

Em 1998, o Conselho da União Européia (CEU) considerando o tratado que constituía a Comunidade Européia (EU) e visando aumentar a consciência dos riscos e as medidas de proteção contra os campos eletromagnéticos na proteção da saúde do cidadão, recomendou alguns parâmetros que estão em vigência até os dias de hoje e são regidos pelo atual ICNIRP, que é constituído por um corpo de peritos científicos independentes que constituem uma Comissão principal de 14 sócios, 4 Comitês Científicos de epidemiologia que cobrem biologia, dosimetria, radiação óptica

e vários outros assuntos (JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1999).

A principal função do ICNIRP é a de disseminar informação e dar conselho na área de saúde envolvendo os principais riscos provenientes da exposição à RNI para todo o mundo. O trabalho do ICNIRP cobre toda a parte de RNI e inclui também as radiações ópticas (ultravioleta, luz visível, infravermelho e laser), campos elétricos e magnéticos estáticos e radiação de radiofrequência (inclusive microondas) e ultra-som (ICNIRP, 2004 ).

A tabela 04 apresenta as restrições básicas para densidade de corrente, SAR média de corpo inteiro e SAR localizada para frequências de 1 Hz a 10 GHz.

Tabela 04 - Restrições Básicas para Campos Elétricos e Magnéticos Variáveis no Tempo.

| Tipo de Exposição | Faixa de Frequência | Dens. de Corrente (Cabeça e Tronco) (mA/m <sup>2</sup> ) | SAR (Corpo Inteiro) (W/kg) | SAR (Cabeça e Tronco) (W/kg) | SAR (Membros) (W/kg) |
|-------------------|---------------------|--|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Ocupacional       | Até 1 Hz            | 40   | —                          | —                            | —                    |
|                   | 1 a 4 Hz            | 40/f   | —                          | —                            | —                    |
|                   | 4 a 1kHz            | 10   | —                          | —                            | —                    |
|                   | 1 a 100kHz          | f/100  | —                          | —                            | —                    |
|                   | 100 kHz a 10 MHz    | f/100  | 0,4                        | 10                           | 20                   |
|                   | 10 MHz a 10 GHz     | —  | 0,4                        | 10                           | 20                   |
| Público em Geral  | Até 1 Hz            | 8  | —                          | —                            | —                    |
|                   | 1 a 4 Hz            | 8/f  | —                          | —                            | —                    |
|                   | 4 a 1kHz            | 2  | —                          | —                            | —                    |
|                   | 1 a 100kHz          | f/500  | —                          | —                            | —                    |
|                   | 100 kHz a 10 MHz    | f/500  | 0,08                       | 2                            | 4                    |
|                   | 10 MHz a 10 GHz     | —  | 0,08                       | 2                            | 4                    |

f = frequência (Hz)

Fonte : ICNIRP

A tabela 05 e 06 apresentam as restrições básicas para campos elétricos e magnéticos, porém, entre 10 e 300 GHz. As restrições básicas referem-se à densidade de potência (S) que em propagação de onda eletromagnética, corresponde à potência que atravessa uma área unitária normal à direção de propagação, exprime-se em watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ) e cujos valores considerados são de  $50 W/m^2$ , para exposição ocupacional, e  $10 W/m^2$ , para o público em geral na frequência de 2000 MHz.

Tabela 05 - Níveis de Referência para a Exposição Ocupacional.

| Faixa de Frequência | Intensidade Campo Elétrico E (V/m) | Intensidade de Campo Magnético H (A/m) | Densidade de Fluxo Magnético B( $\mu T/m^2$ ) | Densidade de Potência Equivalente $S_{eq}$ ( $W/m^2$ ) |
|---------------------|------------------------------------|--|---|--|
| Até 1 Hz            | —                                  | $1,63 \cdot 10^5$                      | $2 \cdot 10^5$                                | —  |
| 1 a 8 Hz            | 20.000                             | $1,63 \cdot 10^5/f^2$                  | $2 \cdot 10^5/f^2$                            | —  |
| 8 a 25 kHz          | 20.000                             | $2 \cdot 10^4/f^2$                     | $2,5 \cdot 10^4/f^2$                          | —  |
| 0,025 a 0,82 kHz    | $500/f$                            | $20/f$                                 | $25/f$  | —  |
| 0,82 a 65 kHz       | 610                                | 24,4                                   | 30,7  | —  |
| 0,65 a 1MHz         | 610                                | $1,6/f$                                | $2/f$   | —  |
| 1 a 10 MHz          | $610/f$                            | $1,6/f$                                | $2/f$   | —  |
| 10 a 400 MHz        | 61                                 | 0,16                                   | 0,2   | 10   |
| 400 a 2000 MHz      | $3 \cdot f^{0,5}$                  | $0,008f^{0,5}$                         | $0,01f^{0,5}$                                 | $f/40$   |
| 2 a 300 GHz         | 137                                | 0,36                                   | 0,45  | 50   |

f = frequência especificada na coluna de faixa de frequência.

Tabela 06 - Níveis de Referência para a Exposição do Público em Geral.

| Faixa de Frequência | Campo Elétrico E (V/m) | Intensidade de Campo Magnético H (A/m) | Densidade de Fluxo Magnético B( $\mu T/m^2$ ) | Densidade de Potência Equivalente $S_{eq}$ ( $W/m^2$ ) |
|---------------------|------------------------|--|---|--|
| Até 1 Hz            | —                      | $3,2 \cdot 10^4$                       | $4 \cdot 10^4$                                | —  |
| 1 a 8 Hz            | 10.000                 | $3,2 \cdot 10^4/f^2$                   | $4 \cdot 10^4/f^2$                            | —  |
| 8 a 25 kHz          | 10.000                 | $4.000/f$                              | $5.000/f$                                     | —  |
| 0,025 a 0,8 kHz     | $250/f$                | $4/f$                                  | $5/f$   | —  |
| 0,8 a 3 kHz         | $250/f$                | 5                                      | 6,25  | —  |
| 3 a 150 kHz         | 87                     | 5                                      | 6,25  | —  |
| 0,15 a 1MHz         | 87                     | $0,73/f$                               | $0,92/f$                                      | —  |
| 1 a 10 MHz          | $87/f^{0,5}$           | $0,73/f$                               | $0,92/f$                                      | —  |
| 10 a 400 MHz        | 28                     | 0,073                                  | 0,092   | 2  |
| 400 a 2000 MHz      | $1,375 \cdot f^{0,5}$  | $0,0037 \cdot f^{0,5}$                 | $0,0046 \cdot f^{0,5}$                        | $f/200$  |
| 2 a 300 GHz         | 61                     | 0,16                                   | 0,20  | 10   |

f = frequência especificada na coluna de faixa de frequência.

Em muitos países europeus já existem padrões definidos ou diretrizes específicas para a proteção da população com relação a campos eletromagnéticos como, por exemplo, o do Conselho da União Européia (CEU) e o da Inglaterra que a partir de 2005, o National Radiological Protection Board (NRPB) uniu-se a Agência de Proteção a Saúde (HPA) para administrar as normas de irradiação de RF do país (HPA, 2005).

Porém, o CENELEC continua sendo um dos organismos que regem as normas e padrões para Compatibilidade Eletromagnética (EMC) de produtos em quase toda a Europa (CENELEC, 2001).

Na Alemanha os padrões de EMC são fixados pelo DIN/VDE 0848 parte 2 e na Áustria os padrões são fixados pelo ÖNORM S 1119 (TEPS, 2004).

A tabela 7 especifica os valores de SAR dos três principais organismos Europeu.

Tabela 07 - Valores limites de SAR para o CENELEC ENV 50166-2, IRPA/ICNIRP e CEU para Exposição Diária de Trabalhadores a Freqüências Superiores a 300 MHz.

| <b>Alta Freqüência</b>                     | <b>CENELEC</b>                              | <b>IRPA/ICNIRP</b>                          | <b>CEU</b>                                  |
|--|---|---|---|
| Faixa de Freqüência [Hz]                   | $1,0 \times 10^4$ a<br>$3,0 \times 10^{11}$ | $1,0 \times 10^7$ a<br>$3,0 \times 10^{11}$ | $1,0 \times 10^5$ a<br>$3,0 \times 10^{11}$ |
| Taxa de Absorção Específica SAR - Corpo    |   |   |   |
| Inteiro                                    | 0,4 W/kg                                    | 0,4 W/kg                                    | 0,4 W/kg                                    |
| Extremidades (cálculo sobre 10g de tecido) | 20 W/kg                                     | 20 W/kg                                     | 20 W/kg                                     |
| Cabeça e tronco (mais de 10 g)             | 10 W/kg                                     | 10 W/kg                                     | 10 W/kg                                     |

### 2.4.2 Norma RUSSA

A antiga URRS adota, desde 1959, os valores de densidade de potência para proteção, apresentados na Tabela 08.

Tabela 08 - Valores de Densidade de Potência.

| <b>Proteção</b> | <b>Densidade (mW/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|-------------------------------------|
| Ocupacional     | 100                                 |
| Público         | 10                                  |

Estes valores sinalizam que o público em geral, não deve ficar exposto a campos elétricos com intensidade superior a 1,94 V/m. Todos os outros países do antigo bloco comunista adotavam valores idênticos a estes, para o público em geral, e um pouco superiores para proteção ocupacional (250 mW/m<sup>2</sup>) segundo Grant (apud SILVA, 2001).

### 2.4.3 Norma Italiana

Em 1997, a Itália, adotou 1 W/m<sup>2</sup> como valor de proteção para o público em geral à exposição na frequência de 900 MHz e para pessoas expostas continuamente por mais de quatro horas o limite é reduzido para 0,1 W/m<sup>2</sup> e que não deve ser excedido para exposição do público em geral. Esta grandeza indica um valor de campo elétrico máximo de 6 V/m, como o valor limite que o público em geral deve suportar, segundo Salles (M.D.A, 1998).

#### 2.4.4 Norma Inglesa

A Inglaterra até o ano de 1999 adotava os limites estabelecidos pelo NRPB que a partir de 2005, uniu-se a Agência de Proteção a Saúde (HPA) para administrar as normas de irradiação de RF do país. Os valores de intensidade de campo e densidade de potência na faixa de celular são apresentada na tabela 09. A partir de 1999 a Inglaterra passou a adotar parâmetros do ICNIRP a fim de se encontrar padronizada com os países da Comunidade Européia, porém a principal diferença em relação ao ICNIRP é que não é aplicado o segundo fator de correção de 5 para a população em geral, de forma que a população pode ficar exposta aos valores dos limites ocupacionais. Estes limites são aqueles propostos pela ICNIRP. Com exceção da Austrália, Nova Zelândia e Suíça os demais países adotam os limites estabelecidos pelo ICNIRP (PEREIRA FILHO, 2002; IEGMP/NRPB, 2000).

Tabela 09 - NRPB/HPA - Níveis para exposição de frequências em telefonia móvel.

| Frequência (MHz) | Campo Elétrico (V/m) | Campo Magnético (A/m) | Densidade de Potência W/m <sup>2</sup> |
|------------------|----------------------|-----------------------|--|
| 400 – 800        | 100                  | 0,26                  | 26                                     |
| 800 – 1550       | 25f                  | 0,33f                 | 41f <sup>2</sup>                       |
| 1550 – 3000      | 194                  | 052                   | 1000                                   |

f = frequência (GHz)

Fonte: NRPB

#### 2.4.5 Normalização Americana

Análogo às Normas Européias apresentadas, as Americanas apresentam valores de normalização e diretrizes semelhantes às grandezas Européias. As diretrizes adotadas nos EUA provêm basicamente de meados da II Guerra Mundial, com uma série de pesquisas de efeitos biológicos provenientes do desenvolvimento de equipamentos eletrônicos como radares que são fortes geradores de campos eletromagnéticos de alta potência na faixa de microondas. Somente em 1953 é que o Escritório de Pesquisa

Naval dos Estados Unidos (ONR) realizaram a primeira discussão sobre a tolerância aos níveis de exposição a microondas, onde Schawan sugeriu  $100 \text{ W/m}^2$  (Ver Apêndice A) como um valor ou padrão apropriado de potência em microondas para exposição ao ser humano e em 1965 esse valor foi aceito como padrão para exposição pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e depois de revisada todas as informações disponíveis, o ANSI, também recomendou os  $100 \text{ W/m}^2$  como padrão que em 1973 foram reafirmados pelo próprio ANSI os quais servem como referencia até os dias de hoje (MICHAELSON, 1987).

As recomendações do ANSI/IEEE e do FCC são especificadas com o objetivo de prevenir efeitos prejudiciais aos seres humanos expostos a campos eletromagnéticos e seus limites são apresentados na tabela 10, onde são aplicados em situações nas quais as pessoas estão expostas em consequência de seus empregos, porém, estas pessoas estão conscientes do potencial de exposição e por sua vez podem providenciar o controle adequado as exposições (IEEE, 1992; FCC, 1999).

Tabela 10 – Limite para Exposição Ocupacional/Controlada Permissível.

| Faixa de Freqüência<br>(MHz) | Intensidade do Campo Elétrico – E<br>(V/m) | Intensidade do Campo Magnético – H<br>(A/m) | Densidade Potência – S<br>( $\text{W/m}^2$ ) | Tempo<br>$E^2, H^2$ ou S<br>(minutos) |
|------------------------------|--|---|--|---------------------------------------|
| 0.3-3.0                      | 614  | 1.63  | 1000   | 6                                     |
| 3.0-30                       | $1842/f$                                   | $4.89/f$                                    | $(9000/f^2)$                                 | 6                                     |
| 30-300                       | 61.4                                       | 0.163                                       | 10   | 6                                     |
| 300-1500                     | --   | --  | $f/30$                                       | 6                                     |
| 1500-100,000                 | --   | --  | 50   | 6                                     |

f = Freqüência (MHz)

Fonte: FCC

Observa-se, na tabela 11, os limites que se aplicam em situações em que o público em geral pode ser exposto ao potencial sem condição de realizar o controle à exposição (IEEE, 1992).

Tabela 11 - Limite para Exposição População Geral/Descontrolada permissível.

| Faixa de Frequência (MHz) | Intensidade do Campo Elétrico - E (V/m) | Intensidade do Campo Magnético - H (A/m) | Densidade Potência – S (W/m <sup>2</sup> ) | Tempo E <sup>2</sup> , H <sup>2</sup> ou S (minutos) |
|---------------------------|---|--|--|--|
| 0.3-1.34                  | 614                                     | 1.63                                     | 1000                                       | 30   |
| 1.34-30                   | 824/f                                   | 2.19/f                                   | 1800/f <sup>2</sup>                        | 30   |
| 30-300                    | 27.5                                    | 0.073                                    | 2  | 30   |
| 300-1500                  | --                                      | --                                       | f/150                                      | 30   |
| 1500-100,000              | --                                      | --                                       | 10   | 30   |

f = Frequência (MHz) Fonte:FCC

Nos EUA, a recomendação de referência atual é a norma C95.1 desenvolvida pelo IEEE e em setembro de 1992, o IEEE aprovou os padrões para níveis de segurança no que diz respeito à exposição humana a campos eletromagnéticos em rádio frequência, de 3 kHz a 300 GHz. Esse padrão é uma revisão dos padrões americanos ANSI de 1999 para níveis de segurança a campos eletromagnéticos em rádio frequência, de 3 kHz a 100 GHz (FOSTER, 2000; WLA, 2004).

As duas agências mais importantes, a ANSI e a American Conference on Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) estabeleceram os primeiros padrões de proteção às radiações não ionizantes (IEEE, 1992).

Porém, em 1985, o FCC adotou tais diretrizes a serem usadas como padrão para avaliar a exposição humana aos efeitos provenientes das emissões de RF. As diretrizes novas revisadas em agosto de 1996 pelo FCC também incorporaram os limites para máxima exposição permissível em termos de intensidade de campo elétrico e magnético e densidade de potência para transmissores que operam nas frequências entre 300 kHz e 100 GHz. São especificados também limites de absorção localizados tais como: limite para corpo inteiro e exposição parcial do corpo humano, limites estes aplicados principalmente para telefones portáteis de mão. Os limites de proteção a

campos eletromagnéticos do FCC estão baseados em limites de exposição recomendados pelo Conselho Nacional em Proteção de Radiação e Medidas, (NCRP) com base nos limites definidos pelo ANSI/ IEEE (DAVID ; KWOK, 2001).

Na figura 2 apresentamos os limites para máxima exposição permissível da FCC.

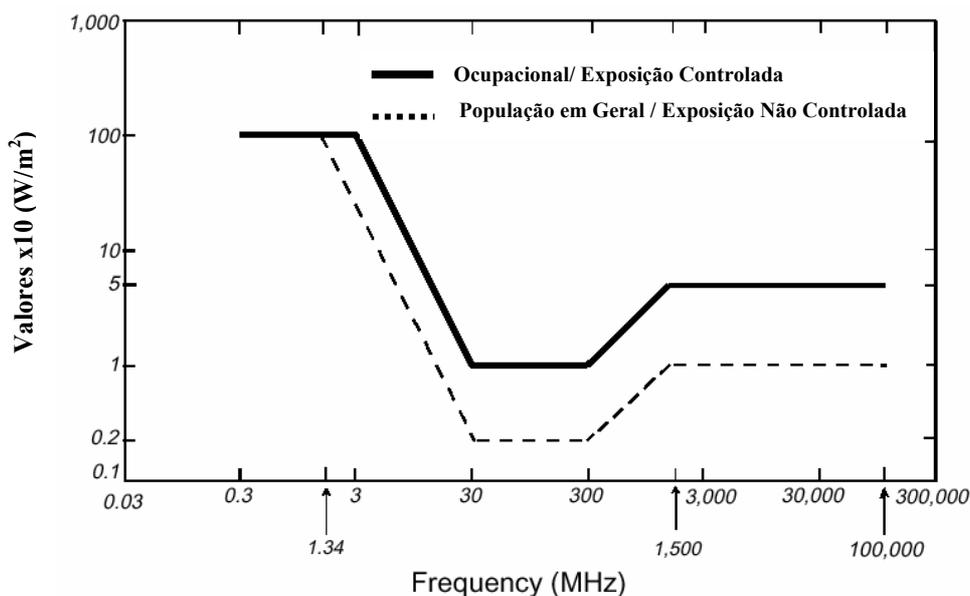


Figura 2 - FCC Limites para Máxima Exposição Permissível (MEP).

Outro organismo americano de fundamental importância e que está atuante desde 1991 no desenvolvimento de documentação associada aos padrões dos níveis de exposição ocupacional de RF e MO é o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Este organismo tem realizado medidas das intensidades provenientes de rádio frequência e microondas nos mais diversos ambientes de trabalho seguindo como base os padrões especificados pelo ANSI/IEEE (NIOSH, 2004).

Nas tabelas 12 e 13 estão apresentadas as principais variações de valores máximos de organismos tais como IEEE (EUA), FCC (EUA) e ICNIRP (EUROPEU), a tabela 12 apresenta os níveis de referência para exposição ocupacional em um ambiente controlado, nas quais as pessoas estão expostas como consequência do emprego delas e estão atentas ao potencial de exposição.

Tabela 12 - Níveis de Referência para a Exposição Ocupacional.

| Frequência | Intensidade do Campo Elétrico – E (V/m) |      |        | Intensidade do Campo Magnético - H (A/m) |       |        | Densidade de Potência Equivalente - $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> ) |     |        |
|------------|---|------|--------|--|-------|--------|--|-----|--------|
|            | IEEE C95-1                              | FCC  | ICNIRP | IEEE C95-1                               | FCC   | ICNIRP | IEEE C95-1   | FCC | ICNIRP |
| 10 MHz     | 184,2                                   | 84,2 | 61     | 1,63                                     | 0,49  | 0,16   | —  | —   | —      |
| 100 MHz    | 61,4                                    | 61,4 | 61     | 0,163                                    | 0,163 | 0,16   | 10   | 10  | 10     |
| 1 GHz      | —                                       | —    | 95     | —  | —     | 0,25   | 33   | 33  | 25     |
| 10 GHz     | —                                       | —    | 137    | —  | —     | 0,36   | 100  | 50  | 50     |
| 100 GHz    | —                                       | —    | 137    | —  | —     | 0,36   | 100  | 50  | 50     |

A tabela 13 apresenta os níveis de referência para a exposição do público em geral para ambiente não controlado que se aplicam em situações no qual o público em geral pode ser exposto, porém ele não se encontra sob nenhum controle à exposição.

Tabela 13 - Níveis de Referência para a Exposição do Público em Geral.

| Frequência | Campo Elétrico E (V/m) |       |        | Intensidade de Campo Magnético H (A/m) |       |        | Densidade de Potência Equivalente $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> ) |     |        |
|------------|------------------------|-------|--------|--|-------|--------|--|-----|--------|
|            | IEEE C95-1             | FCC   | ICNIRP | IEEE C95-1                             | FCC   | ICNIRP | IEEE C95-1   | FCC | ICNIRP |
| 10 MHz     | 82,38                  | 82,38 | 28     | 1,63                                   | 0,22  | 0,073  | —  | —   | —      |
| 100 MHz    | 27,5                   | 27,5  | 28     | 0,073                                  | 0,073 | 0,073  | 2  | 2   | 2      |
| 1 GHz      | —                      | —     | 43,5   | —                                      | —     | 0,12   | 6,7  | 6,7 | 5      |
| 10 GHz     | —                      | —     | 61     | —                                      | —     | 0,16   | 67   | 10  | 10     |
| 100 GHz    | —                      | —     | 61     | —                                      | —     | 0,16   | 100  | 10  | 10     |

## 2.5 Normalização Nacional

### 2.5.1 Normalização Brasileira

Até o ano de 2002 as normas brasileiras NR-15, tratavam das condições de salubridade no ambiente de trabalho, para trabalhadores expostos às radiações ionizantes e às não ionizantes, porém meramente qualitativa, não estabelecendo limites para a exposição às RNI. A norma NR-9 trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) e admite que, na ausência de valores limites de exposição ocupacional, sejam adotados os limites recomendados pela Conferência Americana Governamental das Indústrias Sanitaristas. A partir de 1999 a ANATEL aprovou provisoriamente o regulamento sobre limitação da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz que são os limites propostos pela ICNIRP. A partir de 2002 a ANATEL passou a estabelecer os limites definitivos para exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência até 300 GHz tornando-se então o organismo regulador nacional (MTE; 2004 ; ANATEL, 2002).

A figura 3 apresenta a exposição máxima permitida, para um período médio de tempo de 6 min, de modo a manter a relação entre a potência absorvida e o aquecimento induzido ou o aumento da temperatura do tecido devido à absorção de radiofrequência (ANATEL, 2002).

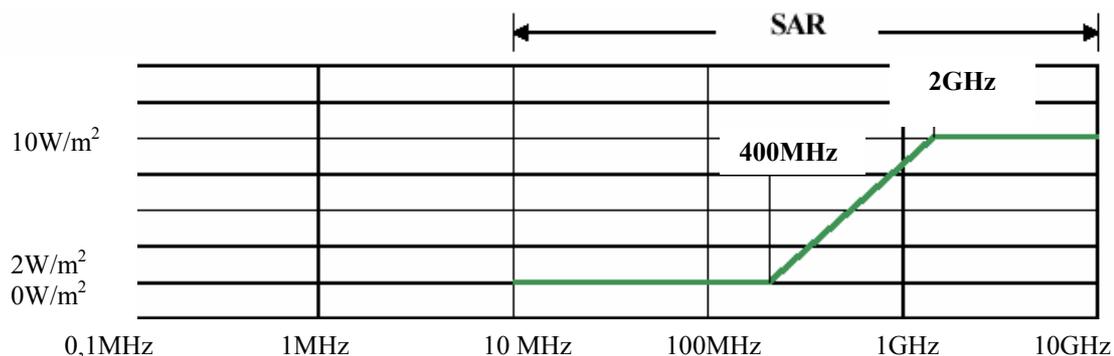


Figura 3 - Exposição Máxima Permitida ao Público em Geral.

## **2.5.2 Leis Municipais**

Algumas cidades estão regulamentando valores limites para exposição ao público em geral. Em 22 de dezembro de 1997 a cidade de Campinas, São Paulo, foi a pioneira nesta regulamentação, estabelecendo limite de densidade de potência de  $1,0 \text{ W/m}^2$  para a frequência de 1 GHz. O valor limite de densidade de potência para Campinas é 4,5 vezes inferior ao proposto pelo ICNIRP (PEREIRA FILHO, 2002).

## **2.6 Principais Parâmetros de Radiação Não Ionizantes**

Radiações não ionizantes são aquelas que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia suficiente capaz de produzir emissão de elétrons de átomos ou moléculas. Os campos eletromagnéticos de radiofrequências (RF) são conhecidos também como radiações não ionizantes, pelo fato de não produzirem íons, devido a seu baixo conteúdo de energia. Estes campos se caracterizam por atuarem sobre os tecidos biológicos basicamente através da produção de calor e aumento de temperatura (ABRICEM, 1999; MINDNET, 2005).

Radiações ionizantes são aquelas que têm a capacidade de transferir energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas da matéria com a qual interagem, fazendo com que um elétron de valência se desprenda de sua órbita (CNEM, 2005).

De um modo geral, as radiações eletromagnéticas com energias inferiores a 12 eV e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) superiores a 200 nm são denominadas de radiações não ionizantes, visto que comprimentos de onda menores já fazem parte do espectro ultra-violeta ou raios X, caracterizando as radiações ionizantes conforme figura 4 (PRO RAD, 2004).

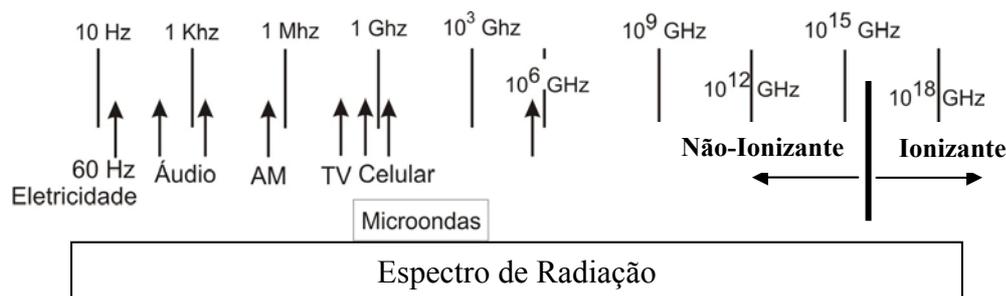


Figura 4 - Espectro de Frequências.

### 2.6.1 Absorção de Energia de Campos Eletromagnéticos

A exposição à campos elétricos e magnéticos em frequência baixa resulta normalmente em uma absorção de energia desprezível, sem elevação mensurável da temperatura do corpo. Entretanto, exposição a campos eletromagnéticos de frequências acima de 100 kHz pode conduzir a uma absorção significativa de energia e a um aumento de temperatura considerável, onde os efeitos biológicos na saúde, estabelecidos na faixa de frequências de 10 MHz até alguns GHz, são consistentes com respostas a uma elevação da temperatura corporal superior a 1 °C, que em condições ambientais moderadas, este nível de aumento de temperatura resulta da exposição de pessoas a uma SAR de corpo inteiro de aproximadamente 4 W/kg durante cerca de 30 min. Em geral, a exposição a um campo eletromagnético (CEM) uniforme (caracterizado como uma onda plana) resulta em uma deposição e distribuição de energia altamente não uniforme dentro do corpo e que precisa ser avaliada por medidas dosimétricas e por cálculos. A dosimetria é a medida ou o cálculo de campos eletromagnéticos externos ou da indução de energia interna em um sistema biológico. Assim, a dose interna de um organismo como uma cultura de célula ou a cabeça de um ser humano, é decorrente de campos eletromagnéticos externos provenientes de uma fonte de irradiação qualquer (ABNT, 2000).

Nas frequências maiores que 10 GHz, a profundidade de penetração (D) do campo eletromagnético nos tecidos é pequena como demonstrado na equação (1) e a SAR não é uma boa medida para avaliar a energia absorvida.

$$(1) \quad D = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{\varepsilon' r} \cdot \text{tg}\delta} = \frac{0,318 \cdot \lambda_0}{\sqrt{\varepsilon' r} \cdot \text{tg}\delta} \quad (m)$$

Onde  $\lambda_0 = 0,03\text{m}$  (comprimento de onda),  $\varepsilon' r = 49$  (constante dielétrica relativa) e  $\text{tg}\delta = 0.33$  (tangente de perdas), desta forma a profundidade de penetração (D) é de  $= 0,00237\text{m}$  no tecido.

Neste caso, a densidade de potência do campo incidente em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) é uma grandeza dosimétrica mais apropriada (ANATEL, 1999).

A frequência de ressonância varia de acordo com o tamanho do corpo do homem, e a faixa de frequência é próxima de 70 MHz para um adulto com altura compreendida entre 1,55 m e 1,79 m. Quando o comprimento de onda é muito maior que o tamanho do corpo humano, a absorção por acoplamento é desprezível e quase nenhuma energia é absorvida. Este fato acontece em humanos em frequências menores que 1 MHz, e inclui baixa frequência (LF) de 150 a 175 kHz (IEEE, 1994; IEEE, 1992).

## 2.7 Taxa de Absorção Específica (SAR)

A taxa de absorção específica (SAR) dentro do tecido biológico é dada em watts por quilograma ( $\text{W}/\text{kg}$ ), e só pode ser aferida em materiais que contem água e que propiciem a condução de corrente elétrica. A SAR no ar sempre será zero, porque a condução elétrica no ar é desprezível. A SAR tem valores diferentes para vários pontos de medidas em um objeto e o valor difere com a distância (FDA, 2000).

Para fins práticos, os limites de exposição são apresentados em unidades derivadas, tais como intensidade de campo e densidade de potência (densidade do fluxo de energia) da onda plana equivalente (ABNT, 2000).

A região de campo distante de uma antena é a distância a partir da qual a onda emitida pela antena em campo livre tem características de onda plana, com seus vetores de campo elétrico e magnético perpendiculares entre si e ambos transversais à direção de propagação. O campo distante ocorre a partir da distância de:

$$(2) \quad d = 2L^2/\lambda \quad (m)$$

onde  $L$  é a dimensão máxima da antena transmissora,  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal e  $\lambda = c/f$  (sendo,  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s, velocidade da luz no vácuo e  $f$  a frequência de sinal em Hz). Na região de campo distante a densidade de potência radiada corresponde ao módulo do vetor de Poynting,  $S$ , que é uma grandeza de natureza vetorial, resultante do produto vetorial dos campos elétrico e magnético da onda radiada. A relação entre os módulos destas grandezas para o caso de onda plana é dada por:

$$(3) \quad S = E^2/120 \pi \text{ ou } S = 120 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (w/m^2)$$

onde  $S$  é a densidade de potência, expressa em  $W/m^2$ ,  $E$  intensidade do campo elétrico em V/m e  $H$  é a intensidade do campo magnético, em A/m e  $120 \pi$  ( $377 \Omega$ ) corresponde à impedância do espaço livre (KRAU, 1983).

Em tecidos a SAR é a medida aceita para absorção de RF e é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico interno. A SAR média e a distribuição da SAR, pode ser calculada ou estimada a partir de medidas em laboratórios e seus valores dependem dos parâmetros do campo incidente, frequência, intensidade, polarização, a configuração da fonte-objeto (campo próximo ou distante), característica do corpo exposto; seu tamanho e geometria interna e externa, as propriedades dielétricas dos vários tecidos e dos efeitos de aterramento e reflexão de outros objetos no campo próximo ao corpo exposto. A SAR pode ser dividida em faixas com frequência de aproximadamente 100 kHz a 20 MHz, nas quais a absorção no tronco decresce rapidamente com a frequência decrescente, podendo ocorrer uma absorção significativa no pescoço e nas pernas. Por outro lado, frequência de aproximadamente 20 MHz a 300 MHz, pode determinar uma absorção relativamente alta no corpo todo, e até mesmo valores mais altos, se for considerada a ressonância em partes do corpo (p.ex.: na cabeça). Na frequência de aproximadamente 300 MHz a vários GHz, ocorre absorção local significativa e não uniforme com razoável penetração e enquanto na frequência acima de 10 GHz, a absorção de energia ocorre principalmente na superfície do corpo. (ANATEL, 1999; ABNT, 2000; IEEE, 1995).

A SAR de corpo inteiro alcança valores máximos quando o eixo maior do corpo humano é paralelo ao vetor do campo elétrico da rádio-freqüência, e sob condições de exposição de onda plana. Os valores dos níveis de referência do campo elétrico são baseados na dependência da absorção humana com a freqüência, sendo que nos indivíduos aterrados, as freqüências ressonantes são cerca de 2 vezes mais baixas (ABNT, 2000).

A evidência experimental disponível indica que a exposição de humanos em repouso, por aproximadamente 30 min, a campos eletromagnéticos produzindo uma SAR de corpo inteiro entre 1 e 4 W.kg<sup>-1</sup>, resulta um aumento da temperatura do corpo inferior a 1 °C

Por essa razão, uma SAR média, de corpo inteiro, de 0,4 W.kg<sup>-1</sup>, foi escolhida como sendo a restrição que garante proteção adequada no caso de exposição ocupacional. Um fator de segurança adicional, igual a 5, foi introduzido para a exposição do público em geral, resultando, assim, um limite de 0,08 W.kg<sup>-1</sup> para a SAR média de corpo inteiro durante 6 min (ABRICEM, 1999) conforme tabela 14. Estes valores de SAR correspondem a uma densidade de potência de 10 W/m<sup>2</sup> para o público em geral e 5 vezes maior para exposição ocupacional, limite este que especifica a densidade de potência fornecida na largura de faixa de 30 a 300 MHz que, por sua vez, inclui todas possíveis condições ressonantes para o corpo humano (ANATEL, 1999 ; MINDNET, 2005).

Tabela 14 - Restrições Básicas para Exposição a Campos Eletromagnéticos, na Faixa de Radio freqüência.

|                              | <b>SAR</b> | <b>Fator de Segurança</b> |
|------------------------------|------------|---------------------------|
| <b>Efeitos Irreversíveis</b> | > 4 W/kg   | ----                      |
| <b>Limite Ocupacional</b>    | 0,4 W/kg   | 10                        |
| <b>Limite Público Geral</b>  | 0,08 W/kg  | 50                        |

A densidade de potencia absorvida por unidade de volume ( $P_{\text{abs}}$ ) é dada por:

$$(4) \quad P_{\text{abs}} = \frac{27,8 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot \text{tg} \delta \cdot \epsilon' r}{(E_m)^2} \quad (\text{W/cm}^3)$$

Onde  $f$  é a frequência em Hz e  $E_m$  é a intensidade de campo elétrico dado em V/m.

Como é mais fácil medir campo elétrico, a tabela 15 abaixo descreve os valores de campo elétrico e densidade de potência em função da frequência correspondente ao valor da SAR especificado ((PEREIRA FILHO, 2002) ;

Tabela 15 - Intensidade de Campo Elétrica (E) e Densidade de Potência (S) para a População em Geral.

| Faixa de Frequência | Intensidade de Campo Elétrico E (V/m) | Densidade de Potência ( $\text{W/m}^2$ ) |
|---------------------|---------------------------------------|--|
| Até 1 Hz            | -                                     | -  |
| 1 a 8 Hz            | 10.000                                | -  |
| 8 a 25 Hz           | 10.000                                | -  |
| 0,025 a 0,8 Hz      | 250/f                                 | -  |
| 0,8 a 3 KHz         | 250/f                                 | -  |
| 3 a 150 KHz         | 87                                    | -  |
| 0,15 a 1 MHz        | 87                                    | -  |
| 1 a 10 MHz          | $87/f^{0,5}$                          | -  |
| 10 a 400 MHz        | 28                                    | 2  |
| 400 a 2000 MHz      | $1,375 f^{0,5}$                       | f/200                                    |
| 2 a 300 GHz         | 61                                    | 10                                       |

f = frequência (MHz) Fonte: ICNIRP

Os limites de SAR que a IEEE/C95.1 são iguais a do ICNIRP, porém devem ser tomados num período mínimo de 30 minutos, para a exposição controlada e 6 min para a exposição não controlada. Na exposição controlada, toma-se a média obtida no corpo inteiro; na exposição local, toma-se a média obtida sobre 1 g de tecido. Embora na faixa de frequências em questão a SAR seja a medida que melhor permite avaliar os efeitos da irradiação eletromagnética, na prática não há como medi-la

diretamente em um indivíduo. As técnicas atuais empregadas para se estimar SAR incluem a simulação em computador e a medição do campo induzido em maquetes artificiais imitando o corpo humano (ou parte dele, como a cabeça), preenchido com algum material (normalmente líquido) com propriedades elétricas similares às do corpo humano ou da parte específica que se deseja avaliar, como o cérebro ou os ossos (FOSTER, 2000).

### **2.7.1 Interação da Radiação Eletromagnética com o Tecido Biológico**

Para que a radiação eletromagnética possa produzir algum efeito em um tecido ou qualquer outra substância é necessário que haja transferência de energia desta radiação para o meio, e que esta energia seja absorvida. Os efeitos desta absorção no tecido humano são de natureza térmica ou não-térmica, na dependência dos efeitos serem devidos a deposição de calor (efeito térmico) ou devido a interação direta do campo com as substâncias, sem transferência significativa de calor. Os fatores mais importantes para absorção das ondas são a constante dielétrica, a condutividade, a geometria e o conteúdo de água do meio (PRO RAD, 2004).

Os efeitos não térmicos têm sido continuamente estudados internacionalmente, mas as poucas evidências sobre o assunto ainda não justificaram mudanças na abordagem baseada em efeitos térmicos. Atualmente a recomendação da ICNIRP, assim como a do FCC, estabelece níveis de intensidade de campo elétrico e densidade de potência baseados numa SAR. Essa grandeza indica a absorção de energia pela massa de tecidos biológicos de parte ou da totalidade do corpo humano, em interação com campos eletromagnéticos (ABRICEM, 1999; MINDNET, 2005).

### **2.7.2 Cálculo do Valor da Taxa de Absorção Específica – SAR**

A SAR pode também ser definida por dois métodos aproximados, sendo que o primeiro envolve o uso de técnica analítica para o cálculo da distribuição da

energia absorvida pelo corpo. O outro método usa uma formulação numérica chamada FDTD (finite difference time domain) para análise do acoplamento da energia de RF/MO no corpo humano derivada no tempo com o aumento de energia (dW) absorvida (dissipada) pelo aumento de massa (dm) contido em um elemento de volume (dV) dado uma determinada densidade de massa dada pela expressão (5)

$$(5) \quad SAR = \frac{d}{dt} \times \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \times \frac{dW}{\rho dV} \quad (\text{J/kg})$$

onde W é a energia absorvida, m é o aumento de massa, V é o volume da massa e  $\rho$  é a densidade de massa sob teste ( $\text{kg/m}^3$ ).

Porém, dois outros métodos são largamente utilizados em experimentos de laboratório com animais, cultura de células e tecidos. Um dos mais aplicados é o método de colocação de uma sonda de temperatura no objeto sob teste para medir a variação de temperatura produzida pela energia do campo gerado pela RF e absorvida pelo objeto em análise, expressão (6).

$$(6) \quad SAR = c \times \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (\text{W/kg})$$

onde,  $\Delta T$  específica o aumento de temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t$  específica o intervalo de tempo de medida em segundos e c é a capacidade específica de aquecimento do tecido em  $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ . Este método é apropriado para medidas de SAR quando os níveis de exposição são intensos. O segundo método, mais básico, utiliza para determinação da SAR a medida do campo elétrico interno ao corpo sobre a irradiação ou a indução da corrente elétrica, que é dado pelas expressões abaixo.

$$(7) \quad SAR = \sigma \cdot E^2 / \rho \quad \text{ou} \quad SAR = I^2 / \rho \cdot \sigma \quad (\text{W/kg})$$

Onde,  $\rho$  é a densidade da massa sob teste ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\sigma$  é a condutividade do tecido (S/m), E é o valor do campo elétrico induzido (V/m), I é o valor da densidade de

corrente induzida em um corpo em  $A/m^2$ . Estes métodos são apropriados para medidas onde a energia absorvida é insuficiente para causar variação de temperatura no corpo sob teste (HEALTH CANADA, 2002 ; ITU-T, 2000).

Conforme mencionado no item anterior a Célula TEM é uma linha de transmissão coaxial operando no modo eletromagnético transversal (TEM) que é o modo de propagação fundamental em seu interior. A intensidade do campo elétrico no centro da Célula TEM é linearmente polarizada e é dado pela equação abaixo:

$$(8) \quad E = (P.R)^2 / d \quad (\text{V/m})$$

Onde P é igual a potência entregue a célula, R é igual a impedância de  $50 \Omega$  e d é a distância entre o condutor central e o contorno das paredes da célula (MICHAELSON, 1987).

O fluxo de energia na direção de propagação da onda eletromagnética no espaço livre é dado pela expressão (9), onde  $\eta_0$  é o valor da impedância da onda no material, E é o valor do campo elétrico induzido (V/m) e H é o valor do campo magnético induzido (A/m) (ITU-T, 2000).

$$(9) \quad S = E^2 / \eta_0 = \eta_0 \cdot H^2 = EH \quad (\text{W/m}^2)$$

No interior da Célula TEM a equação para o cálculo de S é dado pela expressão (10) onde o valor da densidade de potência no interior da Célula TEM, E é o valor do campo elétrico aplicado a célula (MICHAELSON, 1987).

$$(10) \quad S = E^2 / 2\eta_0 \quad (\text{W/m}^2)$$

## 2.8 Efeitos Biológicos

A vida na terra desenvolveu-se, provavelmente, em um ambiente de radiação natural. O homem é continuamente exposto à radiação eletromagnética do sol, pela radioatividade interna e externa do corpo e pelos raios cósmicos. Os limites estabelecidos de exposição à radiação eletromagnética, pelas normas existentes atualmente, visam prevenir efeitos danosos à saúde humana e refletem o atual estágio do conhecimento. Desta forma, os limites de SAR foram estabelecidos para prevenir efeitos térmicos (MICHAELSON, 1987).

Nas décadas de 80 e 90 os estudos realizados consideraram fator de risco a intensidade do campo magnético e elétrico em baixas frequências associado ao tempo de exposição, bem como os aspectos ocupacionais. Atualmente, observa-se na literatura uma faixa de valores bastante ampla quando se sugere a correlação entre campos magnéticos e elétricos e os eventuais danos à saúde (SAVITZ *et al.*, 1988).

Efeitos biológicos são respostas de organismos celulares para um estímulo ou uma mudança no ambiente em que vivem. Porém, reações do corpo humano a mudanças do meio ambiente são uma parte normal da vida (OMS, 2005).

Os mecanismos de interação dos campos eletromagnéticos não-ionizantes com sistemas biológicos podem ser agrupados em dois grandes tipos: efeitos térmicos e efeitos não-térmicos, dependendo se eles são atribuíveis à deposição de calor (térmicos) ou à interação direta do campo com a substância do tecido, sem componente de aquecimento significativa (não-térmico ou atérmico). O efeito biológico mais aparente nas frequências de microondas é o térmico (SALLES, 1999).

Apesar dos inúmeros trabalhos experimentais realizados abordando os efeitos biológicos decorrentes de RF e das MO, tais trabalhos ainda não apresentam resultados consistentes, segundo Velizarov *et al.*, (1999). Muitas destas literaturas descrevem experimentos em laboratórios com animais, tecidos, cultura de células e também estudos epidemiológicos. Alterações funcionais nos sistemas: nervoso central, endócrino, termoregulador, auditivo, metabólico, reprodutivo, sangüíneo e ocular seriam conseqüentes à exposição aos campos de RF/MO, segundo apontam os resultados de estudos realizados (IEEE, 1995).

Para o homem, estes prováveis efeitos correspondem à frequências acima que 5 MHz, em que o comprimento de onda incidente e o corpo humano são da mesma ordem de grandeza, ocorrendo então a frequência de ressonância e desta forma a energia absorvida pelo corpo humano é máxima (IEEE, 1992; 1994).

Velizarov *et al.*, (1999), observaram que a exposição à radio-frequência em 960 MHz, com um campo elétrico de 17 mV/cm, em cultura de células epiteliais (AMA), utilizando uma Célula TEM, com temperaturas de 35°C e 39°C quando comparadas aos respectivos grupos controles, submetidos às mesmas condições de temperatura, sem influência do campo eletromagnético, apresentaram aumento na proliferação celular semelhantes. Deduziram que as temperaturas estudadas não influenciaram no crescimento celular.

A exposição à campos elétricos e magnéticos em frequências baixas resulta normalmente em uma absorção de energia desprezível, sem elevação mensurável da temperatura do corpo. Entretanto, a exposição a campos eletromagnéticos de frequência acima de 100 kHz, pode conduzir a uma absorção significativa de energia e a um aumento de temperatura. Em geral, a exposição a um campo eletromagnético uniforme (onda plana) resulta em uma deposição e distribuição de energia altamente não uniforme dentro do corpo, que precisa ser avaliada por medidas dosimétricas e por cálculos segundo Durney, *et al.*, (apud ABNT, 2000).

Questões ainda não totalmente respondidas referem-se a possíveis efeitos não térmicos da radiação, ou seja, os sistemas biológicos nos níveis celulares e sub-celulares são sensíveis e podem responder aos campos eletromagnéticos produzidos pelo telefone celular? Em caso afirmativo, a exposição da população humana a estes campos de baixa energia impõe algum tipo de risco a saúde?

“Com relação a campos de RF de alta intensidade têm-se demonstrado que eles causam conseqüências adversas para a saúde pelo aquecimento dos tecidos. Nenhum efeito adverso à saúde foi cientificamente confirmado com relação à exposição a campos de RF de baixa intensidade por extensos períodos, mas certas questões não foram totalmente estudadas” (TUDE, 2003).

## **2.9 Normas Utilizadas em Interferência e Compatibilidade Eletromagnética**

Atualmente diversos comitês estão trabalhando na formulação de normas relativas à interferência eletromagnética (EMI) e a EMC. O principal objetivo dessa norma é impor limites para as emissões e estabelecer um nível mínimo de imunidade. As normas para EMI e EMC utilizadas em um determinado país são geralmente formuladas por agências não governamentais, ou seja, comitês formados pelas indústrias e por representantes do governo. Embora os Estados Unidos (EUA) e a Comunidade Européia (EC) estejam mais ativamente empenhados na produção de normas para EMI e EMC, outros países também estão caminhando para isso, como é o caso do Canadá através do Canadian Standard Association (CSA) e do México, que seguem as mesmas normas dos EUA com pequenas modificações. Os demais países do mundo geralmente segue as prescrições da Comunidade Européia (EC) (KIMEL, 1995).

### **2.9.1 Ondas Eletromagnéticas em Meios Confinados**

Em sua concepção mais ampla, um guia de onda, um dos meios de propagação da onda eletromagnética confinada, é um sistema de transmissão capaz de orientar a propagação da onda eletromagnética entre dois pontos. Nas faixas de microondas, tradicionalmente descreve-se como forma mais comum de guia de ondas um tubo metálico oco, dentro do qual a onda se propaga por múltiplas reflexões, desde seu ponto de excitação até a carga. As linhas de transmissão, um outro meio de propagação das ondas eletromagnéticas em meio confinado, podem ser de muitos modelos e formas. É conveniente classificar as linhas de transmissão com base nas configurações do campo, ou modos, que elas podem transmitir. Assim, as linhas de transmissão podem ser divididas em dois grupos principais sendo aquelas capazes de transmitir no modo eletromagnético transversal (TEM) e aquelas capazes de transmitir somente nos modos de ordem superior. Em um modo TEM, tanto os campos elétricos como os magnéticos são inteiramente transversais à direção de propagação. Não há nenhum componente de campo elétrico (E) ou campo magnético (H) na direção de

propagação. Os modos de ordem mais alta, por outro lado, sempre têm, pelo menos, um componente do campo na direção de propagação. Todas as linhas de dois condutores, como as linhas de transmissão coaxiais ou paralelas, são exemplos dos tipos que propagam no modo TEM, enquanto que os guias de ondas ocas ou varetas dielétricas são exemplos dos tipos que não propagam no modo TEM. Na discussão anterior, usamos o termo “linha de transmissão” como uma expressão geral. No uso comum atual, entretanto, a palavra “linha” ou “linha de transmissão” é geralmente restrita aos dispositivos que podem transmitir no modo TEM, enquanto que “guia” ou “guia de onda” é empregado para os dispositivos que podem transmitir somente nos modos de ordem superior. As formas mais comuns de linhas de transmissão no modo TEM são as coaxiais e paralelas. Tal característica apresentada ensejou o interesse em estudar sua caracterização pesquisando em uma célula conhecida como célula de Crawford, denominada em 1974, de Célula TEM ou Célula TEM (KRAUS, 1983).

## **2.9.2 Compatibilidade Eletromagnética (EMC)**

A EMC é um assunto cada vez mais presente para qualquer pessoa que opere equipamentos e sistemas elétricos, eletrônicos ou de telecomunicações, e está associada a efeitos que fazem parte do nosso dia a dia, de conhecimento geral, decorrente do fato de que qualquer aparelho elétrico pode gerar perturbações eletromagnéticas. Compatibilidade eletromagnética ocorre quando o equipamento não sofre influência de campos eletromagnéticos de outros equipamentos e por sua vez não emitem níveis de energia eletromagnéticas que causem interferência em equipamentos vizinhos. Os equipamentos médicos podem ser vulneráveis às interferências eletromagnéticas (EMI) se o nível de energia eletromagnética exceder o valor de segurança aos campos eletromagnéticos externos ao qual o equipamento foi projetado e testado. As diferentes formas de energia eletromagnéticas - EM podem causar interferência eletromagnéticas que são conduzidas, irradiadas e aparecem em descargas eletrostáticas ESD (FDA, 2002).

A EMC de um equipamento elétrico é a capacidade de um equipamento ou dispositivo funcionar em um ambiente eletromagnético satisfatoriamente, sem

perturbar/interferir nos equipamentos adjacentes e sem ser perturbado por outros equipamentos. Na Europa a partir de 1996 todos os equipamentos eletrônicos passam por uma bateria de testes de compatibilidade eletromagnética (ICHELN, 2000).

No Brasil a EMC dos produtos industrializados é acompanhada pela ANATEL e normalizados pela ABNT (ANATEL, 1999; ABNT, 2000).

### **2.9.3 Padrões de Medidas de Campos Eletromagnético em Células TEM.**

Existem várias técnicas para estabelecer níveis de energia eletromagnética para testes de susceptibilidade sobre uma faixa de frequências e para várias outras aplicações conhecidas. Tais técnicas são muito utilizadas, mas apresentam muitas desvantagens, como a irradiação de energia eletromagnética em todo o espaço, podendo interferir nas mensurações realizadas, com possibilidade de danos ao operador dos equipamentos em teste ou interferência em outros experimentos (BOWMAN; JESSEN, 1970; MUSIL, 1968).

A técnica utilizada neste projeto é caracterizada por um campo eletromagnético confinado em uma linha coaxial retangular (Célula TEM), Esta célula apresenta uma faixa de frequência extremamente larga, operando muitas das vezes com uma faixa de 500MHz, sendo limitada apenas pela frequência de operação associado a variação de seu tamanho (CRAWFORD, 1974).

## **2.10 Câmara de Célula TEM**

Os possíveis arranjos para irradiação de corpo-inteiro ou organismo-inteiro são infinitos. A célula eletromagnética de modo transversal – (TEM - cell), fundamenta-se no comportamento dos campos elétrico e magnético em seu interior, sendo o campo interno desta célula caracterizado como aberto ou similar a uma onda plana no espaço livre, na prática, o elemento em teste está submetido a um campo

uniforme espacialmente e esta condição caracteriza um campo em um espaço aberto para uma determinada frequência, sendo dada pelo modo de propagação TEM, em que o campo é a representação da soma dos vetores de campo elétrico (E) e magnético (H) (CRAWFORD, 1974).

A Células TEM demonstrada na figura 5 é um dispositivo que estabelece padrões eletromagnéticos em um ambiente controlado, prevenindo que a radiação de RF se propague através do meio ambiente, provendo uma isolação elétrica. A Célula TEM consiste uma linha coaxial retangular com suas extremidades afuniladas, permitindo adaptar os conectores de entrada de RF. Um campo conhecido como modo eletromagnético transversal (TEM) é propagado em seu interior e são usadas para testes de emissão de radiofrequência de pequenos equipamentos, para calibração de sondas de RF e para experiências biomédicas (CRAWFORD, 1978).

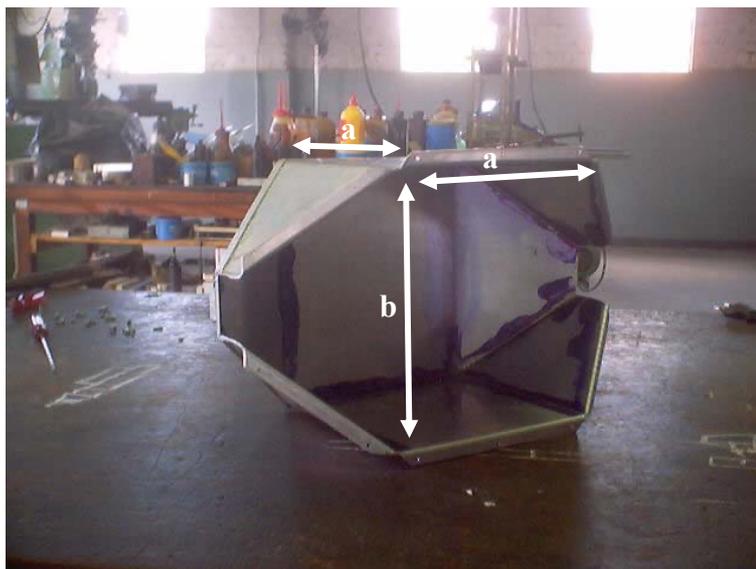


Figura 5 – Montagem da câmara Célula TEM – Vista Lateral.

### **2.10.1 Descrição de uma Célula TEM**

Desde 1974, com Crawford, surgiram as primeiras possibilidades de se realizarem experimentos de compatibilidade, susceptibilidade, interferência e efeitos ocasionados pela irradiação de campos eletromagnéticos.

Dentre todas as possibilidades apresentadas, o projeto de uma célula eletromagnética transversal (Célula TEM) tem como objetivo viabilizar pesquisas sobre os efeitos biológicos causados pela irradiação de frequências em até 1GHz provenientes de equipamentos rádio transmissores. A definição da faixa de 100MHz a 1GHz deve-se ao fato de que a Célula TEM exibe um VSWR perto de 1 em frequências de 100 MHz até próximo de 1GHz, porém, o campo no interior da célula é uniforme para qualquer frequência abaixo daquela de corte da mais alta ordem conforme, descrito por Crawford, 1974.

Tradicionalmente a estrutura de uma Célula TEM é projetada para trabalhar com frequências abaixo de 1 GHz, para frequências superiores a 1GHz deve-se trabalhar com uma GTEM-cell (ROWELL, 2004; CRAWFORD, 1974).

## **2.11 Validação da Célula TEM para Experimento Biológico**

A Célula TEM pode ser usada para experimentos biológicos *in-vivo e in-vitro*, plantas, tecidos e animais vivos, para sua validação optou-se em realizar um experimento biológico com culturas de células microbianas (bactérias e levedura) (MALARIC ; BARTOLIC, 2003).

### **2.11.1 Procariontes e Eucariontes**

As bactérias são procariontes, enquanto que os fungos, protozoários e outros organismos são eucariontes. As células eucarióticas contem um núcleo com uma membrana nuclear envolvendo múltiplos cromossomos, enquanto que as células

procarióticas possuem um único cromossomo que não está encerrado em uma membrana celular (KONEMAN *et al.*, 2001).

### 2.11.2 Bactérias

Algumas das principais características morfológicas das células bacterianas são: tamanho, a forma, a estrutura e o modo de agrupamento apresentado pelas células bacterianas e apresentado na figura 6 e figura 7. O tamanho das células, com dimensões máximas tipicamente da ordem dos 0,5 a 5  $\mu\text{m}$ , embora muito pequeno, pode ser medido com bastante precisão. Quanto às formas, as células individuais têm formato esférico, cilíndrico ou helicoidal, dependendo da espécie. Quanto às associações ou agrupamento das células, elas podem estar associadas duas a duas, formando pares, cadeias simples ou ramificadas, como também se apresentando em formas de cacho. Os organismos, individualmente, apresentam uma das três formas gerais que seguem: elipsoidal ou esférica, cilíndrica, ou em forma de barra; e espiral ou helicoidal.



Figura 6 – Morfologia do *E.coli*

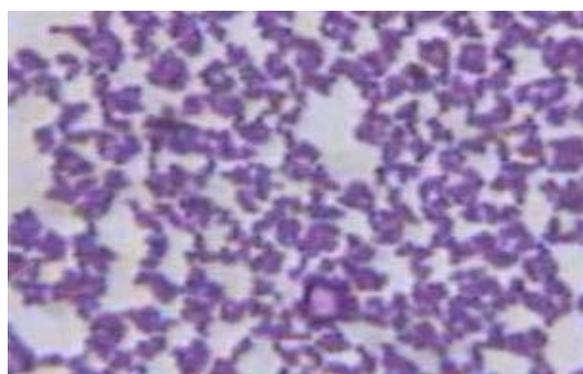


Figura 7 – Morfologia do *S.aureus*

As células bacterianas esféricas são denominadas de cocos (do grego KóKKos, grão). Muitas bactérias que possuem este formato, apresentam modelo de agrupamento cujo conhecimento é de muita importância para sua identificação. Alguns dos agrupamentos são diplococos onde as células se apresentam duas a duas,

*streptococos* as células se apresentam em cadeias, tétrades as células em número de quatro, se apresentam na forma de quadrado, *estafilococos* as células se apresentam em agrupamento irregulares que se assemelham a cachos de uvas e a sarcinas onde as células, em número de oito ou mais, se agrupam formando cubos. Estas formas de agrupamento dos cocos podem ser explicados segundo os processos de multiplicação das diferentes bactérias. As bactérias se reproduzem, de modo geral, por divisão binária. A divisão das bactérias pode ocorrer: num só plano, dando origem a cadeias e diplococos, segundo dois planos perpendiculares entre si dando origem as tétrades, segundo 3 planos perpendiculares entre si dando origem a sarcinas e em 3 planos ao caso dando origem a estafilococos.

As células bacterianas cilíndricas, em forma de bastonete, (*Bacillus bacilli*) não se dispõem, entre si, da maneira variada, como se apresentam os cocos. Algumas vezes se apresentam aos pares (diplobacilli) ou em cadeias (Streptobacilli) (PELCZAR; MICHEL, 1997).

As bactérias de forma helicoidal (*Spirillum Spirilla*) se apresentam de modo geral com células individuais. Porém as células das diversas espécies oferecem diferenças notáveis no número e amplitude das espiras e na rigidez das paredes celulares. (PELCZAR; MICHEL, 1997).

### **2.11.3 Estruturas Bacterianas**

O exame de uma célula bacteriana revela certas estruturas definidas tanto dentro como fora da parede celular. Algumas das estruturas se restringem a certas espécies, porém certas estruturas ou partes como a parede celular e o citoplasma são comuns a todas as células na natureza (PELCZAR; REID; CHAN, 1980).

### **2.11.3.1 Flagelos**

Os apêndices filiformes, extremamente delgados, que sobressaem através da parede celular, e se originam, pelo que parece, numa formação granular situada imediatamente abaixo da parede, no citoplasma, se denominam flagelos. De um modo geral, o comprimento do flagelo é várias vezes o comprimento da célula. Nem todas as bactérias possuem flagelos. Como a mobilidade das bactérias se deve aos flagelos e nem todas as bactérias são flageladas, deduz-se que existem espécies móveis e espécies não móveis.

### **2.11.3.2 Fíbricas**

Muitas bactérias possuem apêndices filamentosos diferentes dos flagelos. Estes apêndices, denominados fíbricas, são menores, mais curtos e mais numerosos que os flagelos. Supõe-se que elas sirvam como órgãos de aderência.

### **2.11.3.3 Cápsulas**

Algumas células bacterianas acham-se rodeadas de uma substância viscosa, que forma uma capa que cobre ou envolve a célula.

### **2.11.3.4 Parede Celular**

Debaixo das substâncias extracelulares, como são as cápsulas, e na periferia de uma membrana delicada que está em contato direto com o citoplasma, se encontra a parede celular, que é uma estrutura rígida que dá forma, suporte e proteção à célula. A membrana celular tem apenas cerca de 10 nm de espessura e a resistência da parede celular são essenciais para o desenvolvimento e divisão da bactéria. Alguns

constituintes importantes das paredes celulares são os aminoácidos açúcares e lipídios. As proteínas, carboidratos e lipídios formam um polímero complexo que constitui a parede celular. Nas paredes celulares das bactérias, foram encontradas substâncias antes desconhecidas. Pode-se supor que a função da parede celular seja a de uma armação rígida que retenha e proteja os protoplasmáticos das perturbações osmóticas.

#### **2.11.3.5 Membrana Citoplasmática**

A membrana citoplasmática tem uma função muito importante. Ela é uma membrana semipermeável, controlando a mesma, a entrada de elementos nutritivos para o interior da célula e saída dos produtos de metabolismo.

#### **2.11.4 Staphylococcus aureus**

É o patógeno humano mais importante entre os estafilococos e é encontrado no ambiente externo e em narinas anteriores de 20% a 40% dos adultos e também em outros pontos de localização como períneo, axilas e vagina. Em condições apropriadas esta cepa pode produzir desde infecções cutâneas crônicas relativamente benignas até infecções sistêmicas potencialmente fatais no ser humano (KONEMAN *et al.*, 2001).

#### **2.11.5 Escherichia coli**

A *Escherichia coli* é um microorganismo responsável por um quadro clínico caracterizado por gastroenterite severa (cólicas e diarreia). A principal forma de infecção é o consumo de produtos cárneos de origem bovina, que não sofreram tratamento térmico adequado para a eliminação da *escherichia coli* e o consumo de carne mal passada e leite cru (KONEMAN *et al.*, 2001).

## **2.12 Leveduras**

As leveduras constituem um grupo de microrganismos unicelulares, que se reproduzem assexuadamente por brotamento ou por cissiparidade e que desenvolvem a fermentação alcoólica. São largamente encontradas na natureza: são comuns no solo, nas superfícies de órgãos dos vegetais, principalmente em flores e frutos, no trato intestinal de animais, em líquidos açucarados, e numa variedade de outros locais. As leveduras são, geralmente, unicelulares *Saccharomyces cerevisiae* e outras leveduras comuns apresentam forma oval ou cilíndrica. Outras formas encontradas no grupo são: apiculada ou em forma de limão, esférica (*Torulopsis*) elíticas, elipsóides ou filamentosas (pseudo-micelio constituído por células unidas entre si) (LACAZ, 2002).

### **2.12.1 Estruturas**

As leveduras apresentam membrana celular bem definida, pouco espessa, em células jovens; rígidas em células adultas, de constituição variável, com predominância de hidratos de carbono, e menor quantidade de proteínas e graxas. Internamente delimitando o citoplasma, existe a membrana citoplasmática, mais evidente em células adultas, por plasmólise. No geral, as leveduras se apresentam sem cápsula, se bem que algumas espécies de *Torulopsis* se apresentem com cápsula, constituída de hidratos de carbono (LACAZ, 2002).

### **2.12.2 Reprodução Sexuada e Assexuada**

As leveduras se multiplicam por brotamento, processo pelo qual na superfície da célula adulta (célula mãe) desenvolve-se uma pequena saliência (célula-filha) que se transformará numa nova célula. Na reprodução assexuada reproduzem-se por esporos endógenos (*Ascoporos*), contido no interior da célula - mãe, agora

transformados em asca. Os ascoporos são geralmente em número de 4 a 8, variando de acordo com a espécie envolvida (LACAZ, 2002).

### **2.12.3 Cândia Albicans**

As leveduras são predominantemente organismos unicelulares e se reproduzem por gemulação. As características morfológicas correspondem a dos organismos eucarióticos (PELCZAR *et al.*, 1980).

As espécies do gênero são leveduras que se apresentam como blastomicetos arredondados ou ovalados, apresentando brotamento e alguns se alongam tornando-se pseudo-hifas. Desenvolve-se em até 72 horas quando incubadas a uma temperatura de 37° C e formam colônias cujo aspecto é cremoso ou pastoso de coloração branca ou creme. As espécies de *Candida* constituem parte da flora normal da pele, boca e trato gastrintestinal, e são a causa mais freqüente de infecção fúngica segundo Ferrer (apud LIMA, 2004).

### 3 OBJETIVO

Dentre os objetivos deste trabalho destacaram-se a revisão das principais normas que regem os padrões de uso de equipamentos geradores de rádio frequência e microondas, o desenvolvimento de um equipamento chamado Célula de Modo Eletromagnético Transversal (Célula TEM) e a ação desta ferramenta para os estudos biológicos especificamente bactérias *S. aureus*, *E. coli* e fungos *C. albicans* na frequência de 640 MHz.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Projeto e Desenvolvimento da Célula TEM**

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se em estudos sobre os efeitos das radiações não-ionizantes, geradas por radio-freqüência, e da propagação de ondas eletromagnéticas no ser humano. Para que esta pesquisa pudesse ser concretizada, realizou-se uma revisão bibliográfica dos principais organismos e principais recomendações de limites de exposição aos campos de irradiação desenvolvidos por radio-freqüência e microondas. Constatou-se que há uma carência enorme em material para este assunto em todo o mundo. Por isso toda a pesquisa baseou-se em publicações internacionais, predominando literaturas européias e americanas.

Para o desenvolvimento da Célula TEM foram encontrados alguns trabalhos que explicitassem as dimensões necessárias para o tipo de célula eletromagnética escolhida, por isso o dimensionamento do equipamento foi baseado em estudos que, segundo Crawford (1974), descreveu de forma detalhada uma Célula TEM. Utilizaram-se, ainda, alguns artigos de confecção de células Célula TEM que se basearam nos princípios descritos por Malaric e Bartolic (2003).

#### **4.1.1 Projeto da Célula TEM**

Inicialmente, para se dimensionar as dimensões da Célula TEM a ser desenvolvida consideraram-se alguns princípios básicos:

- Tamanho do animal ou placa de Petri a ser radiada;
- Faixa de freqüência de teste;
- Impedância da Célula TEM;
- Material a ser utilizado na construção da célula.

#### 4.1.2 Desenvolvimento de uma Célula TEM

No interior das células TEM, os campos elétricos (E) e campos magnéticos (H) são transversais, tendo o ar como material dielétrico e uma placa de cobre retangular como condutor central. Crawford em 1974 apresentou as propriedades e as vantagens de uma Célula TEM construída para a School of Aerospace Medicine (USAF-EUA). As Células TEM na frequência de 900 MHz são desenvolvidas para a impedância característica de  $50\Omega$ , e suas dimensões devem satisfazer a condição de “ $a > b$ ”, conforme figura 8, sendo que “a” expressa a largura ou o comprimento e “b” a altura da Célula TEM onde somente 1/3 do volume interno da célula é utilizada para testes, por caracterizar uma região de campo uniforme e constante. A Célula TEM comercial é muito utilizada para testes de calibração de sondas de RF e medidas de EMI/EMC devido ao pequeno espaço entre a extremidade interna e o condutor central que mede aproximadamente 6 cm em seu interior. Porém, o autor demonstrou que com o aumento da frequência de trabalho tem-se a diminuição das dimensões “a e b” da Célula TEM, com conseqüente diminuição da área útil de teste, inviabilizando sua aplicação para determinados fins (CRAWFORD, 1974).



Figura 8 - Vista externa da Célula TEM.

Em seu desenvolvimento adotou-se uma impedância de  $50 \Omega$  e uma relação de  $a/b=0,86$ , obtivemos da figura 9 uma relação de  $w/a=0,89$ , correspondente a uma largura da placa interna de cobre de  $w = 16$  cm. O material utilizado na caixa foi o alumínio com 2 mm de espessura por apresentar uma condutividade de  $37,7 \times 10^6$  S/m e fornecer uma blindagem eletromagnética para as frequências em uso e para o condutor interno (*septum*) central o cobre, com 2,5 mm de espessura por apresentar uma condutividade de  $59,6 \times 10^6$  S/m.

O valor da capacitância  $C_f$  foi calculado com base em um condutor interno central fino de dimensões finitas a partir da equação 10 (WEIL, 1978).

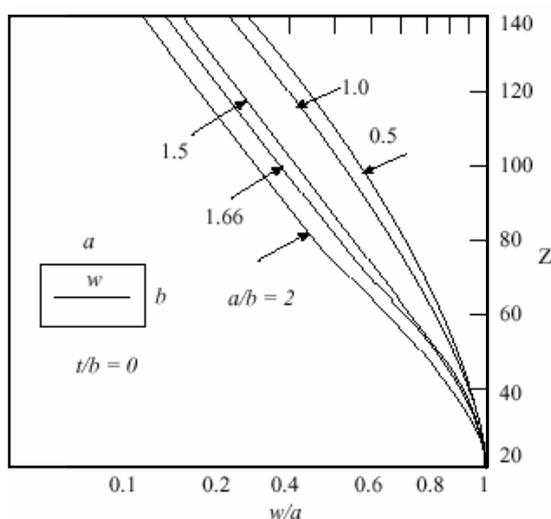


Figura 9 - Valores de  $Z_0$  versus  $w/a$  para Vários Valores de  $a/b$  ( $t/b=0$ ).

#### 4.1.2.1 Impedância Característica

O cálculo da impedância característica dado pela equação (11) foi definido por Crawford em termos das dimensões fixas com uma capacitância por unidade de comprimento (CRAWFORD, 1974 ; WEIL, 1978).

$$(11) \quad Z_0 = \frac{376,73}{4 \left[ w / (b - t) + \frac{C_f}{\epsilon} \right]} \quad (\Omega)$$

onde:  $Z_0$  é a impedância característica,  $w$  é a largura da placa de cobre interna,  $t$  é a espessura da placa de cobre interna,  $b$  é a altura,  $C'f$  é a capacitância de fringing e  $\varepsilon = 8,852 \times 10^{-12}$  F/m (constante dielétrica do meio entre as placas) da Célula TEM.

Para o condutor interno com espessura pequena, mas finita, se definiu a capacitância através da equação (12), onde:  $\varepsilon = 8,852 \times 10^{-12}$  F/m, assumindo o ar como dielétrico.

$$(12) \quad \frac{C'f}{\varepsilon} = \frac{2b}{\pi(b-t)} \ln \left[ 1 + \coth \left( \frac{\pi}{2} \frac{a-w}{b-t} \right) \right] + \frac{t}{a-w}$$

As equações acima são válidas para  $(a-w)/2b < 0,4$  (WEIL, 1978).

#### 4.1.2.2 Penetração do Campo Eletromagnético em Meio Condutor

Para a definição da espessura do material que foi utilizado para a montagem da Célula TEM calculou-se a profundidade de penetração de uma onda eletromagnética em um meio condutor (WILLIAMSON, 1982).

Considerando o material da Célula TEM como sendo de alumínio, a profundidade de penetração dos campos externos e internos é dada pela equação (13):

$$(13) \quad \delta = [\rho / (\pi \mu_0 f)]^{1/2} \quad (\text{mm})$$

onde:  $f = 640$  MHz (frequência de interesse),  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Hm<sup>-1</sup> (permeabilidade do meio) e  $\rho_{\text{Alumínio}} = 2,8 \times 10^{-8}$   $\Omega\text{m}$  (resistividade do material). Para o alumínio, temos  $\delta = 3,33 \times 10^{-6}$  mm de profundidade de penetração e uma condutividade de 37,7 S/m. Desta maneira, por motivo de maior confiabilidade e facilidade em adquirir o material e pelo

mesmo apresentar uma boa blindagem eletromagnética, optou-se por uma espessura de 2,5 mm para a Célula TEM.

#### 4.1.2.3 Freqüência de Corte

Uma das principais limitações da Célula TEM é o aparecimento de freqüências de ressonância que, normalmente, inviabilizam o uso para freqüências superiores à freqüência fundamental ou freqüência de corte. A freqüência de corte de modo superior para uma freqüência de trabalho próxima a 1GHz é dada pela equação abaixo (KRAUS, 1983).

$$(14) \quad fc_{TE_{10}} = \frac{c}{2a} \quad (\text{MHz})$$

A equação para freqüência de corte de qualquer modo é dada por:

$$(15) \quad fc_{TE_{m,n}} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (\text{MHz})$$

Desta maneira, pode-se definir que a Relação de Aspecto  $a/b > 0,5$  é satisfeita e que a 1º freqüência de corte de modo superior é  $TE_{01}$  e a 2º será  $TE_{10}$  conforme a tabela 16 abaixo.

Tabela 16 - Freqüências de Corte.

| Modo      | Freqüência de Corte |
|-----------|---------------------|
| $TE_{01}$ | 714,29 MHz          |
| $TE_{10}$ | 833,33 MHz          |

### 4.1.3 Esquema de Exposição à Radiofrequência e Microondas

A figura 10 mostra o diagrama esquemático de um experimento.

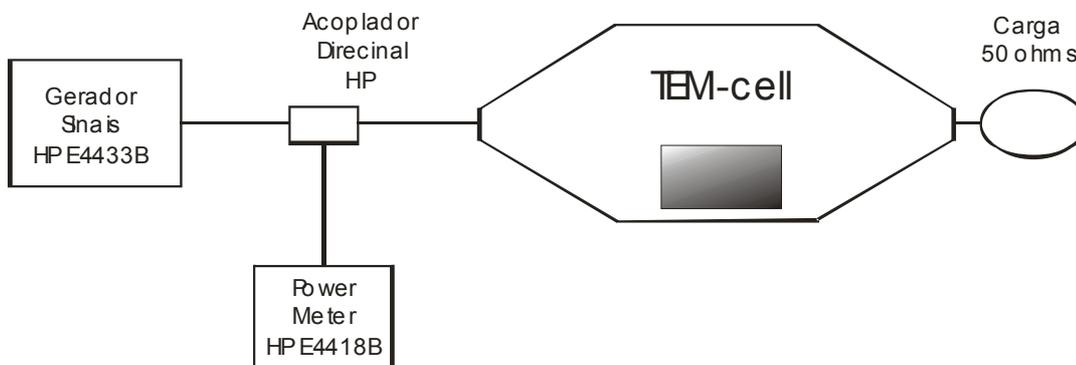


Figura 10 - Diagrama esquemático do experimento do sistema de exposição de RF/MO.

### 4.1.4 Medidas de VSWR, perda por retorno, perda por inserção e impedância.

O levantamento das medidas para os testes de resposta em frequência realizadas na Célula TEM estão apresentados nas figuras 11 e 12. Segundo Malaric e Bartolic (2003) foram realizados testes com respeito a medidas de Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), Perda por Inserção ( $P_I$ ), Perda por Retorno ( $P_r$ ) e Impedância ( $Z_0$ ). Os equipamentos utilizados para a realização dos testes foram um Gerador de Sinais Mod. E4433B - Agilent, um Analisador de Protocolo de Rede Mod. 8714ES - Agilent, um Medidor de Potência Mod. E4418B - Agilent, um Sensor de Potência Mod. E9322A - Agilent e uma Célula TEM.

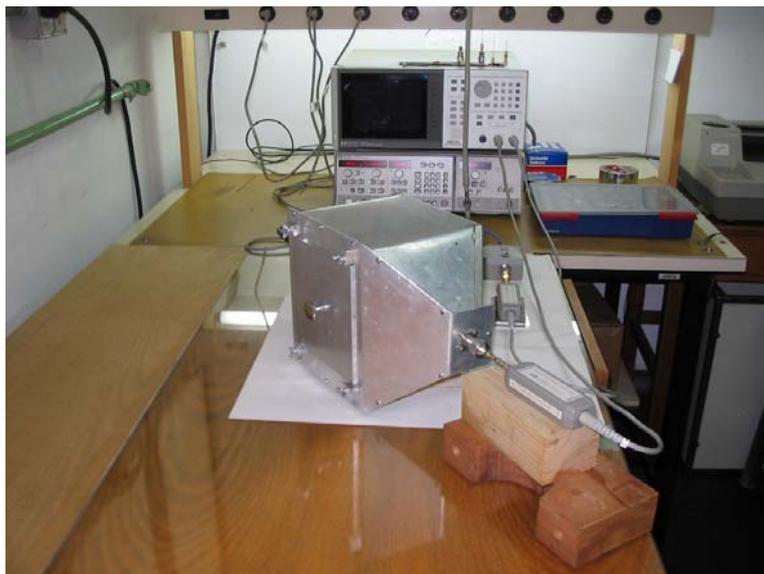


Figura 11 - Teste de VSWR da Célula TEM com equipamentos Agilent.

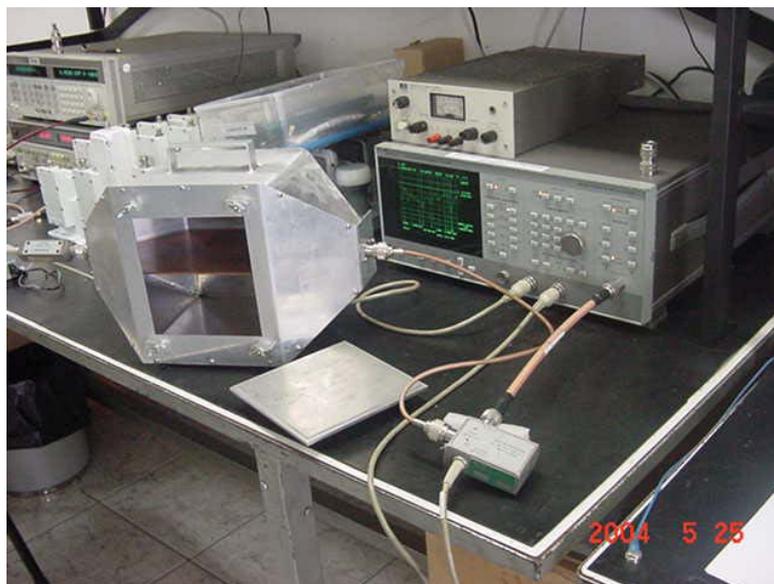


Figura 12 - Teste de resposta em frequência da Célula TEM com equipamentos Agilent.

#### 4.1.5 Tamanho do Animal ou Placa de Petri a ser Irrradiado (EUT)

A Célula TEM utilizada, conforme figura 13, apresentou um volume para a realização de experimentos de 3,5 cm de altura, 16 cm de largura e 18 cm de comprimento, compatíveis com a capacidade de alojar em seu interior pequenos animais de laboratório, como ratos e camundongos, e placas de Petri denominados neste estudo como elemento sobre teste (EUT). Definiu-se a altura de 3,5 cm para este projeto em função do estudo realizado por Malaric e Bartolic, 2003, que recomendavam a utilização de apenas um terço da área entre as placas externas e a placa condutora central, utilizada para testes. A Célula TEM foi projetada para operar com uma impedância interna de  $50\Omega$ . Procurou-se projetá-la sem que houvesse alteração neste parâmetro.

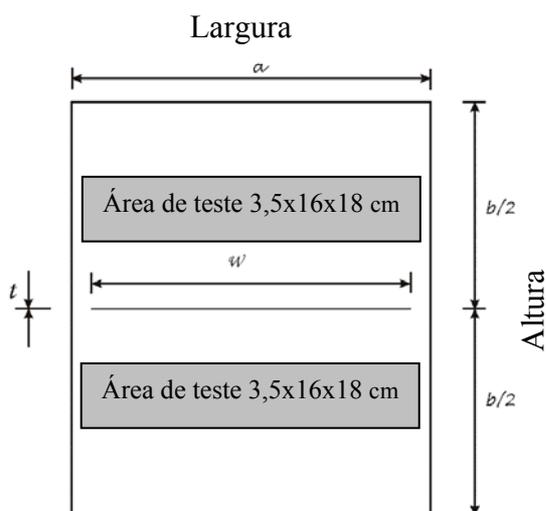


Figura 13 - Seção Transversal da Célula TEM com impedância de  $50\Omega$ .

## 4.2 Análise Microbiológica.

O professor Martin Meltz, associado de radiologia no Centro de Ciência de Saúde da Universidade do Texas, em San Antonio – EUA, afirmou não haver evidências indicando que as microondas possam iniciar um câncer. Sua afirmação era respaldada por mais de 13 anos de estudos sobre os efeitos da irradiação de microondas (não-ionizantes), e de drogas em células saudáveis e cancerosas. O mesmo ele não pôde afirmar quanto a possibilidade de um câncer pré-existente ser exacerbado pela exposição à irradiação na frequência dos celulares. Suas pesquisas desde então vem indicando que não, particularmente sob efeitos térmicos, com aquecimentos de até 3°C das células estudadas (FISCHETTI, 1993).

Este experimento procurou analisar os efeitos da radiação de radiofrequência (RF) não-ionizantes dentro de uma Célula TEM, sobre as células microbianas de cepas-padrão de bactérias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*) ATCC 14458, Gram-negativas (*Escherichia coli*) ATCC 10799 e de leveduras (*Candida albicans*) ATCC 10231. Foram preparadas 6 placas do meio de cultura ágar Sal – Manitol (DIFCO), 6 placas de ágar MacConkey (DIFCO) e 6 placas de ágar Sabouraud Dextrose (DIFCO) devidamente esterilizadas. Foram também preparados 6 inóculos de cada cepa – padrão de *S. aureus*, *E. coli* e *C. albicans*, de forma que as colônias viáveis previamente semeadas em meios de cultura ágar TSA-DIFCO para *S. aureus* e *E. coli* e ágar Sabouraud Dextrose para *C. albicans*, com 24 a 48 horas de crescimento a 37°C, foram diluídas de acordo com a escala 0,5 de Mc Farland ( $1,5 \times 10^6$  células / ml), em tubos pequenos contendo 1 ml de solução fisiológica estéril a 0,85 %, totalizando 18 inóculos microbianos. A partir de um dos 6 inóculos preparados de cada microrganismo, realizou-se um controle positivo, com pipeta automática (GILSON) e ponteiras estéreis, semeando-se 0,1 mL de cada inoculo e posteriormente espalhando-se com alça de Drigalsky, sendo que o *S. aureus* foi semeado em um ágar Sal – Manitol, a *E. coli* em um ágar MacConkey e a *C. albicans* em um ágar Sabouraud Dextrose.

Antes da realização do experimento, realizou-se a desinfecção do interior da Célula TEM com álcool 70%. A exposição dos inóculos microbianos no interior da Célula TEM foi realizada em 5 diferentes tempos: 2, 5, 10, 15, 20 minutos de duração.

Para cada ensaio foram utilizados 3 inóculos microbianos, em que um era de *S. aureus*, um de *E. coli* e um de *C. albicans*, totalizando 15 inóculos testados no total. Para cada tempo de exposição à radiação eletromagnética, a frequência de teste foi de 640 MHz com uma potência de irradiação de 45 mW (16,53 dBm), o valor de sua VSWR foi de 1,08 o que nos fornece uma potência refletida menor do que 11% da potência incidente e sua Perda por Retorno de -28 dBm que corresponde a uma potência de 1,5  $\mu$ W.

Depois de expostos os inóculos bacterianos foram semeados com pipeta automática (GILSON) e ponteira estéril e posteriormente espalhado com alça de Drigalsky, 0,1 mL de cada um dos 15 inóculos, sendo que os de *S. aureus* foram semeados em ágar Sal – Manitol, os de *E.coli* em ágar MacConkey e os de *C.albicans* em ágar Sabouraud Dextrose, que junto com o controle positivo totalizaram 6 placas de cada meio de cultura. Todas as placas foram incubadas a 37°C por 24 a 48 horas. Posteriormente, realizou-se a leitura da contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC/ml) dos diferentes microrganismos antes e após os tempos de exposição estabelecidos.

O valor da densidade de potencia absorvida por unidade de volume ( $P_{abs}$ ) é de  $9,87 \times 10^{18}$  W/cm<sup>3</sup>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Normas e padronizações

Na revisão de literatura constatou-se a existência de padrões de normalização para valores de densidade de potência mínimos aceitáveis. No entanto, em se tratando de SAR de corpo inteiro, existe um consenso geral de que o valor limite ocupacional é de 4 W/kg e o limite para o público em geral é de 0,08 W/kg. Porém em se tratando de SAR localizada para o público em geral, com o uso do aparelho próximo a 2 cm da cabeça, os padrões norte-americanos estão em até 1,6 mW para 1 grama de tecido e os padrões europeus em até 20 mW para 10g de tecido.

A pesquisa sobre compatibilidade e interferência eletromagnética e estudos de vários equipamentos revelou a necessidade de desenvolver um equipamento que permitisse trabalhar, em seu interior, com cultura de células e também pequenos animais, com frequências de até 1 GHz, denominado de célula eletromagnética de modo transversal.

O equipamento encontrado de fabricação importada apresentou-se muito caro e de difícil aquisição. Optou-se, portanto pela elaboração de um projeto para confecção de um equipamento nas oficinas da UNIVAP.

Na elaboração do projeto, a Célula TEM apresentou as dimensões:  $a=18$  cm (largura da Célula TEM) e  $b=21$  cm (altura da Célula TEM), dando a condição de  $a < b$  e disponibilizando um espaço na vertical entre o condutor central e a extremidade interna de 10,5 cm, conforme observado na figura 14, 15 e 16 com as demais medidas dadas por  $w=16$  cm (largura da placa de cobre no interior da célula) e  $t=2,5$  mm (espessura da placa de cobre no interior da Célula TEM).

Crwawfor, 1974 apresentou uma TEM-cel com uma impedância de  $50\Omega$  e com dimensões  $a = 21,83$  cm e  $b = 18$  cm nos dando uma relação  $a > b$  para uma frequência máxima de 500 MHz.

Kresimir e Juraj, 2003 apresentaram a mesma Célula TEM com impedância de  $75\Omega$  e uma relação  $a < b$  sendo  $a = 25$  cm e  $b = 30$  cm com uma área de teste para pequenos equipamento e experimento biológicos na frequência de até 1 GHz.

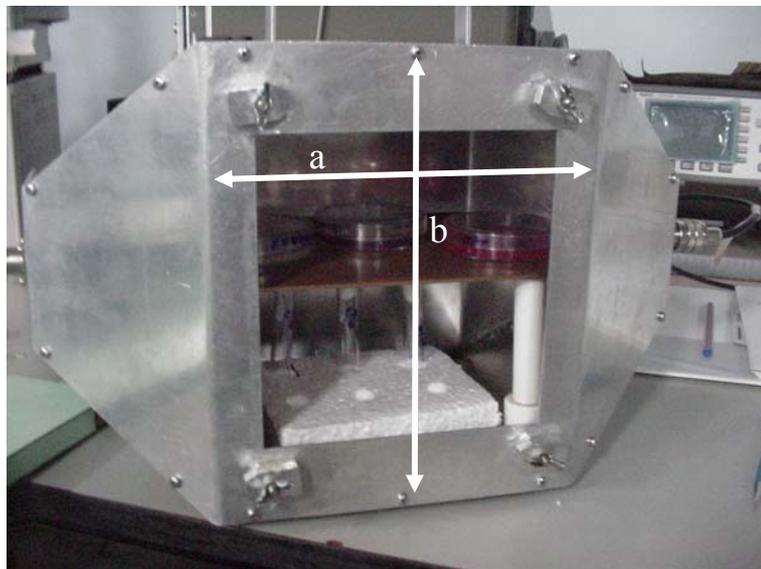


Figura 14 - Vista interna da Célula TEM com as placas de Petri contendo bactérias *S. aureus*, *E. coli* e fungo *C. albicans*.

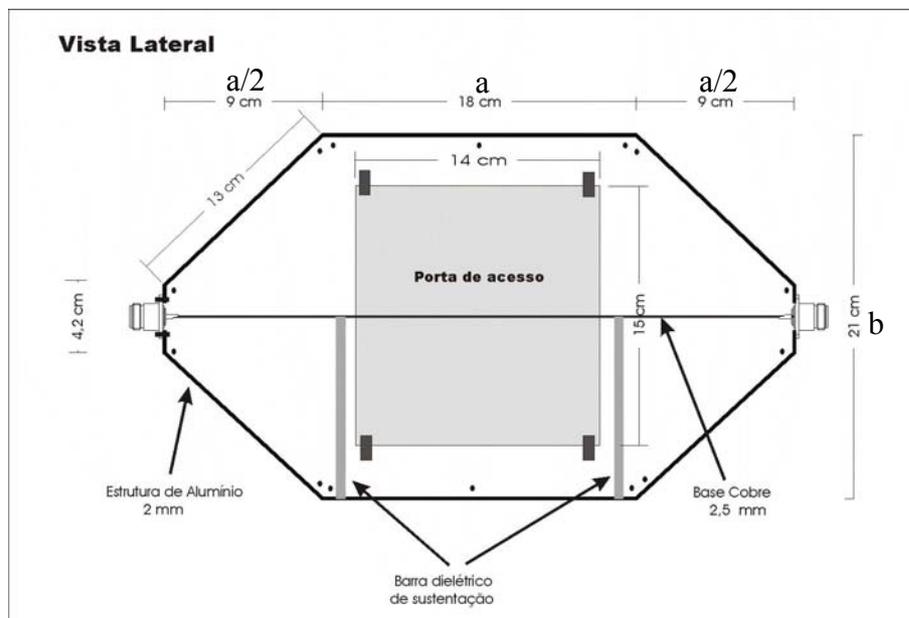


Figura 15 – Vista lateral de uma Célula TEM.

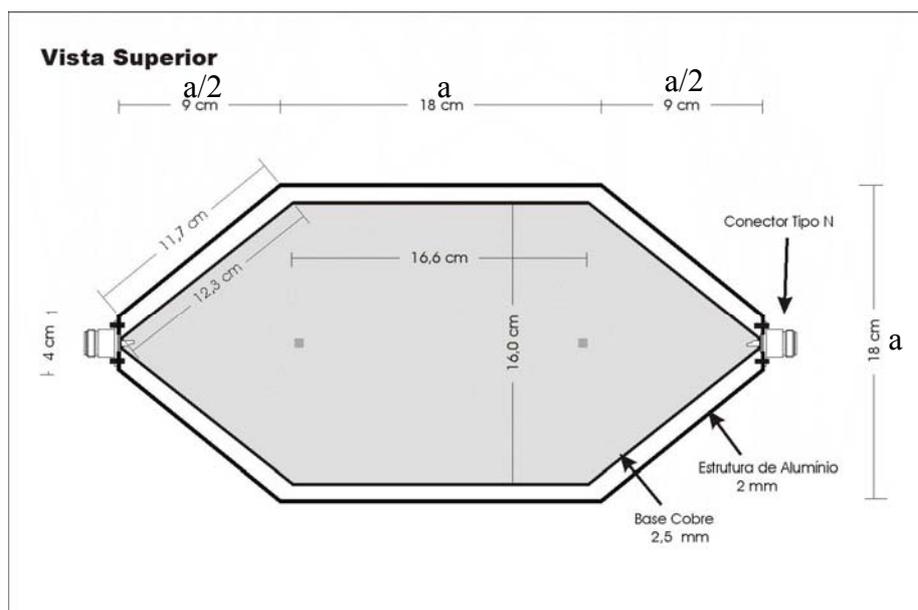


Figura 16 - Vista superior de uma Célula TEM.

Obteve-se, desta forma, uma altura útil de trabalho de 3,5 cm, sendo 1,5 cm a mais do que a projetada por Crawford (1974), no sentido vertical em seu interior e com uma impedância aproximada de  $50 \Omega$ , área suficiente para a realização de experimentos biológicos com animais e cultura de célula.

## 5.2 Testes de desempenho da Célula TEM

Os testes de desempenho realizados com a Célula TEM desenvolvida nesta pesquisa, amparados pelos estudos desenvolvidos por Crawford, 1974 e Kraus, 1978, demonstraram que na frequência de 640 MHz, a mesma se apresenta com uma VSWR 1:1, conforme pode ser observado na figura 17.

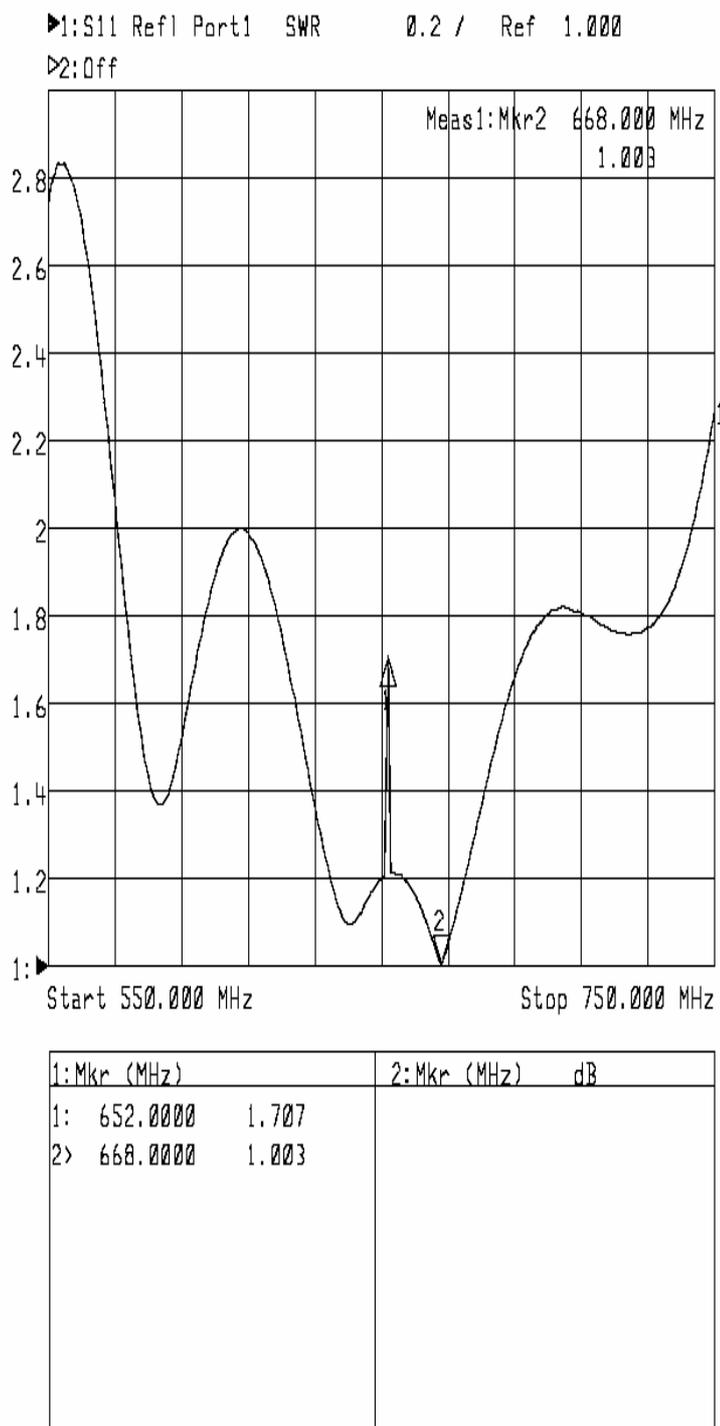


Figura 17 - Gráfico de valores de VSWR para frequências de 550 MHz a 750 MHz.

Por sua vez, observa-se na figura 18, o resultado do teste de impedância que apresentou um valor próximo de  $48.2 \Omega$  para a frequência de 645 MHz, valor próximo à impedância de  $50 \Omega$  desejado para a frequência de 640 MHz do projeto (CRAWFORD, 1974).

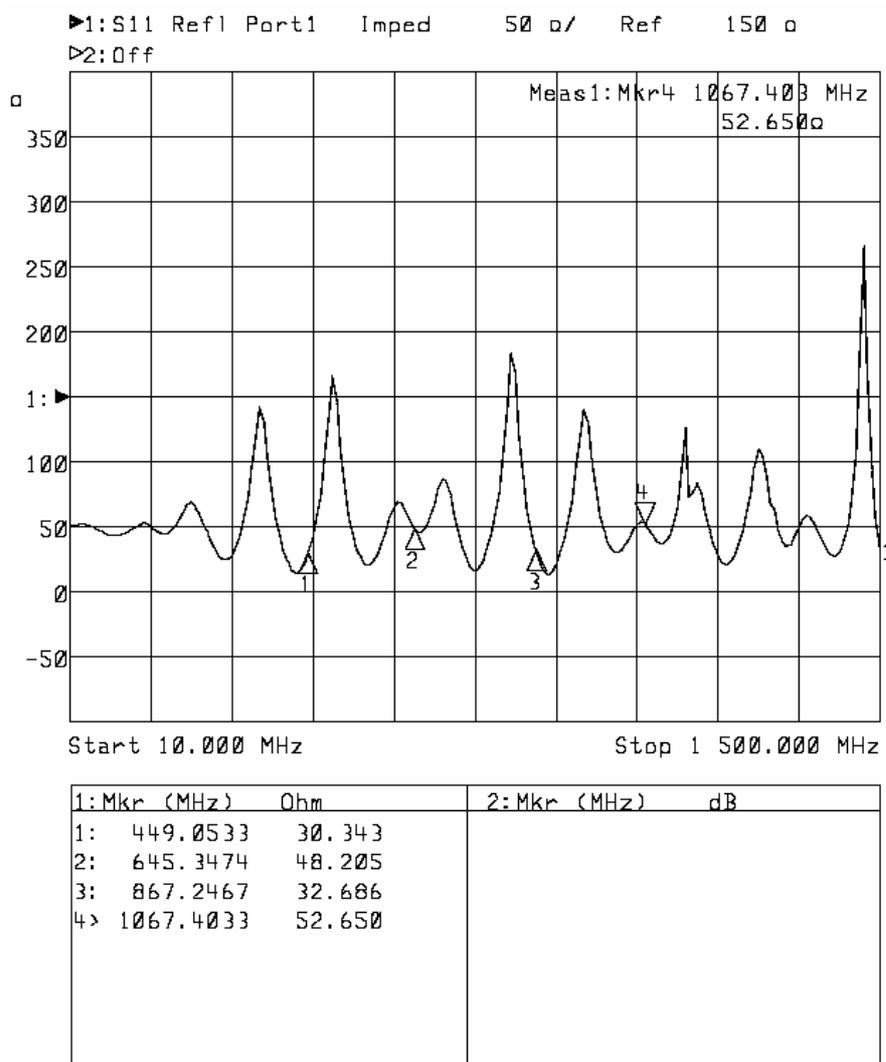


Figura 18 - Gráfico de Impedância para frequências de 10 MHz a 1.5 GHz.

A figura 19 apresenta uma perda por inserção de 0.8dB, e a figura 20 uma perda por retorno de 35dB, valores adequados à realização de experimentos biológicos em seu interior (MALARIC ; BARTOLIC, 2003).

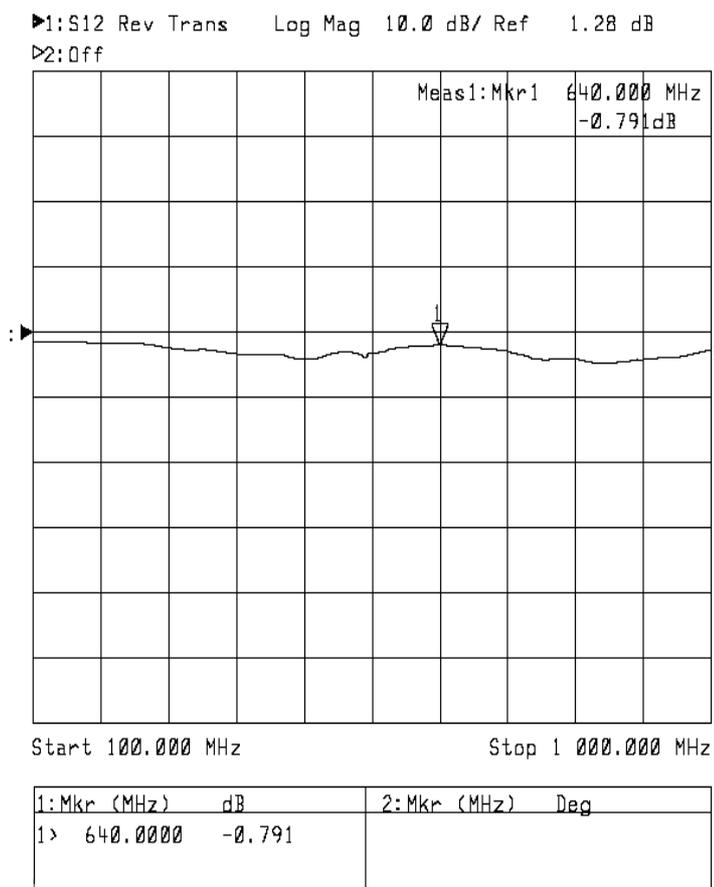


Figura 19 - Gráfico de Perda por Inserção para frequência de 640 MHz.

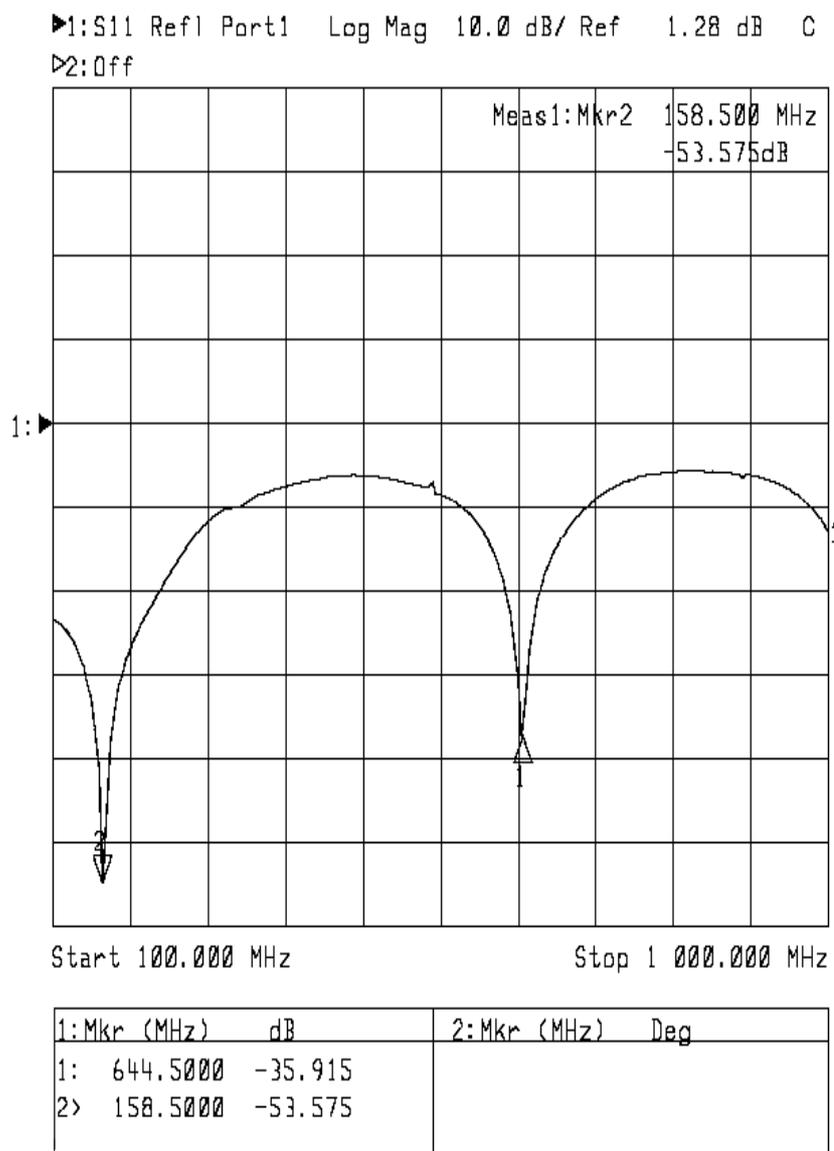


Figura 20 - Gráfico de Perda por Retorno para frequências de 100 MHz a 1 GHz.

Com base nos valores de VSWR, impedância, perda por inserção e perda por retorno estarem apresentando valores que representam um perfeito funcionamento da Célula TEM, a mesma se torna adequada a realização de pesquisas na área de compatibilidade e interferência eletromagnética bem como a realização de pesquisas biológicas na frequência de 645 MHz (MALARIC ; BARTOLIC, 2003).

### 5.3 Efeitos da Radiação Não-Ionizantes Sobre os Microorganismos Testados

Objetivando verificar a utilização da Célula TEM com uma amostra biológica, foi gerado um sinal de radio-freqüência em 640 MHz e aplicado no interior da Célula TEM.

Culturas de células bacterianas de *E. coli*, *S. aureus* e levedura de *C. albicans* semeadas em placas de Petri, foram colocadas no interior da Célula TEM.

Os tempos de exposição das culturas bacterianas e leveduras as radiações não-ionizantes provenientes de radio-freqüência no interior da Célula TEM foram de 2, 5, 10, 15 e 20 min., sob temperatura ambiente de 37° C para as três culturas e em todos os experimentos.

#### 5.3.1 Cultura de *E. coli*

Na aplicação da radio-freqüência durante 2 min (figura 21) e 5 min (figura 22) no interior da Célula TEM, pode-se constatar que as culturas de *E. coli* apresentaram proliferação menor do que as culturas controle de *E. coli* (figura 23).

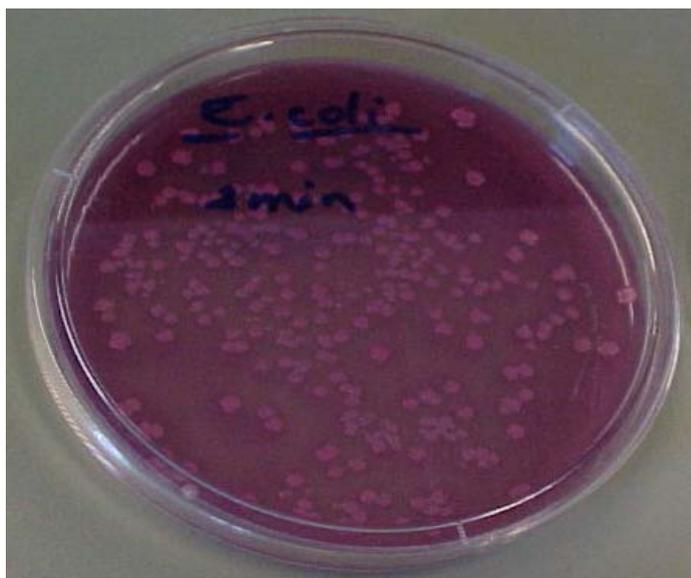


Figura 21 - Tempo 2 min - *E. Coli*.



Figura 22 - Tempo 5 min - *E. Coli*.



Figura 23 - Controle - *E. Coli* sem influência de campos eletromagnéticos.

Após a radiação da radio-freqüência nos tempos de exposição de 10, 15 e 20 minutos as culturas de células bacterianas apresentaram valores superiores a 100.000 UFC/ml.

### 5.3.2 Cultura de *C. albicans*

Para as culturas de *C. albicans*, os tempos e condições de exposição foram semelhantes aos do experimento anterior. No tempo de 2 min pode-se constatar que as culturas de *C. albicans* sob influência da radiação não-ionizante a 37 °, apresentaram proliferação menor do que o grupo controle (figura 24), demonstrando que neste tempo de exposição não houve bioestimulação ou não houve proliferação nas colônias de *C. albicans* irradiadas (figura 25).

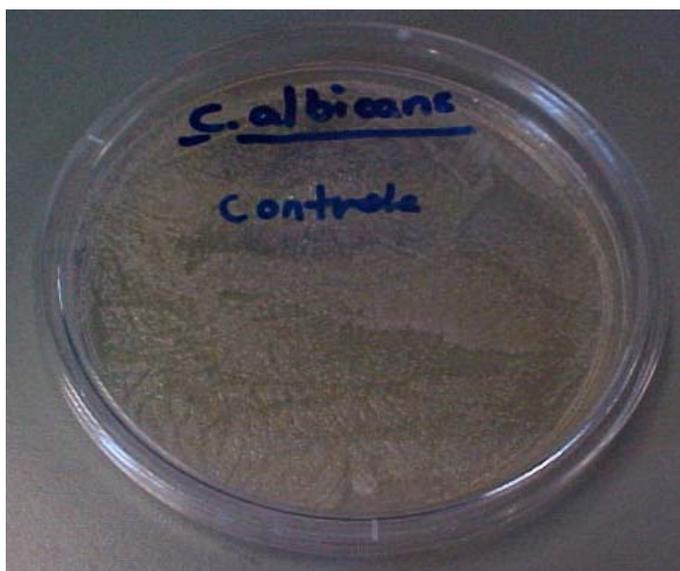


Figura 24 - Controle – *C. albicans* sem influência de campos eletromagnéticos.



Figura 25 - Tempo 2 min – *C. albicans*.

Por sua vez, nos tempos de 5, 10, 15 e 20 min as culturas de *C. albicans* apresentaram valores superiores a 100.000 UFC/ml.

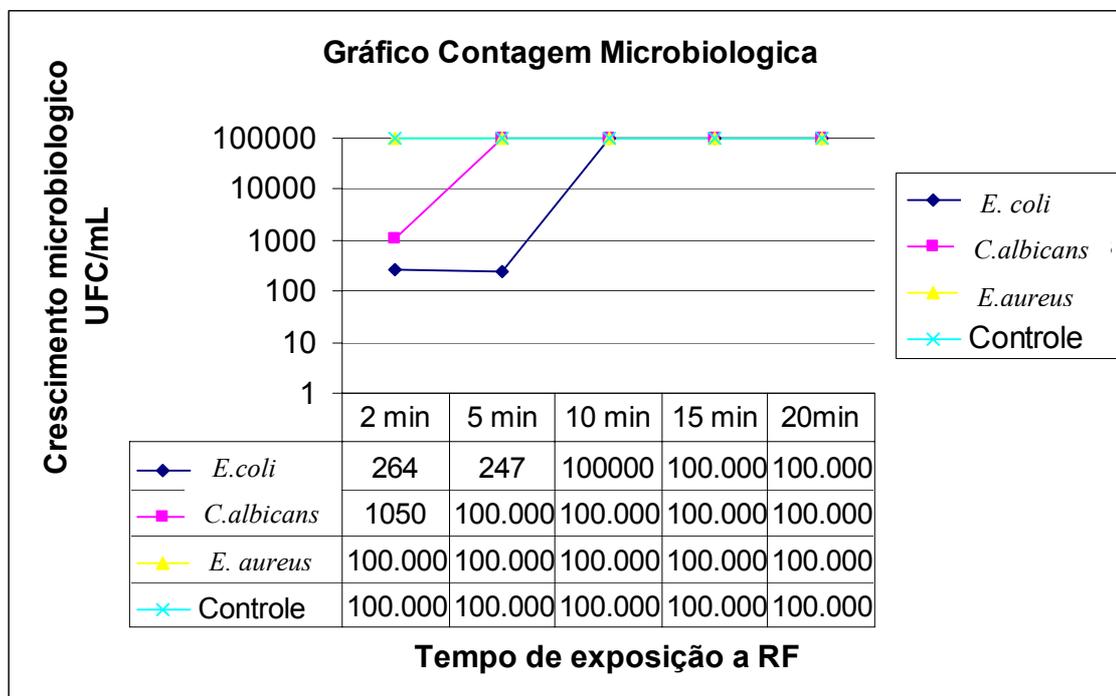
### 5.3.3 Cultura de *S. aureus*

Para o grupo de culturas de *S. aureus*, exposto a radiação não-ionizantes na frequência de 640 MHz, obteve-se uma proliferação com valores superiores a 100.000 UFC/ml, para todos os tempos de exposição.

### 5.3.4 Gráfico dos Resultados

As curvas de proliferação das colônias de *Escherichia coli*, *Candida albicans* e *Staphylococcus aureus* foram obtidas pela da leitura da contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC/ml) dos diferentes microrganismos antes e após os tempos de exposição estabelecidos conforme demonstrado no gráfico 01.

Gráfico 01 - Análise dos efeitos da radiação não-ionizantes, sobre os microrganismos testados em uma Célula TEM.



Velizarov *et al.*, (1999), realizou um experimento com 11 amostras de células tipo AMA sobre influência de CEM a uma temperatura de 35°C e 39°C sendo que a amostra controle não foi exposta a CEM e incubada a 37°C. Ele descobriu que para ambas as temperaturas, havia uma mudança significativa na proliferação das células expostas em comparação às células controle. Por outro lado, a mudança na taxa de proliferação das células expostas a CEM não apresentaram uma significativa alteração para as temperaturas especificadas. Como as mudanças na proliferação celular devido a CEM foi da mesma ordem de magnitude para ambas as temperaturas, deve haver outro mecanismo que inicie as reações no ciclo celular. A proliferação celular observada poderia decorrer da expressão de proteínas *heat-shock*, sob estímulo da variação da temperatura ou pela emissão de CEM.

Segundo Velizarov *et al.*(1999), de tal experimento não se pode concluir que o acréscimo na proliferação celular devido à exposição de campos de radio-freqüência não pode ser um resultado ocorrido em função da geração de calor

proveniente da irradiação, resultado este que necessita de mais estudos direcionados à identificação da especificidade dessa expressão com relação à emissão de ondas eletromagnéticas para comprovar se esse fator determina ou não danos à saúde humana.

Joahansen *et al.*,(2001) apresentam resultados de um estudo realizado na Dinamarca com 420.095 usuário de aparelhos celulares, entre 1982 e 1995. Os autores concluem que os resultados não confirmam a hipótese de associação entre o uso de telefones celulares e tumores no cérebro, nas glândulas salivares, leucemia ou outros tipos de câncer.

A base atual de evidências científicas indicando riscos à saúde humana em níveis de exposição iguais ou menores que os limiares recomendados é limitada e controversa em diversos aspectos. O único consenso aparente com relação a tais indícios é que novas pesquisas são necessárias. Entretanto, mesmo entre os cientistas defensores da periculosidade da exposição em níveis baixos, em geral os níveis de exposição associados à irradiação do terminal portátil é que são questionados.

## 6 CONCLUSÃO

- Foi realizada uma revisão das principais normas existentes, destacando-se as normas americanas e europeias adotadas na maior parte do mundo. Demonstrou-se que não existe um valor de densidade de potência mínima aceitável adotada por todos os países. O que existe são organizações gestoras de níveis de referências, porém quase todos os países ou continentes têm adotado valores definidos pelas suas organizações governamentais.
- Foi projetada uma Célula TEM e optou-se por utilizar o alumínio em sua confecção por ser um material de fácil aquisição, manuseio e apresentar um grau de penetração eletromagnético da ordem de  $3,33 \times 10^{-6}$  mm na frequência de 640 MHz representando muito pouca penetração no material, viabilizando assim a blindagem eletromagnética da Célula TEM. Nos testes de resposta em frequência.
- A frequência de trabalho foi de 640 MHz por ter apresentado uma impedância próxima de  $50 \Omega$ , uma perda por inserção de -0.8dB, e uma perda por retorno de -35dB, valores adequados à realização de experimentos biológicos por apresentar em seu interior um campo uniforme livre de ondas refletidas e ondas estacionárias em seu interior e casado com os demais equipamentos utilizados para os testes.
- Nos experimentos com culturas microbianas realizadas com a Célula TEM pudemos observar que nas culturas de *E. coli* e *C. albicans* sob a influência da radiação em 640 MHz houve proliferação nos mesmos níveis da proliferação da cultura controle ou seja superior a 100.000 UFC/ml quando sob influência de RF acima de 2 min para a cultura de *E. coli* e 5 min para a cultura de *C. albicans*. Para a cultura de *S. aureus* sob

a influência de RF, obteve-se uma proliferação igual à cultura controle superior a 100.000 UFC/ml para todos os tempos de exposição.

- Os resultados obtidos das análises das culturas bacterianas de *E. aureus*, *E. coli* e da levedura *C. albicans* sob influência da radiação na frequência de 640 MHz, não demonstraram um resultado que apresentasse uma não proliferação ou bioestimulação, pois apenas duas amostras e em dois tempos não tiveram proliferação celular, para todas as demais a proliferação foi igual a controle.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Limites para a Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no Tempo ( até 300 GHz)**, projeto 03:077.01- maio.2000.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 ghz)**. Superintendência de Radiofrequência e Fiscalização. dez.1999.

ANATEL. Agencia Nacional de Telecomunicações. RESOLUÇÃO 303. **Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz** . Anexo à resolução nº 303 de 2 jul.2002.

ABRICEM. **Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética**. Proposta Regulamentação Anatel. Rev.00. nov. 1999.

BOWMAN , R.R.; JESSEN, W. E. Calibration Techniques for RAMCOR Densimeter Antennas. **NBS Rep.** [unpublished. dec.1970].

BALZANO, Q.; LIN, J.C. **Mobile Communication Safety**. London: Chapman & Hall. 1997

CRAWFORD, M. L., Generations of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells, **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, v.16, n 4, p.189-195, nov. 1974.

CRAWFORD, M. L., JOHN L. WORMAN, CURTIS. THOMAS, Expanding the Bandwidth of Célula TEM for EMC Measurements, **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, v.emc-20, n 3, p.368-375. ago.1978.

CENELEC.European Committee for Electrotechnical Standardization. **Eletromagnetic Compatibility EMC Standardization for Product Committees**. Ed.1. jul. 2001.

CLEARY, S. F.;CAO, G.; LIU, L-M. Effects of isothermal 45 GHz microwave radiation on the mammalian cell cycle: comparison with the effects of isothermal 27 MHz radiofrequency radiation exposure. **Bioelectrochemistry and Bioenergetics**, v. 39. p.167-173. 1996.

DIAS, M. H. C.; SIQUEIRA, G. L., Considerações sobre os efeitos à Saúde Humana da radiação Emitida por Antenas de Estações Rádio-Base de Sistemas Celulares. **Rev. Científica Periódica - Telecomunicações Inatel**, v.05, n. 1. p.41-52. 2002.

DAVID L. M., KWOK, W. CHAN., Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radio frequency Electromagnetic Fields. **FCC-Federal Communication Commission**. Suplement C. Ed.01-01. jun. 2001.

FDA . Food and Drug Administration, **Eletromagnético Compatibility Program**, Disponível em <http://www.fda.gov/cdrh/emc/emc-what.html>. Acesso em maio. 2002.

FDA . Food And Drug Administration, Effects of **Radiofrequency Energy (RF) Exposure On Micronucleus Formation**, Miller Reporting Company, Inc, v.1. Ago.2000.

FCC . Federal Communications Commission. Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields. 4.ed. Ago 1999.[ Oet Bulletin 56.]

FERRARI, A. M. **Telecomunicações: Evolução e Revolução**. São Paulo: Érica , 1998.p.145-150.

FOSTER, K. R..Are mobile phones safe?. **IEEE Spectrum**, v.l 37, n.8, p 23-28, Ago 2000.

FISCHETTI, M.. The cellular phone scare, **IEEE Spectrum**, p 43-56, Jun 1993.

GAO - United States General Accounting Office, **Research and Regulatory Efforts on Mobile Phone Health** Maio 2001. Disponível em <http://www.gao.gov/new.items/d01545.pdf>. Acesso em: 15 nov.2003.

HEALTH CANADA, **Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz - safety code 6 - 2002**. Disponível em: <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/ccrpb/publication/99ehd237/appendix5.htm>. Acesso em 15 mar.2005.

HPA . Health Protection Agency. Disponível em [http://www.hpa.org.uk/hpa/about\\_us/about.htm](http://www.hpa.org.uk/hpa/about_us/about.htm). Acesso em Abr. 2005.

ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.v., **Recomendaciones para Limitar la Exposicion a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos ( hasta 300 GHz)**. Disponível em <http://www.inictel.gob.pe/dit/radiaciones/pdf/Art5.pdf>. Acesso em: 20 maio 2004.

IEGMP. Independent Expert Group on Mobile Phones. Disponível em <http://www.iegmp.org.uk/index.htm> . Acesso em Fev. 2005

IEEE - Magnetic field and you is search of answer. Special Report: Today's view of magnetic fields, **IEEE Spectrum**, p.14 - 23, dez.1994.

IEEE/ANSI C95.1 “**IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure ti Rádio Electromagnétic Fields, 3 KHz to 300 GHz**”. New York: IEEE Inc, 1992.

IEEE. - Human Exposure to Microwaves and Other Radio Frequency Electromagnetic Fields. Medical College of Wisconsin. **Engineering in Medicine and Biology Magazine** ,v.14, n.3, p. 336-337. 1995.

IVASCHUK, O.I.; JONES, R.A.; ISHIDAJONES T.; HAGGREN, W.; ADEY, W.R.; PHILLIPS, J.L. Exposure of nerve growth factor-treated PC12 rat pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz, **Bioelectromagnetics**, v.18 n.3, p.223-229. 1997.

ICHELN, C. **The Construction and Application of A GTEM cell**. 1995. 53f. Technical University of Hamburg-Harburg, Faculty of Electrical Engineering Helsinki University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, 2000.[Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica]

ITU-T, International Telecommunication Union. **Telecommunication standardization sector**. Study period 1997 – 2000.

JOHANSEN, C.; BOICE, J. D.; MCLAUGHLIN, J. K.; OLSEN, J. H. Cellular Telephones and Cancer - a Nationwide Cohort Study in Denmark, **Journal of the National Cancer Institute**, v. 93, p. 203 - 207, 2001.

KWEE, S.; RASKMARK, P. Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 2. Microwave radiation, **Bioelectrochemistry and Bioenergetics** v.44. p.251-255. 1998.

KIMEL, W., GERKE, D. **Electromagnetic Compatibility in Medical Equipment: A Guide for Designers and Installers.** New York: IEEE, 1995. p.03-20

KRAUS, J. D. **Eletromagnetismo.** 10ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983. p.44-45 , 419-426.

KONEMAN, E. W.; ALLEN, S. D.; JANDA, W. M.; SCHRECKENBERGER, P. C.; WINN, JR. W. C. **Diagnostico Microbiológico** – Texto e Atlas Colorido. 5 ed. São Paulo: MEDSI Editora Médica e Científica. 1465 p. 2001.

LACAS, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C.; VACCARI, E. M. H.; MELO, N. T. **Tratado de Micologia.** 9 ed. São Paulo: Editora Sarvier. 2002.

LIMA L. D. **Estudo dos efeitos da bioestimulação e da terapia fotodinâmica em candida albicans, monitora com espectroscopia fotoacústica.** 2004. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2004.

MICHAELSON, S. M. **Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency radiation.** New York: Plenum Press, 1987. p.4-6.

MTE, MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – **Segurança e Saúde no Trabalho.** Disponível em: <http://www.mtb.gov.br/Temas/SegSau/Legislacao/Normas/Default.asp>. Acesso em 02 jul.2004.

MDA, MINISTERO DELL'AMBIENTE – DECRETO 10 settembre 1998, n. 381 - **Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana.** (pubblicato sulla G.U. n. 257 del 03 novembre 1998).

MINDNET – **Journal Ground Wave Emergency Network (GWEN)**v.01, n. 61a. Disponível em: <http://www.mindcontrolforums.com/mindnet/mn161a.htm>. Acesso em 14 mar.2005.

MUSIL, V. P. **Generating High-Intensity Electromagnetic Fields for Radiated-Susceptibility Test.. Rec.**, Seattle: IEEE EMC Symp p.185-194. jul. 1968.

MALARIC, K.; BARTOLIC, J. Design of a TEM cell with increased usable test area. **Turk Journal Electric Engineer**, v. 11, n. 2, p.143-154. 2003.

NIOSH, National Institute for Safety and Health, disponível em: <http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-129sp.html>. Acesso em 14 mar.2004.

OMS . Organização Mundial da Saúde. **Electromagnetic Fields And Public Health**. Disponível em: [http://www.who.int/peh-emf/publications/en/EMF\\_Risk\\_Chpt1.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/en/EMF_Risk_Chpt1.pdf). Acesso em 16 mar.2005.

PRO RAD. **Proteção radiológica**, Radiação não ionizantes, conceitos, normas e riscos disponível em <http://www.prorad.com.br/pro/rni.pdf> Acesso em: 05 jul.2004.

PELCZAR, JR; MICHEL, J; **MICROBIOLOGIA – Conceito e Aplicação**. 2. ed. São Paulo:MAKRON Books, 1997. 433 p.

PELCZAR, M.; REID, R.; CHAN, E. C. S.; **MICROBIOLOGIA**. 5.ed. São Paulo:McGraw-Hill do Brasil, 1980. 566 p.

PEREIRA FILHO, M. L.. **Os Efeitos Biológicos Relacionados a Campos Eletromagnéticos Gerados por Estações Rádio Base de Telefonia Celular**. São Paulo: . IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Mecânica e Eletricidade, 2002.

ROWELL, A. J.; WELSH, D.W.; PAPATSORIS, A.D., **Practical Limits for EMC Emission Testing at Frequencies Above 1GHz. Final Report**. Disponível em <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/topics/emc/ay3601/ay3601.pdf>. Maio 2000. Acesso em: jun.2004.

SHORE, R.E. Electromagnetic radiations and cancer: cause and prevention. **Cancer. Institute of Environmental Medicine**, New York : University Medical v.62. p.1747-1754. 1988.

SALLES, A. A. A. Biological effects of microwave and RF. In: SBMO/IEEE MTT-S IMOC'99, . **Proceedings...**Rio de Janeiro, p. 51-56, 1999.

SAVITZ, A.D.; WACHTEL, H.; BARNES, F.A.; JOHN, E.M.; TVRDIK J.K. Case-Control Study of Childhood Cancer and Exposure to 60 Hz Magnetic Fields, **American Journal Epidemiology**, v.128. p.21-38. 1988.

SOARES N. V. **Sistema Móvel e Telefonia Celular**. São Paulo: Érica, 1990.170p.

SILVA, R. C. **Radiações eletromagnéticas e contorno de proteção à vida na faixa de 50 MHz a 3GHz** . 2001. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - . Universidade Federal da Bahia, 2000.

TUDE, E. **SAR e Radiação de Terminais Celulares**, 2003. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialr/default.asp>. Acesso em 14 mar.2005.

TEPS. THE EUROPEAN PRE-STANDARD ENV 50166. **Human Exposure to Electromagnetic Fields**. Disponível em [http://www.arcs.ac.at/publik/fulltext/kunschb\\_evn50166.doc](http://www.arcs.ac.at/publik/fulltext/kunschb_evn50166.doc), Acesso em 25 jun.2004.

VELIZAROV, S.; RASKMARK, P.; KWEE, S. The effects of radiofrequency on cell proliferation are non-thermal. **Bioelectrochemistry and bioenergetics** v.48. p.177-180. 1999.

WLA. **Wireless LAN Association**. Disponível em <http://www.wlana.org/learn/health.htm>. Acesso em 27 jun.2004.

WEIL, C.M, The Characteristic Impedance of Rectangular Transmission Lines with Thin Center Conductor and Air Dielectric, **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, MTT-26, n. 4, p. 238-242. abril 1978.

WILLIAMSON. S J. et al. **Biomagnetism in the interdisciplinary approach**. New York,: Plenum Press, 1982. p. 569-572.

WERTHEIMER, N.; LEEPER, E. Electrical Wiring Configurations And Childhood Cancer, **American Journal of Epidemiology**, v.109. p.273-284. 1979

## APÊNDICE

### Apêndice A

#### Energia Produzida Naturalmente pelo Corpo Humano:

$$2000 \text{ cal} \times 4.18 \frac{\text{J}}{\text{cal}} = 8360 \text{ kJ}$$

8360 kWs = 2,3 kWh - que dividido por 24 h equivale a  $\pm 100 \text{ W}$ .

Portanto temos o equilíbrio térmico com o ambiente e a produção de energia pelo metabolismo humano em condições normais.

#### Energia requerida para que o corpo humano tenha uma variação de 2 °C/h.

$$Q = 70 \text{ kg} \times 3,55 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times \frac{2^\circ\text{C}}{\text{h}} = 6.7 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{h}}$$

A Potência  $P = Q/3600 \text{ s}$ , logo;

$$P = 1.86 \times 10^2 \text{ W}$$

Para um ser humano com dimensões de 1,7m de altura e raio de 0,43m, temos uma área igual a 1,83 m<sup>2</sup>. Desta forma:

$$P = 1.86 \times 10^2 \text{ W} / 1.83 \text{ m}^2 = \pm 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

## Apêndice B

### Cálculo da densidade de potência absorvida por unidade de volume - $P_{(abs)}$ .

$$P_{abs} = \frac{27,8 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot tg\delta \cdot \epsilon' r}{(E_m)^2} \quad (\text{W/cm}^3)$$

Onde  $f = 640$  MHz ( frequência de sob o organismo),  $\epsilon' r = 0,78$  (constante dielétrica relativa da agua),  $tg\delta = 0,16$  (tangente de perdas da água) e  $EM = 45$  mW (Intensidade do campo elétrico sob os microorganismos). Desta forma temos:

$$P_{abs} = \frac{27,8 \cdot 10^{-8} \times 640 \cdot 10^6 \times 0,16 \times 0,78}{(45 \cdot 10^{-3})^2} = 10,965 \text{ W/cm}^3$$