

Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

Dissertação de Mestrado

**INTERAÇÃO DAS ONDAS
ELETROMAGNÉTICAS COM
O MATERIAL BIOLÓGICO**

FÁTIMA CLARÉT SÊDA R. SCUDELER

NOVEMBRO / 2005

“Interação das Ondas Eletromagnéticas com o Material Biológico”

FÁTIMA CLARÉT SÊDA RIBEIRO SCUDELER

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Telecomunicações, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Telecomunicações.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Maurício Silveira

Santa Rita do Sapucaí
2005

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em ____ / ____ / ____, pela comissão julgadora:

Prof. Dr. Maurício Silveira
DTE/INATEL

Prof. Dr. Walter Germanovix
DEE/UEL

Prof. Dr. José Antônio Justino Ribeiro
DTE/INATEL

Coordenador do Curso de Mestrado
Prof. Dr. Adonias Costa da Silveira

DEDICATÓRIA

A DEUS pela oportunidade de encontrar pessoas tão especiais em minha vida, que me guiaram até aqui. A ele seja toda a glória, a honra e o louvor!

In memoriam minha mãe Elisa Aparecida Sêda Ribeiro.

Ao meu pai Nilo Ananias Ribeiro e a minha mãe adotiva Célia Ananias Ribeiro, pela sabedoria guardada na simplicidade do “ser” e com o apoio e incentivo, ensinaram-me o verdadeiro caminho da vida.

Ao meu esposo, João Scudeler Filho, pela compreensão nas horas de ausência, pelo apoio nas horas de cansaço, pelo estímulo nos momentos de indecisão e acima de tudo pelo respeito aos meus ideais.

Aos meus filhos: João Scudeler Neto, Pedro Henrique Ribeiro Scudeler e Luís Antônio Ribeiro Scudeler, pelo carinho, amor e compreensão pelas ausências.

A Rita Sêda Pinto, minha tia, que muito contribuiu para eu estar aqui, no caminho do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Não posso dizer com lindas palavras, como os poetas...

Não tenho outro modo para demonstrar meu sentimento.

Só uma palavra posso usar do meu pobre vocabulário:

Obrigado, Senhor!

Pelo dom da vida e por tudo o mais que recebi através dela.

Por este trabalho que agradeço a todos que dele

Participaram:

Ajudando-me,

Incentivando-me,

Dando-me o apoio tão necessário

Em todos os momentos da sua execução,

Muito obrigada, especialmente, ao Prof. Dr. Maurício Silveira, exemplo de mestre dedicado à pesquisa e ao ensino, meus agradecimentos sinceros não só pela orientação, mas também pelo apoio, amizade, carinho, compreensão e confiança durante o nosso convívio.

Aos professores e amigos: Vagner Faria Vilela, Luiz Antônio Simeão, Guilherme Rosse Ramalho, Bruno Augusto Ferreira e Rafael C. Moreira que muito contribuíram com as medições em campo, em Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre.

Muito obrigada, Professor, Dr. Walter Germanovix.

Muito obrigada, Professor, Dr. José Antônio Justino Ribeiro.

Vocês, por sua dedicação e bondade estarão sempre no meu coração.

Um agradecimento especial às empresas:

Telemig Celular e a Vivo principalmente aos Engenheiros: Mauro Antunes Magalhães, Carlos Alberto Goulart, da operadora Telemig celular e Anderson Resende, João Scudeler Filho, Márcia Soares Vargas, Samuel Mortório, Carlos

Eduardo R. de Araujo, da operadora Vivo por terem permitido e acompanhado medidas em campo para realização desse trabalho.

A Ericsson que me proporcionou os recursos para este Mestrado,

Ao INATEL que me deu a oportunidade da formação acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	x
Lista de Siglas	xii
Lista de Símbolos	xiv
Lista de Tabelas	xvii
Resumo	xviii
Abstrat	xix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 – Discussão Preliminar	1
1.2 – Histórico do desenvolvimento das Comunicações Via Rádio	1
1.3 – Destaques Relevantes	3
1.3.1 – Sistema Celular	4
1.4 – Importância do Tema e Desenvolvimento do Trabalho	4
1.5 – Objetivo desse Trabalho	5
1.6 – Conteúdo da Dissertação	5
1.7 – Contribuição Desejada	7
Referências Bibliográficas	8
Capítulo 2	10
Fundamentos Teóricos da Interação das Ondas Provenientes de Um Sistema de Comunicação Móvel	10
2.1 – Introdução	10
2.2 – Modelo Ondulatório	11
2.3 – Impedância de Onda e Impedância Intrínseca do meio	14
2.3.1 – Campo Distante e Campo Próximo	14
2.3.1.1 – Campo Próximo	14
2.3.1.2 – Campo Distante	14
2.3.2 – Transmissão de Sinais na Forma de Radiação	15
2.3.3 – Vetor de Poynting	16
2.3.4 – Propagação De Uma Onda Em Meios Distintos	18
2.3.4.1 – Onda Plana Propagando Entre Dois meios Quaisquer	19
2.3.4.2 – Meios Dielétricos Com Perdas	22
2.3.4.3 – Propagação em Três meios Distintos	22
2.4 – Modelo Corpuscular	26
2.5 – Radiações Não-Ionizantes	27
2.6 – Conceitos Básicos de um Sistema Móvel Celular	29
2.6.1 – Características do Sistema Móvel Celular	30
2.6.1.1 – Estação Móvel	30
2.6.1.2 – Estação Rádio Base	30
2.6.1.3 – Central de Comutação e Controle	32

2.7 – Interação, Efeitos Biológicos, Riscos e Danos	34
2.7.1 – Interação	34
2.7.2 – Efeito Biológico	34
2.7.3 – Riscos	34
2.7.4 – Danos	34
2.7.5 – Constantes Dielétricas nos Tecidos em Função da Frequência	35
2.7.6 – Condutividade Específica do Tecido	36
2.7.7 – Profundidade de Penetração	36
Referências Bibliográficas	38
Capítulo 3	40
Bioeletricidade e Evolução das Normas	40
3.1 – Introdução	40
3.2 – Estado Atual das Normas	41
3.3 – Taxa de Absorção Específica	46
3.3.1 – Efeitos e Medidas	48
3.4 – Níveis Permitidos em Outros Países	53
3.4.1 – Normas Brasileiras	54
3.4.2 – Cálculo da Densidade de Potência que Atinge o Ser Humano a Partir de uma Estação Rádio-Base	56
Referências Bibliográficas	58
Capítulo 4	61
Estado da Arte e o Princípio da Precaução	62
4.1 – Introdução	62
4.2 – Uma Síntese do Estudo dos Efeitos de Campos Eletromagnéticos	62
4.2.1 – Sumário de Descobertas Científicas	67
4.3 – Princípio da Precaução	68
4.3.1 – Componentes do Princípio da Precaução	69
4.3.2 – Recomendações para a Precaução	69
Referências Bibliográficas	72
Capítulo 5	76
Medidas Experimentais e Estudo Comparativo	76
5.1 – Introdução	76
5.2 – Procedimentos de Medidas para Campos Externos	76
5.2.1 – Informações das Estações Rádio-Base	77
5.3 – Medidas Realizadas na ERB Morro do Chapéu	77
5.3.1 – Metodologia Usada nas Medidas	77
5.3.2 – Apresentação dos Resultados	78
5.3.3 – Medidas de Segurança Adotadas por essa Operadora	80
5.3.4 – Tipo de <i>ERB</i>	81
5.3.5 – Instrumentos Utilizados	81
5.3.6 – Comentários das Medidas dessa <i>ERB</i>	82

5.4 – Medidas Realizadas na <i>ERB</i> Morro do Cruzeiro	82
5.4.1 – Metodologia Utilizada nas Medidas	82
5.4.2 – Localização dos Pontos da <i>ERB</i> Analisada	83
5.4.3 – Comentários das medidas dessa <i>ERB</i>	87
5.5 – Medidas Realizadas na <i>ERB</i> Esplanada	87
5.5.1 – Metodologia Utilizada nas Medidas	87
5.5.2 – Resultados das Medidas	90
5.5.3 – Comentários das Medidas dessa <i>ERB</i>	91
5.6 – Medidas Realizadas na <i>ERB</i> Chácara do Castelo	91
5.6.1 – Metodologia Utilizadas nas Medidas	92
5.6.2 – Resultados das Medidas	94
5.6.3 – Dados dos Equipamentos Utilizados	98
5.6.4 – Percurso e Horário do Teste	98
5.7 – Conclusão	101
Referências Bibliográficas	103
Capítulo 6	103
Simulações e Análise de Resultados	103
6.1 – Introdução	103
6.2 – Primeiro Modelo Proposto	103
6.2.1 – Resultados da Primeira Simulação	108
6.3 – Segundo Modelo Proposto	109
6.3.1 – Resultados da Segunda Simulação	112
6.4 – Terceiro Modelo Proposto	113
6.4.1 – Resultados da Terceira Simulação	116
6.4.2 – Conclusões	117
Referências Bibliográficas	118
Capítulo 7	120
Comentários e Conclusões	120
7.1 – Resumo	120
7.2 – Uma Abordagem do Princípio da Precaução	121
7.3 – Recomendações Gerais	122
7.4 – Recomendações quanto ao uso do Celular	123
7.5 – Sugestões de Trabalhos Futuros	123
7.6 – Artigos Publicados Relacionados a esta Dissertação	124
Referências Bibliográficas	125
Apêndice A	126
A.1 – Nível de Sinal de Recepção	126
A.2 – Avaliação de CEM	128
A.3 – Conclusão	130
Apêndice B	131
Cálculo da Densidade de Potência <i>ERB</i> – Morro do Cruzeiro	131

Apêndice C	134
Cálculo da Densidade de Potência <i>ERB</i> Esplanada	134
Referências Bibliográficas	135
Anexos	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – <i>Evolução dos terminais móveis.</i>	3
Figura 1.2 – <i>Evolução de ERB's.</i>	3
Figura 2.1 – <i>Princípio de irradiação da onda eletromagnética a partir de um condutor conduzindo corrente variável no tempo.</i>	12
Figura 2.2 – <i>Campos próximos e campos distantes.</i>	15
Figura 2.3 – <i>Propagação da onda na direção z.</i>	16
Figura 2.4 – <i>Onda plana incidente normal à interface entre dois meios.</i>	20
Figura 2.5 – <i>Propagação em três meios distintos.</i>	23
Figura 2.6 – <i>Modelo corpuscular da energia eletromagnética.</i>	27
Figura 2.7 – <i>Espectro eletromagnético.</i>	28
Figura 2.8 – <i>Estação rádio-base.</i>	31
Figura 2.9 – <i>Agrupamento ideal.</i>	32
Figura 2.10 – <i>Agrupamento real.</i>	32
Figura 2.11 – <i>Representação de um cluster ideal .</i>	32
Figura 2.12 – <i>Representação de um cluster real.</i>	32
Figura 2.13 – <i>Rede celular e CCC.</i>	33
Figura 2.14 – <i>Representação da interface da CCC.</i>	33
Figura 2.15 – <i>Mecanismo de interação das ondas e usuários.</i>	35
Figura 2.16 – <i>Profundidade de penetração.</i>	37
Figura 3.1 – <i>Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo.</i>	51
Figura 3.2 – <i>Exposição máxima permitida ao público em geral, para o campo elétrico.</i>	54
Figura 4.1 – <i>Sumário de descobertas científicas.</i>	62
Figura 5.1 – <i>Valor medido do campo elétrico.</i>	69
Figura 5.2 – <i>Valor da densidade de potência.</i>	70
Figura 5.3 – <i>Frente da ERB.</i>	83
Figura 5.4 – <i>Antenas da ERB.</i>	83
Figura 5.5 – <i>Posicionamento da ERB no mapa urbano.</i>	83
Figura 5.6 – <i>Ponto de maior nível encontrado.</i>	84
Figura 5.7 – <i>Densidade de potência sentido afastamento da ERB.</i>	85
Figura 5.8 – <i>Densidade de potência (média temporal).</i>	86

Figura 5.9 – <i>Densidade de potência sentido aproximação da ERB.</i>	86
Figura 5.10 – <i>Campo elétrico sentido afastamento da ERB.</i>	87
Figura 5.11 – <i>Campo elétrico sentido aproximação da ERB.</i>	88
Figura 5.12 – <i>Campo elétrico (média temporal).</i>	88
Figura 5.13 – <i>Entrada da ERB.</i>	89
Figura 5.14 – <i>Mapa da ERB e caminho percorrido pelas medidas.</i>	90
Figura 5.15 – <i>Evolução setorial do tráfego primário.</i>	92
Figura 5.16 – <i>Evolução setorial do tráfego de Soft Handoff.</i>	92
Figura 5.18 – <i>Evolução do tráfego total da ERB.</i>	93
Figura 6.1 – <i>Esboço do modelo proposto.</i>	104
Figura 6.2 – <i>Campo elétrico e SAR na pele.</i>	105
Figura 6.3 – <i>Campo elétrico e SAR na gordura.</i>	106
Figura 6.4 – <i>Campo elétrico e SAR no crânio.</i>	107
Figura 6.5 – <i>Campo elétrico e SAR no tecido cerebral.</i>	108
Figura 6.6 – <i>Campo elétrico e SAR na hipófise.</i>	108
Figura 6.7 – <i>Campo elétrico e SAR na Pele.</i>	110
Figura 6.8 – <i>Campo elétrico e SAR na gordura.</i>	110
Figura 6.9 – <i>Campo elétrico e SAR no crânio.</i>	111
Figura 6.10 – <i>Campo elétrico e SAR no tecido cerebral.</i>	112
Figura 6.11 – <i>SAR na córnea.</i>	114
Figura 6.12 – <i>SAR na íris e humor aquoso.</i>	114
Figura 6.13 – <i>SAR no cristalino.</i>	115
Figura 6.14 – <i>SAR na retina.</i>	115
Figura A.1 – <i>Definição da distância e ângulo vertical.</i>	126
Figura A.2 – <i>Exposição de usuários a CEM.</i>	127
Figura A.3 – <i>Densidade de potência para alturas (10m 20 m 30 m).</i>	129
Figura A.4 – <i>Intensidade do campo elétrico para as alturas (10m 20 m 30 m).</i>	130

LISTA DE SIGLAS

RNI	Radiação não-ionizante, do inglês <i>Radiation Non-Ionizing.</i>
CEM	Campos eletromagnéticos.
ERB	Estação rádio-base.
EM	Estação móvel.
CCC	Central de comutação e controle.
RF	Rádio-freqüência.
SMC	Sistema móvel celular.
CDMA	Técnica de acesso com divisão de código, do inglês <i>Code Division Multiple Access.</i>
dB	Ganho em decibel.
dBi	Ganho em decibel tendo como referência à antena isotrópica.
CEMRF	Campos eletromagnéticos de radio-freqüência.
eV	elétrons-volt.
IRPA	Associação internacional de proteção a radiações do inglês <i>International Radiation Protection Association.</i>
INIRC	Comissão internacional de radiações não ionizantes, do inglês <i>International Non-Ionizing Radiation Committee.</i>
FDMA	Técnica de acesso com divisão de freqüência, do inglês <i>Frequency Division Multiple Access.</i>
WHO/OMS	Organização mundial da saúde, do inglês <i>World Health Organization.</i>
UNEP	Programa ambiental das nações unidas, do inglês <i>United Nations Environmentes Programm.</i>
ICNIRP	Comissão internacional de proteção contra as radiações não ionizantes, do inglês <i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.</i>
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique.</i>
ACGIH	<i>American Conference of Governamental Industrial Hygienists.</i>
SAR	Taxa de absorção específica, do inglês <i>Specific Absorption Rate.</i>
ANATEL	Agência nacional de telecomunicações.
IEEE	Instituto de engenharia elétrica e eletrônica, do inglês <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers.</i>
S_{eq}	Densidade de potência equivalente.
EMP	Exposição máxima permitida.

<i>FCC</i>	<i>Federal Communications Commission.</i>
<i>NR</i>	Normas regulamentadoras.
<i>EIRP</i>	Potência efetiva isotrópica radiada, do inglês <i>Equivalent Isotropic Radiation Power.</i>
<i>CEM/RF/MW</i>	Campos eletromagnéticos de radiofrequência e microondas.
<i>DNA</i>	Ácido desoxirribonucléico.
<i>HPBW</i>	Ângulo de meia potência vertical
<i>AM</i>	Modulação em amplitude, do inglês <i>Amplitude Modulate.</i>
<i>GPS</i>	<i>Position Global Satélite</i> (pgs)
<i>ITU</i>	União internacional de telecomunicações, do inglês <i>International Telecommunication Union</i> (uit)
<i>TDMA</i>	técnica de múltiplo acesso com divisão de tempo, do inglês <i>Time Division Multiple Access.</i>
<i>UHF</i>	frequência muito alta, do inglês <i>Ultra High Frequency.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

\vec{E}	Vetor campo elétrico V/m .
\vec{H}	Vetor campo magnético A/m^2 .
$\nabla \times \vec{E}$	Rotacional do vetor campo elétrico.
$\nabla \times \vec{H}$	Rotacional do vetor campo magnético.
\vec{D}	Densidade do fluxo elétrico C/m^2 .
\vec{B}	Densidade do fluxo magnético <i>Tesla</i> .
$\nabla \cdot A$	Divergente da função vetorial.
c	Velocidade da luz m/s .
ω	Frequência angular em rad/s .
ρ_v	Densidade volumétrica de massa kg/m^3 .
\vec{J}	Vetor densidade de corrente A/m^2 .
ϵ_0	Permissividade elétrica do espaço livre F/m .
ϵ_r	Permissividade relativa do meio F/m .
ϵ	Permissividade elétrica.
μ_0	Permeabilidade magnética do espaço livre H/m .
μ	Permeabilidade magnética do meio.
σ	Condutividade do tecido S/m .
D	Comprimento máximo da antena m .
λ	Comprimento de onda m .
γ	Fator de propagação m^{-1} .
α	Constante de atenuação em Np/m .
β	Fator de fase em rad/m .
V	Volume limitado por uma superfície m^3 .
\vec{S}	Densidade de potência W/m^2 .
P_a	Potência absorvida pelo tecido W .
δ	Profundidade de penetração.
d	Distância da fonte até o ponto de medição m .
$E_{máx}$	Amplitude de pico do campo elétrico V/m .
$H_{máx}$	Amplitude de pico do campo magnético A/m .

E_{ef}	Valor <i>rms</i> do campo elétrico.
H_{ef}	Valor <i>rms</i> do campo magnético.
∂t	Variação do tempo s .
η_1	Impedância intrínseca do meio 1.
η_2	Impedância intrínseca do meio 2.
η_0	Impedância intrínseca do espaço livre.
ρ_{12}	Coefficiente de reflexão entre as interfaces 1 e 2 .
τ_{12}	Coefficiente de transmissão entre os meios 1 e 2 .
Z_{l_n}	Impedância de carga do meio considerado .
η_n	Impedância característica do meio em questão.
f	Frequência Hz .
n	Número de iterações.
\vec{E}_0	Amplitude do campo elétrico.
\vec{H}_0	Amplitude do campo magnético.
E_f	Energia do fóton $J.s$.
$f(\theta, \phi)$	Diagrama do campo elétrico da antena.
d'	Imagem da distância da antena de transmissão ao ponto de medida.
$F(\theta, \phi)$	Diagrama de potência da antena.
L_c	Perda nos cabos e conectores.
G_T	Ganho da antena transmissora.
P_L	Perda no percurso.
P_r	Nível do sinal recebido no analisador de espectro.
A_{ef}	Área efetiva da antena.
S_{eq}	Densidade equivalente.
P_T	Potência transmitida pela antena transmissora.
P_R	Potência de recepção.
d	Distância geométrica entre a antena transmissora e a receptora.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – <i>Classificação dos meios.</i>	17
Tabela 2.2 – <i>Lista de siglas da Figura 2.7</i>	29
Tabela 3.1 – <i>Restrições básicas de SAR.</i>	47
Tabela 3.2 – <i>Níveis de referência ocupacional.</i>	49
Tabela 3.3 – <i>Níveis de referência para o público em geral.</i>	49
Tabela 3.4 – <i>Restrições básicas de vários países.</i>	50
Tabela 3.5 – <i>Distância mínima à antena, para exposição do público em geral.</i>	54
Tabela 5.1 – <i>Valores de campo elétrico.</i>	69
Tabela 5.2 – <i>Valores da densidade de potência.</i>	69
Tabela 5.3 – <i>Localização dos pontos ERB cruzeiro.</i>	73
Tabela 5.4 – <i>Dados da ERB do cruzeiro.</i>	74
Tabela 5.5 – <i>Cálculos a partir dos valores estimados.</i>	74
Tabela 5.6 – <i>Cálculos teóricos.</i>	74
Tabela 5.7 – <i>Resultados de medidas nos pontos.</i>	
Tabela 5.8 – <i>Resultados dos níveis de sinais medidos.</i>	76
Tabela 5.9 – <i>Localização dos pontos da ERB esplanada.</i>	78
Tabela 5.10 – <i>Resultados dos cálculos teóricos.</i>	80
Tabela 5.11 – <i>Valores calculados a partir das medidas.</i>	81
Tabela 5.12 – <i>Dados da posição da ERB chácara do castelo.</i>	82
Tabela 5.13 – <i>Dados de tráfego</i>	91
Tabela 6.1 – <i>Propriedades dos tecidos do modelo</i>	95
Tabela 6.2 – <i>Espessuras das camadas para primeira simulação.</i>	95
Tabela 6.3 – <i>Resultados da primeira simulação.</i>	98
Tabela 6.4 – <i>Espessura para segunda simulação.</i>	99
Tabela 6.5 – <i>Resultado da segunda simulação.</i>	102
Tabela 6.6 – <i>Propriedades do modelo da terceira simulação.</i>	103
Tabela B.1 – <i>Características da ERB selecionada e distâncias adotadas.</i>	105
Tabela B.2 – <i>Resultados dos cálculos.</i>	117
Tabela B.3 – <i>Densidade de potência e intensidade de campo.</i>	117

RESUMO

Scudeler, F. C. S. R., *Interação das Ondas Eletromagnéticas com o Material Biológico*. Santa Rita do Sapucaí. 2005. INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações.

Com o avanço das tecnologias de Telecomunicações, a interação entre povos, tecnologia e máquinas, torna-se muito ativa e eficaz, trazendo como resultado final uma única comunidade global. Essa nova tecnologia que é muito usada atualmente, torna-se uma parte integrante essencial da nossa vida, ela deve ser entendida assim como absorvida pela sociedade, de tal modo que as pessoas possam adquirir a informação de como usufruir dos seus benefícios, e em conseqüência aprender a conviver com os efeitos negativos, que são certamente uma prioridade menor.

Esta dissertação apresenta uma análise teórica e numérica sobre o comportamento de uma onda incidente sobre o corpo humano. Levando em consideração as constantes dielétricas de algumas partes essenciais do corpo humano, que permitem representar os seres vivos, são calculados os valores induzidos do campo elétrico assim como a taxa de absorção específica no corpo.

Neste trabalho leva-se em consideração o sistema de comunicação utilizado na faixa de frequência adotado para os sistemas móvel atuais e nós fazemos algumas comparações com as normas internacionais adotadas pela *ANATEL*, assim como uma vasta literatura nesta área de pesquisa. A abordagem aqui apresentada considera os efeitos térmicos e não térmicos das radiações, tendo em vista medidas reais de níveis de radiações a fim de constatar a conformidade dos limites atingidos com as normas que deveriam ser cumpridas no nosso País.

Palavras Chave: Telecomunicações, sistema móvel celular, meio ambiente, radiações não-ionizantes, seres vivos, Amplitude do sinal.

ABSTRACT

Scudeler, F. C. S. R., Interaction of the Electromagnetic Waves with the Biological Material. Santa Rita do Sapucaí. 2005. INATEL - National Institute of Telecommunications.

With the advance of the Telecommunications, the interaction between peoples, technology and machines, becomes very active, imperative and efficient, bringing as the final result one alone global community. This new technology that is very useful actually, becomes an essential integrant part of our life, it must to be understood as well as absorbed by the society, so that the persons can acquire the information how to usufruct of its benefits and in consequence learn to coexist with the negatives effects, that are certainly one minor priority.

This dissertation presents a theoretical and numerical analysis on the performance of an incident wave over the human body. By taking into account the dielectric constants of some main parties of the body, that permit to represent a living being, are estimated the induced values of the electrical field as well as the specific absorption rate of the body.

In this work is taken into consideration the communication systems used in the bandwidth of frequency adopted for the current mobile devices, and we make some comparisons with the international standards proposed by the *ANATEL*, as well as for a vast literature in this field of research. The approach presented here consider both thermal and non thermal effects due to the radiations, which study is complemented with real levels of measurements of radiations in order to check the conformity of the reached limits with the norms that would be accomplished in our Country.

Words Key: Telecommunications, cellular mobile system, environment, not ionizing radiations, beings livings, amplitude of the signal.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – DISCUSSÃO PRELIMINAR

Com a evolução da tecnologia e o uso constante da eletricidade os seres vivos passaram a ser submetidos às várias fontes de radiações eletromagnéticas, criadas pelo homem. Os seres vivos sofrem as influências desses campos, uma vez que todo estímulo externo gera reações internas. Portanto, é importante compreendermos que nossos sentidos atuam como sensores do corpo. Todas as informações externas são captadas e enviadas para o cérebro através de impulsos nervosos, sendo possível sofrer mudanças em seus ritmos normais por interferências de ondas externas oriundas de *Campos Eletromagnéticos de Rádio-Frequência – CEMRF*.

Nos últimos anos, com o crescimento acelerado das comunicações móveis, implicando num aumento vertiginoso das estações rádio-base por toda zona urbana e rural, tem despertado na comunidade dúvidas sobre as conseqüências que os seres humanos podem eventualmente sofrer, quando expostos aos campos eletromagnéticos gerados pela dupla *ERB/aparelho*¹. Este temor é tanto mais assustador quanto menos uniformes são as opiniões apresentadas pelos meios de informação dando ao consumidor uma sensação de insegurança e falta de dados concretos². Este trabalho pretende dar uma contribuição para um melhor entendimento sobre a situação.

1.2 – HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS COMUNICAÇÕES VIA RÁDIO

Em 1864, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, estabeleceu a formulação matemática das leis da eletricidade e do magnetismo. Segundo Maxwell, a eletricidade e o magnetismo estavam intimamente relacionados, e usando um

conjunto de equações deduziu matematicamente a existência das ondas eletromagnéticas. Essas ondas estariam estreitamente ligadas aos fenômenos luminosos e deveriam propagar-se no espaço com a mesma velocidade da luz³.

Em 1880, Heinrich R Hertz demonstrou ser possível enviar e receber informações, através do espaço livre, utilizando radiação eletromagnética.

Final do século XIX M. Guglielmo Marconi, cientista italiano, estabeleceu um enlace de 18 milhas entre uma estação em terra e um rebocador. A utilização do serviço de rádio-móvel foi reconhecido pelos serviços públicos (departamento de polícia e bombeiros, guarda florestal e serviços governamentais em geral). Outro fato atribuído a Marconi foi à introdução do termo rádio, que vem da possibilidade de se provocar eventos a longa distância como era verificado no fenômeno da radiação.

Em 1897, Marconi recebeu a patente de um sistema telegráfico sem fio, que seria muito utilizado em comunicação na navegação marítima provando a praticidade nas comunicações sem fio⁴. Os estudos em relação a estas transmissões foram evoluindo e, aperfeiçoando-se durante décadas, novas tecnologia desenvolvidas, descobertas inovadoras se tornaram emergentes, enfim, através de meios eletrônicos, a humanidade pode-se comunicar melhor. É importante ressaltar que esta tecnologia utilizando o emprego das ondas eletromagnética no espaço causou grande impacto no mercado incipiente das comunicações³.

Os comportamentos das radiações em geral podem ser explicados, através de um modelo ondulatório com a propagação de onda eletromagnética propagando no espaço com a velocidade da luz⁵.

Com o desenvolvimento da tecnologia dos sistemas móveis, utilizando ondas eletromagnéticas a humanidade teve seu poder de comunicação ampliado significativamente^{6, 7}. Essa tecnologia, passou a ser essencial a sociedade, fazendo parte da vida dos seus habitantes. No Brasil a implantação do sistema móvel foi em 1993 e as estatísticas atuais comprovam que hoje já ultrapassam 79 milhões de unidades móveis monitoradas por um total de 30.000 *ERB*'s instaladas em diversas partes do nosso País.

1.3 – DESTAQUES RELEVANTES

A tendência crescente nos últimos anos do uso intensivo de dispositivo de comunicação móvel e das tecnologias sempre inovadoras atreladas a estes sistemas é algo que não podemos palpar os limites intrínsecos de crescimento. A provisão de serviços de dados por meio de redes de acesso sem fio deverá se constituir como um mercado em crescente evolução.

A Figura 1.1 mostra o crescimento de assinantes de telefones celulares entre 1993 a maio de 2005, enquanto que a Figura 1.2 o crescimento de *ERB's*, no Brasil, que atende a demanda das estações móveis, neste período⁸.

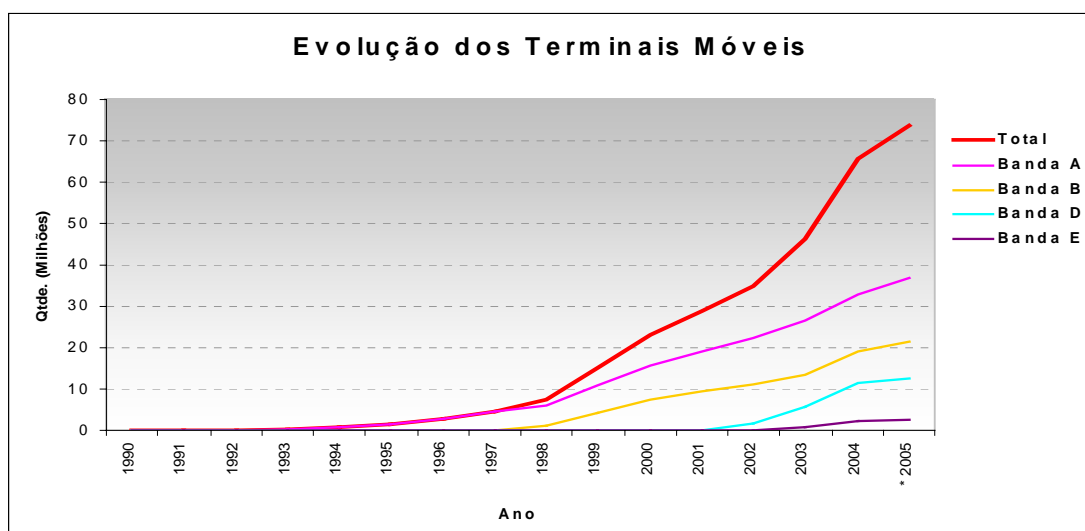


Figura 1.1 – Evolução dos terminais móveis.

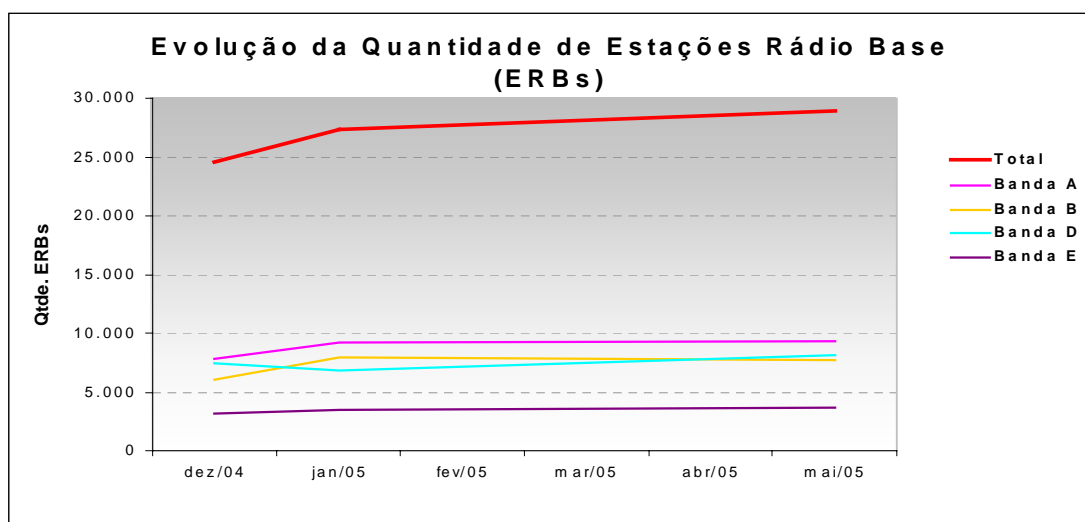


Figura 1.2 – Evolução de ERB's.

1.3.1 – SISTEMA CELULAR

O sistema de telefonia móvel celular é uma extensão da rede telefônica fixa, cujo objetivo é permitir que um assinante móvel acesse qualquer telefone da rede fixa e móvel, através da utilização de uma interface aérea via rádio bi-direcional entre a estação móvel e a estação rádio base, através de ondas eletromagnéticas^{9, 10}. Estes dois elementos são controlados pelas centrais de comutação, proporcionando a comunicação intra e entre sistemas celulares e com a rede fixa.

Nesta dissertação, nós iremos concentrar os nossos estudos no impacto sobre o meio ambiente e a saúde da população, oriundo das *radiações não-ionizantes – RNI*, na faixa de frequência de operação dos sistemas móveis.

1.4 – IMPORTÂNCIA DO TEMA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O tema proposto vem se constituindo em uma área de pesquisa de grande interesse que tem uma intrínseca relação com setores da medicina e da biologia. Isto se deve á proliferação acelerada de fontes geradoras de energia eletromagnética, nos locais passíveis de ocupação humana, nos locais de trabalho e no meio ambiente em geral. A radiação eletromagnética é uma forma de poluição invisível e não se tem a certeza, até o presente momento, de que os limites das diretrizes internacionais existentes sejam totalmente seguros^{11, 12, 13}.

O estudo dos efeitos biológicos provenientes das radiações das ondas eletromagnéticas vem impulsionando a comunidade científica a intensificar suas pesquisas pelo crescimento acelerado da comunicação móvel e implantações de *ERB's* em locais de alta densidade demográfica. Há de se acrescentar que muitas vezes as *ERB's* vêm sendo instaladas muito próximas umas das outras, em regime compartilhado ou não, produzindo uma radiação total no ambiente que pode superar os limites de aceitação humana¹⁴. Considerando, portanto, as incertezas em torno dos efeitos biológicos da exposição à radiação, muitos países vêm adotando diretrizes e padrões de exposição levando em conta o *Princípio da Precaução*. O Brasil é signatário do *Princípio de Precaução* aprovado na segunda Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento que ficou conhecida como *ECO- 92*^{2,5, 11}.

Os resultados de medições dos campos eletromagnéticos externos de radio-freqüência e microondas são informações fundamentais para a avaliação de riscos à saúde das pessoas expostas ou ao público em geral¹⁵.

1.5 – OBJETIVO DESTE TRABALHO

O objetivo do trabalho é apresentar uma descrição dos principais conceitos teóricos relacionados com radiação dos campos eletromagnéticos. Este estudo será acompanhado de uma análise dos resultados de medidas de *campos eletromagnéticos* – *CEM* em algumas *ERB's*, escolhidas aleatoriamente, levando em conta as diretrizes de proteção das radiações eletromagnéticas adotadas por organizações mundiais, considerando os limites de segurança preestabelecidos quanto à exposição humana às radiações não-ionizantes.

Serão apresentados dois itens importantes. Primeiro as principais características de medição dos campos eletromagnéticos em freqüência de microondas e radiofreqüência. São também descritas as metodologias que vêm sendo adotadas para realização de medições. O estudo é completado com simulações do comportamento do campo elétrico induzido em um material biológico proposto, bem como a taxa de absorção específica desse tecido. Este último parâmetro constitui uma importante ferramenta para esclarecimento do comportamento de uma onda plana propagando no espaço, oriunda de fontes artificiais e que possam interagir com um material biológico.

1.6 – CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está organizado em sete capítulos, três apêndices e cinco anexos com os requisitos necessários e usados em uma comunicação efetuada no espaço livre e a interação dessas ondas com o material biológico. No primeiro capítulo é apresentados um resumo do histórico da telefonia, os propósitos essenciais e as suas contribuições, bem como a organização da dissertação.

No capítulo 2 são apresentados os principais conceitos teóricos da teoria eletromagnética necessários para compreensão da propagação de uma onda, a

classificação das radiações envolvidas em um sistema de comunicação móvel e sua interação com o tecido biológico.

No capítulo 3 é abordado um resumo das principais normas de proteção existentes e a medida dosimétrica adotada pelos órgãos governamentais ou não-governamentais para a exposição dos seres humanos às radiações não-ionizantes.

O capítulo 4 traz uma apresentação do estado da arte nas pesquisas, evidenciando algumas descobertas científicas sobre efeitos biológicos induzidos por *CEM*.

O capítulo 5 apresenta uma síntese das medidas em campo realizada com empresas operadoras distintas, sendo efetuada uma comparação entre os valores teóricos e os medidos, confrontando com os recomendados pelas normas em vigor.

O capítulo 6 apresenta um tratamento numérico que pode ser adotado na análise do tipo de interferência eletromagnética discutido nesta dissertação. Todos os programas elaborados foram elaborados na plataforma do *Matlab* para o modelo estratificado de partes do corpo humano. Estaremos admitindo que o corpo humano fique submetido a uma onda plana, linearmente polarizada, propagando no espaço livre onde é feito o estudo da incidência da onda sobre o material biológico.

Finalmente, o capítulo 7 é dedicado a comentários, conclusões e propostas de pesquisas futuras referentes ao tema abordado nesta dissertação.

A parte final é constituída de apêndices e anexos onde procuramos destacar as informações teóricas complementares às citações, programas de computação desenvolvidos e alguns dados fornecidos pelas empresas que auxiliaram na elaboração dos dados experimentais destacados. Assim sendo, cabe evidenciar:

O apêndice *A* fornece métodos para estimar os níveis de densidade de potência e intensidade de campo elétrico no capítulo 5. No apêndice *B* comparecem os métodos adotados para o cálculo da densidade de potência na *ERB* do Morro do Cruzeiro. O apêndice *C*, trata da mesma abordagem anterior para o caso da *ERB* da Esplanada.

No anexo I são apresentadas as características da estação Rádio-Base da Telemig Celular, situada em Belo Horizonte, MG. No anexo II, as mesmas características são apresentadas para a *ERB* da mesma empresa operadora, situada em Santa Rita do Sapucaí, MG. O anexo III evidencia as características da *ERB* da

operadora Telemig Celular, situada em Pouso Alegre, MG. Já o anexo IV mostra as mesmas características da *ERB* Chácara do Castelo, da operadora Vivo, situada em São Paulo, SP. O Anexo V traz alguns programas que foram elaborados e usados para as simulações citadas no capítulo 6.

1.7 – CONTRIBUIÇÃO DESEJADA

Espera-se que este trabalho possa atingir alguns propósitos essenciais que redundem em esclarecimento para a comunidade acadêmica e para a sociedade no tocante ao tema. Cabe enfatizar alguns pontos primordiais que pretendemos abordar, sendo eles:

- Esclarecimento de algumas dúvidas sobre as radiações provenientes do sistema celular.
- Incentivo para futuras pesquisas tecnológicas das antenas usadas neste tipo de sistema, visando obtenção de uma maior diretividade e sempre que possível, esta esteja localizada no lado oposto da cabeça.
- Nortear os municípios sobre monitoramento constante dos níveis de radiação eletromagnéticos, por meio de medições periódicas, em ambientes públicos e privados, que permitam auferir continuamente o nível de intensidade de radiação que está submetida à população em geral.
- Utilizar o *Princípio da Precaução*, pelo menos enquanto não se tem uma resposta conclusiva das diretrizes governamentais.
- Sugerir que as empresas possam gerar através dos seus departamentos de projetos o desenvolvimento de protótipos de comunicação e que minimizem as interações danosas ao ser vivo.
- Sugerir novas pesquisas concentradas em um estudo mais abrangente das características biológicas reais dos tecidos vivos para cada frequência desejada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DIAS, M. H. C.; SIQUEIRA, G. L. Considerações sobre os efeitos à saúde humana da irradiação emitida por antenas de estações rádio-base de sistemas celulares. Revista de Telecomunicações - INATEL, Santa Rita do Sapucaí, v. 5, n. 1, p. 41-54, jul. 2002.
- [2] DOTE, A. C. Exposição ambiental a campos eletromagnéticos. Revista Ecologia Integral, Belo Horizonte, v. 3, n. 14, p. 10-11, maio 2003.
- [3] RIBEIRO, J. A. J. *Propagação de ondas eletromagnéticas: Princípios e aplicações*. São Paulo: Érica, 2004.
- [4] *Brief History of wireless communications*. Disponível em <<http://www.wireless.ece.ufl.edu/>>. Acesso em: 18 fev.2005.
- [5] SENISE, J. T. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos de rádio frequências e microondas. In: Workshop Nacional, 1, 2001, São Paulo: USP, mar. 2001.
- [6] DOTE, A. C. Poluição ambiental e exposição humana a campos eletromagnéticos. 2003, 175 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos Hídricos), escola de Engenharia, UFMG, 2003.
- [7] SILVA, R. C. *Física das Radiações*, Salvador: Ed.Érica, 2003.
- [8] ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em <www.anatel.gov.br>. Acesso em: 08 mar. 2004.
- [9] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications – principles and practice*. 2 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- [10] COLLIN, E. R. *Antennas and Radiowave Propagation*. Singapore: McGraw-Hill, 1985.
- [11] MOULDER, J. Powerlins and Cancer FAQs. Disponível em <www.mcv.edu/gers>. Acesso em: 03 abr. 2004.

-
- [12] SALLES, A .A. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos.In: Seminário Nacional sobre RNI, 1º, 2002. Salvador, dez. 2002.
- [13] SIMÕES, M., Radiações celular – O Perigo Real. Revista Nacional de Telecomunicações, ano 20, n. 233, p. 10-14, jan. 1999.
- [14] ALWIN, E. Radiações não-ionizantes: Conceitos, riscos e normas. Disponível em < www.pro-rad.com.br>. Acesso em: jan. 2003.
- [15] WHO/OMS Organização Mundial da Saúde. Disponível em < www.who.int/>. Acessado em: ago. 2004.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA INTERAÇÃO DAS ONDAS PROVENIENTES DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

2.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo será feita uma breve apresentação dos conceitos principais que envolvem a propagação em um sistema de comunicação móvel, para subsidiar o entendimento da interação de ondas eletromagnéticas oriundas de fontes artificiais, incidentes com o material biológico.

O fenômeno da radiação consiste em transferir ao espaço a energia eletromagnética de um transmissor através de um sistema de antenas. Faremos uma apresentação da forma como os campos eletromagnéticos são regidos por equações da onda. A onda de rádio propagando a grande distância do transmissor tem um comportamento aproximado ao das ondas planas, de modo que um bom entendimento desse tipo de propagação constitui os alicerces teóricos dos fenômenos ondulatórios.

Os comportamentos das radiações podem ser enfocados por^{1,2}:

□ **Propagação por ondas no espaço – Modelo Ondulatório**

Este tipo de propagação constitui a base da radiotransmissão para grandes distâncias, dispensando o uso de fios entre os pontos de transmissão e recepção. Elas são geradas por processos eletrônicos e emitidos a partir de uma antena que é o dispositivo de radiação mais comum^{3, 4}.

□ **Modelo Corpuscular**

Neste caso, a onda eletromagnética pode ser vista como um pacote de energia em movimento, deslocando-se com a velocidade da onda eletromagnética no meio. A

quantidade de energia de uma radiação eletromagnética é sempre múltipla de um valor fundamental denominado *quantum*. Segundo a lei de Planck^a, o *quantum* de energia é diretamente proporcional à frequência da radiação eletromagnética^{5, 6}.

2.2 – MODELO ONDULATÓRIO

Em 1864, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) estruturou um conjunto de equações que governam a propagação de uma onda eletromagnética em um meio dielétrico, reunindo trabalhos científicos de grandes físicos do século XIX, tais como Coulomb^b, Ampère^c, Faraday^d e outros, as quais sintetizam todos os conhecimentos sobre o eletromagnetismo^{6, 7, 8}.

Os campos vetoriais de Maxwell são governados pelas equações:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

onde \vec{E} é o vetor campo elétrico (V/m); \vec{H} é o vetor campo magnético (A/m); ρ é a densidade volumétrica de carga (C/m^3). Para completar esse grupo de equações adicionam-se as relações constitutivas^{4, 5, 9}:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.5)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.6)$$

^a Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858- 1947), físico alemão.

^b Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), cientista francês.

^c André Marie Ampère (1775-1836), físico francês.

^d Michael Faraday (1791-1867), físico e químico britânico.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.7)$$

sendo ϵ , μ , σ a permissividade elétrica do meio em F/m , a permeabilidade do meio em H/m e a condutividade do meio em S/m . Pode-se concluir da teoria das equações de Maxwell que são válidas as observações^{9, 10, 11}:

- **Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético.**
- **Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico**

Logo, a excitação de um condutor qualquer por uma corrente variável no tempo, resulta no surgimento de dois campos elétrico e magnético que se induzem mutuamente. Estes campos escapam do condutor para o espaço, e a sua radiação se dá sob a forma de uma *onda eletromagnética*¹².

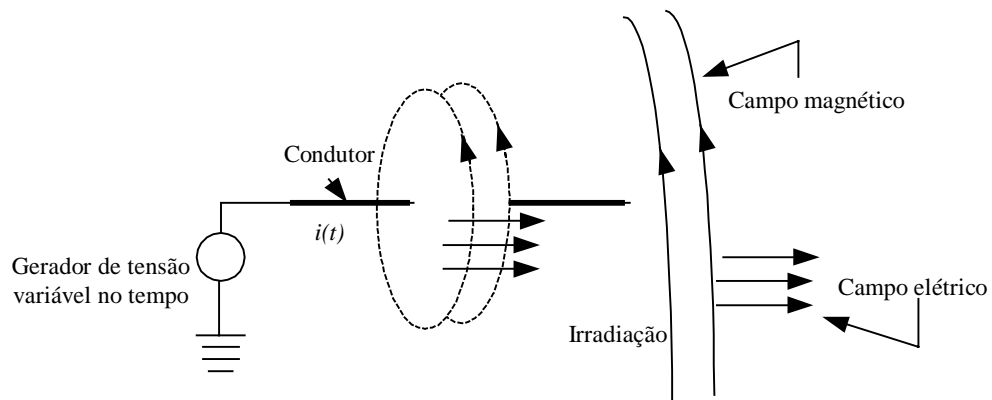


Figura 2.1 – Princípio de irradiação da onda eletromagnética a partir de um condutor conduzindo corrente variável no tempo.

As grandezas eletromagnéticas harmônicas no tempo, representadas pelas equações anteriores podem ser expressas na forma fasorial como:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\mu\omega \vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = (\sigma + j\omega\epsilon) \vec{E} \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.11)$$

Considerando uma onda propagando-se num meio com condutividade σ , permeabilidade μ e permissividade ε , da equação de Helmholtz^e podemos escrever as equações para campos harmônicos no tempo por^{3, 4, 5, 9,}

$$\nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = 0 \quad (2.12)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \gamma^2 \vec{H} = 0 \quad (2.13)$$

sendo γ denominado de constante de propagação do meio e vale:

$$\gamma^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon) \quad (2.14)$$

As soluções das equações (2.12) e (2.13) têm como resultados para o campo elétrico e magnético:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{\pm j\vec{\gamma} \cdot \vec{r}} \quad (2.15)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 e^{\pm j\vec{\gamma} \cdot \vec{r}} \quad (2.16)$$

sendo \vec{E}_0 e \vec{H}_0 amplitude do campo elétrico na origem, \vec{r} é o vetor posição do ponto no espaço onde se deseja determinar o campo e o $\vec{\gamma}$ é o vetor que determina a direção de deslocamento do campo eletromagnético. Para que esses campos satisfaçam as equações de onda, deve-se ter:

$$\vec{\gamma} = \gamma \hat{\gamma} \quad (2.17)$$

onde $\hat{\gamma}$ é o valor unitário da direção de $\vec{\gamma}$ e a grandeza escalar é citada na Eq. (2.14).

^e Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz (1821–1894), físico e fisiologista alemão.

2.3 – IMPEDÂNCIA DE ONDA E IMPEDÂNCIA INTRÍNSECA DO MEIO

Para a variação harmônica no tempo, a relação entre o campo elétrico e o campo magnético define uma grandeza representada por⁵:

$$\eta = \frac{j\omega\mu}{\gamma} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} \quad (2.18)$$

onde η é a impedância de onda medida em ohms Ω , $\mu = \mu_r + \mu_0$ e $\varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_0$

No caso da propagação se dar no espaço livre assumindo os parâmetros relativos μ_r e ε_r unitários, a expressão (2.18) conduz a impedância intrínseca do espaço livre, dada por:

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi \quad (2.19)$$

2.3.1 – CAMPO DISTANTE E CAMPO PRÓXIMO

2.3.1.1 – REGIÃO DE CAMPO PRÓXIMO

Região de campo próximo é uma região no espaço localizado próximo de uma antena, na qual os campos elétrico e magnético não têm uma característica fundamental de onda plana, mas variam consideravelmente de um ponto a outro ponto. Esta região do campo próximo da antena é conhecida na literatura como região de indução. A medida em que a onda se afasta da fonte, a energia fica igualmente dividida entre os campos elétrico e magnético para o meio sem perdas³.

2.3.1.2 – REGIÃO DE CAMPO DISTANTE

Na condição de campo distante, os campos elétrico e magnético estão em fase e o quociente entre o campo elétrico e magnético nos dá a impedância intrínseca do meio. Os campos estão perpendiculares entre si e transversais à direção de propagação da onda, sendo esta uma característica da onda plana. Para esta região

conhecida como campo de radiação a distância que define se o ponto de medição está distante da fonte é função do comprimento de onda e da máxima dimensão da antena^{3,5}. Esta distância d é expressa por:

$$d \geq 2L^2 / \lambda \quad (2.20)$$

onde L é a máxima dimensão da antena.

A título de exemplo a Figura 2.2 está representando o fluxo de energia em regiões próximas e distantes de um dipolo curto. Neste trabalho, será feita uma análise teórica dos efeitos de campos próximo e distante, assim como serão apresentadas algumas medidas experimentais realizadas em campo^{3,8}.

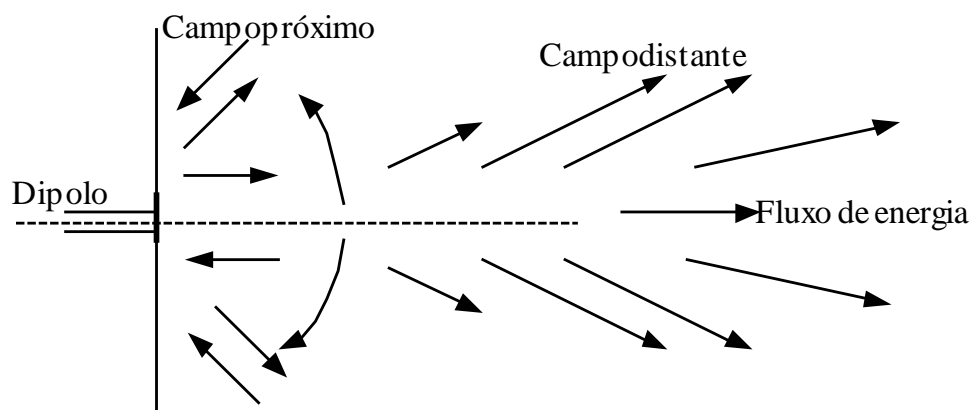


Figura 2.2 – Campos próximo e campos distantes.

2.3.2 – TRANSMISSÃO DE SINAIS NA FORMA DE RADIAÇÃO

Para transmitir e receber sinais usam-se antenas. Segundo a definição oficial, a antena é um elemento empregado para a radiação ou a recepção das ondas eletromagnéticas^{12, 13}. A interdependência entre os campos elétrico e magnético por uma onda eletromagnética que se propaga através do espaço com uma velocidade igual a da luz, pode ser representada através da Figura 2.3^{10, 11, 12, 14}. Na região de

campo distante o campo elétrico \vec{E} é normal ao vetor de propagação $\vec{\gamma}$ e ao campo magnético \vec{H} . Pode-se mostrar analogamente, que \vec{H} é normal a $\vec{\gamma}$ vetor de

propagação. Como os campos elétrico e magnético são normais à direção de propagação logo, são ondas perpendiculares em todo o instante de tempo^{7, 11}. Uma onda desse tipo é dita puramente transversal e usualmente designada por *Onda Eletromagnética Transversais TEM*^{8, 15}.

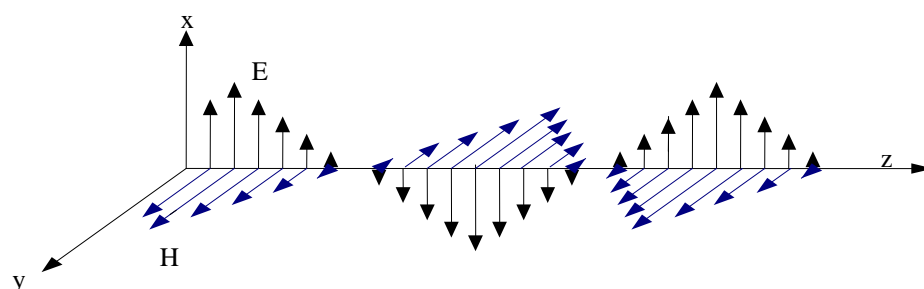


Figura 2.3 – Propagação da onda na direção z.

2.3.3 – VETOR DE POYNTING

O valor da densidade de energia do campo eletromagnético está associado às amplitudes do campo elétrico e magnético^{5, 8}. Nos estudos envolvendo problemas de propagação, procura-se determinar como a energia é distribuída no espaço, calculando as densidades associadas ao campo elétrico, ao campo magnético e à potência real no meio⁹. Pode-se encontrar a densidade de energia em cada ponto, calculando-se estes valores por unidade de volume, para variações infinitesimais de volume. De acordo com o teorema de *Poynting*, se S é uma superfície arbitrária fechada e V é o volume limitado por S , então as Eq. (2.1) e (2.2) de Maxwell permitem determinar uma expressão que identifica a forma como a energia do campo eletromagnético relaciona-se com as diversas grandezas envolvidas⁹. Se a condutividade do meio for diferente de zero, a presença do campo implica no estabelecimento de uma corrente elétrica, resultante do movimento ordenado de cargas. Portanto, deve-se levar em conta o efeito *joule*, considerando que a energia depende apenas da frequência, conclui-se que na teoria quântica a potência está associada ao número de quanta em movimento por unidade de tempo. Tomando os

vetores \vec{E} e $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ como os valores instantâneos da intensidade de campo elétrico e da densidade de corrente de condução no meio, multiplica-se (2.1) escalarmente

pelo campo magnético e (2.2) escalarmente pelo campo elétrico. Em seguida, subtraem-se as duas expressões assim obtidas e chega-se a:⁶

$$\vec{H} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{E} - \vec{E} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{H} = -\vec{H} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \vec{E} \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} - \vec{E} \cdot \vec{J} \quad (2.21)$$

na qual o primeiro membro corresponde à expansão

$$-\vec{\nabla} \cdot \left[\vec{E} \times \vec{H} \right] = \vec{H} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{E} \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{E} \cdot \vec{J} \quad (2.22)$$

Substituindo as Eq. (2.5), (2.6) e (2.7) em (2.22) e aplicando as regras da derivada a equação fica na forma:

$$-\vec{\nabla} \cdot \left[\vec{E} \times \vec{H} \right] = + \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \left(E^2 \varepsilon + \mu H^2 \right) - \sigma E^2 \quad (2.23)$$

onde o primeiro termo a direita é a derivada temporal da soma das densidades de energia elétrica e magnética, enquanto que o segundo termo é o oposto da taxa de aquecimento por unidade de volume^{8,9}. Integrando Eq. (2.23), sobre um volume fixo V , limitado pela superfície S , obtemos:

$$-\int_V \vec{\nabla} \cdot \left(\vec{E} \times \vec{H} \right) dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{1}{2} \left(E^2 \varepsilon + \mu H^2 \right) dV + \int_V \sigma E^2 dV \quad (2.24)$$

A Eq. (2.24) expressa a conservação da energia local, num ponto⁹. Aplicando o teorema de divergência no termo do lado esquerdo de (2.24) obtemos:

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \left(\vec{E} \times \vec{H} \right) dV = \oint_S \vec{E} \times \vec{H} \cdot \vec{dS} \quad (2.25)$$

Deste modo podemos reescrever a Eq. (2.24), na forma:

$$\oint_S \left(\vec{E} \times \vec{H} \right) \cdot \hat{n} dS = -\frac{\partial}{\partial t} \int_V \left(\frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu H^2 \right) dV - \int_V \sigma E^2 dV \quad (2.26)$$

A Eq. (2.26) expressa a conservação da energia. Podemos notar que o termo direito é composto de duas partes: a taxa de variação da energia eletromagnética armazenada no volume e uma densidade de potência ôhmica. E o termo a esquerda representa o fluxo de energia que sai através da superfície envolvente⁷. O produto vetorial $\vec{E} \times \vec{H}$ é o vetor de *Poynting*, sendo definido como o fluxo da energia local por unidade de área. Ele pode ser interpretado como a densidade de potência instantânea S , e cuja unidade é W/m^2 ^{6, 8}. Se a amplitude dos campos for dimensionada em valores eficazes a amplitude do vetor de *Poynting* para uma onda plana harmônicas no tempo no espaço livre é dada pela expressão:

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = S = \eta_0 \cdot H^2 \quad (2.27)$$

cuja unidade é W/m^2 e η_0 é conhecida como a impedância intrínseca do meio. Pode-se calcular a densidade de potência em qualquer ponto distante da fonte de irradiação relacionando : o campo elétrico , o campo magnético e a impedância intrínseca do meio.

2.3.4 – PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA EM MEIOS DISTINTOS

O estudo se concentrará nos casos onde a incidência da onda se faz perpendicular a interface entre os meios. Os meios podem ser classificados de acordo com as suas características elétricas e magnéticas, como permissividade, permeabilidade e condutividade. Podendo ser dielétricos perfeitos, dielétricos com perdas, quase condutores, condutores. A classificação também depende da frequência da onda eletromagnética que se propaga no meio^{5, 8}. Um meio pode ser dielétrico para uma determinada faixa de frequência e condutora para outra.

Sabe-se pela lei de *Ampère* que, para campos variando harmonicamente no tempo, temos a Eq. (2.28).

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + j\omega\epsilon \vec{E} \quad (2.28)$$

onde o primeiro termo do lado direito da equação representa a densidade de corrente de condução do meio e o segundo a densidade de corrente de deslocamento. Se $\sigma = 0$, então o meio é dito perfeitamente dielétrico, podendo ser considerado sem perdas quando ϵ e μ forem números reais, ou com perdas quando ϵ e/ou μ assumir valores complexos. Em termos práticos, pode se classificar os meios pela Tabela 2.1⁶.

Tabela 2.1 – *Classificação dos meios.*

Condutores	$\frac{\sigma}{\omega\epsilon} > 100$
Quase condutores	$\frac{1}{100} < \frac{\sigma}{\omega\epsilon} < 100$
Dielétricos	$\frac{\sigma}{\omega\epsilon} < \frac{1}{100}$

2.3.4.1 – ONDA PLANA PROPAGANDO ENTRE DOIS MEIOS QUAISQUER

Vamos considerar uma onda eletromagnética linearmente polarizada, cuja fonte se encontra no meio 1 incidindo perpendicularmente a interface de separação dos meios, como mostra a Figura 2.4, separadas pelo plano $z = 0$. Nesta figura encontram-se representados os vetores dos campos eletromagnéticos das ondas incidente, refletida e transmitida. Observa-se que o vetor campo elétrico está alinhado na direção x e o magnético na direção y , sendo as ondas incidente e transmitida propagando no sentido z^+ enquanto a refletida faz o sentido inverso^{2,3,7}.

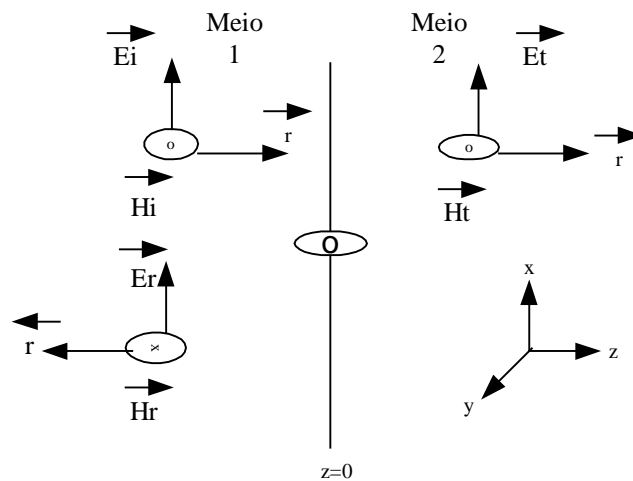


Figura 2.4 – Onda plana incidente normal à interface entre dois meios.

Sabe-se que na interface entre os meios, os campos eletromagnéticos têm que satisfazer algumas condições de contorno. Portanto, as condições de continuidade impostas na fronteira acarretam em³:

$$\vec{E}_{2t} = \vec{E}_{1t} \quad (2.29)$$

$$\hat{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{J}_s \quad (2.30)$$

Se não houver corrente na superfície de separação \vec{J}_s se anula e a equação (2.30) fica:

$$\vec{H}_{2t} = \vec{H}_{1t} \quad (2.31)$$

Portanto, as componentes tangenciais dos campos elétrico e magnético devem ser iguais nos dois lados de qualquer fronteira entre meios fisicamente reais.

No caso da incidência normal, todos os campos são tangenciais sendo que na fronteira $z = 0$ tem-se:

$$\vec{E}_i + \vec{E}_r = \vec{E}_t \quad (2.32)$$

$$\frac{1}{\eta_1} \vec{E}_i - \frac{1}{\eta_1} \vec{E}_r = \frac{1}{\eta_2} \vec{E}_t \quad (2.33)$$

onde E_i , E_r e E_t são os campos incidente, refletido e transmitido, η_1 e η_2 são as impedâncias do meio. Alguns parâmetros essenciais tais como os coeficientes de reflexão e transmissão serão introduzidos para facilitar a determinação da amplitude e fase das ondas refletida e transmitida, na transição pela interface entre meios dielétricos distintos^{3, 7, 8}.

Portanto, das Eqs. (2.32) e (2.33) tiramos a relação dos coeficientes de reflexão e de transmissão das interfaces entre os meios. Sendo o coeficiente de reflexão dado por:

$$\rho_{12} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.34)$$

e o coeficiente de transmissão por:

$$\tau_{12} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.35)$$

Logo o campo elétrico no meio 1 é dado por:

$$\vec{E}_1 = E_{0i} e^{-j\gamma_1 z} + E_{0r} e^{+j\gamma_1 z} \quad (2.36)$$

e o campo transmitido para o meio 2 por:

$$\vec{E}_2 = E_{0t} e^{-j\gamma_2 z} \quad (2.37)$$

onde E_1, E_2 representando os campos no meio 1 e meio2, E_{0i} , E_{0r} e E_{0t} são as amplitudes dos campos incidente, refletido e transmitido, γ_1 e γ_2 são os fatores de propagação do meio 1 e meio 2.

2.3.4.2 – MEIOS DIELÉTRICOS COM PERDAS

Os meios dielétricos com perdas possuem permissividade complexa, isto é,

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.38)$$

Neste caso,

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_c + \vec{J}_d \quad (2.39)$$

sendo $\vec{J}_c = \sigma \vec{E}$ corrente de condução e $\vec{J}_d = j\omega(\varepsilon' - j\varepsilon'')\vec{E}$ corrente de deslocamento³.

Portanto, a Eq. (2.36) pode ser reescrita por:

$$\nabla \times \vec{H} = (\sigma' + j\omega\varepsilon')\vec{E} \quad (2.40)$$

onde $\sigma' = \sigma + \omega\varepsilon''$ é chamada de condutividade equivalente do material.

2.3.4.3 – PROPAGAÇÃO EM TRÊS MEIOS DISTINTOS

Dentro dos propósitos deste trabalho é necessário conhecermos as impedâncias intrínsecas dos meios, as impedâncias de entrada e as impedâncias de carga. Analisando a situação apresentada na Figura 2.5 e considerando o meio quase condutor, a onda plana proveniente do meio 1, incide no meio 2, de espessura d , que por sua vez faz fronteira com o meio 3. Através da analogia com a teoria das linhas de transmissão podem-se deduzir as equações que regem a propagação no caso da incidência normal. Sabendo que a impedância de entrada de um meio é dada por^{3,7}:

$$Z_i = Z_0 \left[\frac{Z_L \cosh \gamma d + Z_0 \sinh \gamma d}{Z_0 \cosh \gamma d + Z_L \sinh \gamma d} \right] \quad (2.41)$$

onde:

Z_i = impedância de entrada do meio em questão, ex. meio 1

Z_L = impedância de carga para o meio considerado, ex. meio 2

Z_0 = impedância intrínseca do meio em consideração, ex. meio2

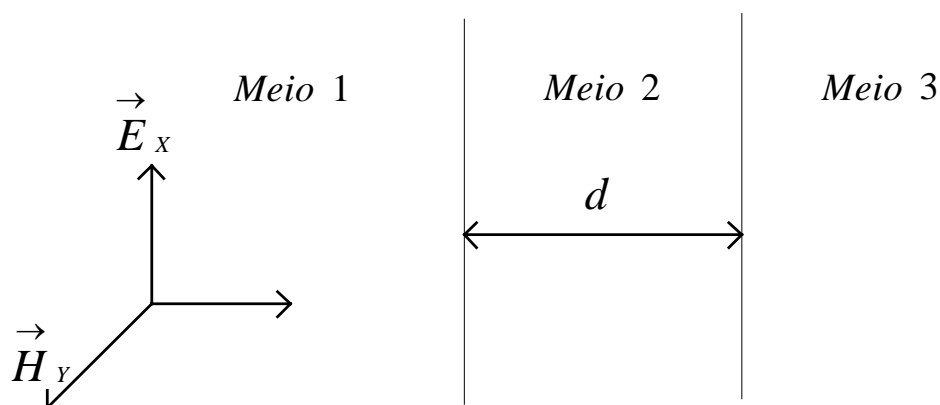


Figura 2.5 – Propagação em três meios distintos.

Aplicando esta fórmula para o caso em estudo, onde a impedância de entrada do meio 2, é a impedância de carga para o meio 1, resulta na Eq. (2.42):

$$Z_{i2} = Z_{L_1} = \eta_2 \left[\frac{\eta_3 \cosh \gamma_2 d + \eta_2 \sinh \gamma_2 d}{\eta_2 \cosh \gamma_2 d + \eta_3 \sinh \gamma_2 d} \right] \quad (2.42)$$

onde: $Z_L = \eta_3$ impedância de carga do meio 2,

$Z_0 = \eta_2$ impedância intrínseca do meio 2,

$Z_{i2} =$ impedância de entrada do meio 2,

$Z_{L_1} =$ impedância de carga do meio 1,

γ_1, γ_2 são os fatores de propagação do meio 1 e do meio 2.

Portanto, a onda que penetra no meio 2 pode ser calculada através dos coeficientes de transmissão e reflexão entre os meios^{2,3}.

Aplicando esta análise para o caso em estudo, onde a impedância de entrada do meio seguinte é a impedância de carga do meio anterior e assim sucessivamente, calcularemos todas as impedâncias envolvidas na transição das interfaces e podemos calcular os coeficientes de transmissão e reflexão entre os meios e conseqüentemente o campo elétrico nas interfaces. Tomando-se o plano $z=0$ temos³:

Campos propagando na direção z^+

$$E_n(z^+) = a_n e^{-j\gamma_n z} \quad (2.43)$$

$$H_n(z^+) = \frac{a_n}{\eta_n} e^{-j\gamma_n z} \quad (2.44)$$

Campos propagando na direção z^- por:

$$E_n(z^-) = b_n e^{j\gamma_n z} \quad (2.45)$$

$$H_n(z^-) = -\frac{b_n}{\eta_n} e^{j\gamma_n z} \quad (2.46)$$

Utilizando-se as relações de continuidade nas fronteiras, obtém-se que:

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 \quad (2.47)$$

$$a_1 - b_1 = -\frac{\eta_1}{\eta_2} (a_2 - b_2) \quad (2.48)$$

sendo a_1 , b_1 , a_2 , b_2 os campos incidente, refletido e transmitidos nos meios 1 e 2³.
Assumindo que a espessura do meio 2 é d , $z = d$, temos:

$$a_2 e^{-j\gamma_2 d} + b_2 e^{j\gamma_2 d} = a_3 e^{-j\gamma_3 d} \quad (2.49)$$

$$a_2 e^{-j\gamma_2 d} - b_2 e^{j\gamma_2 d} = -\frac{\eta_2}{\eta_3} e^{-j\gamma_3 d} \quad (2.50)$$

Para os cálculos dos coeficientes de reflexão e de transmissão nas interfaces dos meios levando em consideração $z = 0$, vem:

O coeficiente de reflexão na interface do meio 1 com o meio 2 é dado por:

$$\rho_{12}(0) = \frac{b_1}{a_1} = \frac{\eta_{eq} - \eta_1}{\eta_{eq} + \eta_1} = \frac{Z_{L1} - \eta_1}{Z_{L1} + \eta_1} \quad (2.51)$$

onde $\eta_{eq} = Z_{L1}$ é a impedância equivalente do meio 1 e 2 vista na interface $z = 0$, no sentido z^+ . Enquanto o coeficiente de reflexão na interface do meio 2 com 3 é dado por:

$$\rho_{23}(0) = \frac{\eta_3 - \eta_2}{\eta_3 + \eta_2} = \frac{Z_{L2} - \eta_2}{Z_{L2} + \eta_2} \quad (2.52)$$

onde Z_{L2} é a impedância de carga do meio 2 para 3 vista na interface $z = 0$ que é igual a impedância de entrada do meio 2 e η_3, η_2 são as impedâncias intrínsecas do meio 2 e 3 respectivamente.

Para o coeficiente de transmissão vem³:

$$\tau_{12}(0) = \frac{2Z_{L1}}{Z_{L1} + \eta_1} \quad (2.53)$$

$$\tau_{23}(0) = \frac{2Z_{L2}}{Z_{L2} + \eta_2} \quad (2.54)$$

Analisando a situação de forma análoga para $z = d$, temos para o coeficiente de reflexão:

$$\rho_{23}(d) = \frac{b_2 e^{j\gamma_2 d}}{a_2 e^{-j\gamma_2 d}} = \frac{b_2}{a_2} e^{2j\gamma_2 d} = \rho_2(0) e^{2j\gamma_2 d} \quad (2.55)$$

onde γ_2 é a constante de propagação do meio.

Sendo o coeficiente de transmissão dado por:

$$\tau_{23}(d) = 1 + \rho_{23}(d) = 1 + \frac{\eta_3 - \eta_2}{\eta_3 + \eta_2} e^{-2j\gamma_2 d} \quad (2.56)$$

O campo elétrico refletido na primeira interface, é fornecido a partir de:

$$E_1(z^-) = b_1 e^{j\gamma_1 z} = \rho_{12}(0) a_1 e^{-j\gamma_1 z} \quad (2.57)$$

Enquanto o campo transmitido para o meio 2 é dado por:

$$E_2(z^+) = a_2 e^{-j\gamma_2 z} = \frac{\tau_{12}(0)}{\tau_{23}(0)} a_1 e^{-j\gamma_2 z} \quad (2.58)$$

e, o refletido do meio dois é dado por:

$$E_2(z^-) = b_2 e^{j\gamma_2 z} = \frac{\tau_{12}(0)}{\tau_{23}(0)} \rho_{23}(0) a_1 e^{j\gamma_2 z} \quad (2.59)$$

Finalmente, o campo transmitido para o meio 3, com espessura d é obtido por:

$$E_3(z^+) = a_3 e^{-j\gamma_3 z} = \frac{\tau_{12}(0)}{\tau_{23}(0)} \tau_{23}(d) a_1 e^{-j(\gamma_2 - \gamma_3)d} e^{-j\gamma_3 z} \quad (2.60)$$

Levando em conta o campo elétrico incidente na primeira camada, e tendo os coeficientes de transmissão e reflexão de todas as interfaces, serão calculados os demais campos e a absorção da energia pelas camadas do modelo proposto².

Este método pode ser usado para um número qualquer de camadas, sendo suficiente que se repitam as operações similares aquelas do modelo de três camadas³. Através deste estudo pode-se calcular de que modo uma onda propagando-se no espaço interage com o corpo humano, calculando a intensidade do campo elétrico, e posteriormente a taxa de absorção de potência em cada camada do tecido.

2.4 – MODELO CORPUSCULAR

A fatos porém que são bem interpretados somente se as irradiações eletromagnéticas forem consideradas como pacotes de energia. É o caso da absorção de energia por átomos e moléculas. A interpretação como um pacote de energia implica em associar à onda eletromagnética o comportamento de uma partícula em movimento, deslocando-se com a velocidade da onda eletromagnética no meio⁶. Portanto, a radiação sob a forma de partículas, conhecida como radiação corpuscular é constituída por um feixe de partículas¹. A Figura 2.6 apresenta um modelo corpuscular de energia.

A quantidade de energia de uma irradiação eletromagnética é sempre múltipla de um valor fundamental denominado *quantum*, que no plural escreve-se *quanta*. Embora este termo seja geral, se a frequência do campo eletromagnético estiver na faixa das irradiações iluminosas, o quantum de energia é comumente denominado *fótons*. Segundo a lei de *Planck*, o quantum de energia é diretamente proporcional à frequência da irradiação eletromagnética. Logo, escreve que

$$E = h \cdot f \quad (2.61)$$

onde, h = constante de *Planck* = $6,64 \times 10^{-34}$ *J.s* e f = frequência da onda.

Portanto, através da expressão (2.61) podemos classificar dois tipos de radiações: ionizantes e não-ionizantes. *Fótons* com pelo menos 10 *eV* de energia [$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$] são capazes de ionizar átomos ou moléculas, o que significa que somente radiações com frequência igual ou superior à do ultravioleta têm efeito ionizante¹.

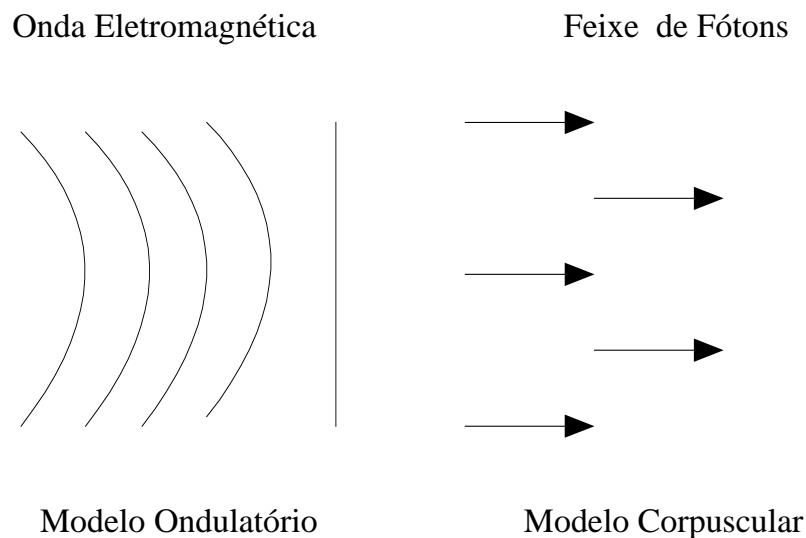


Figura 2.6 – *Modelo corpuscular da energia eletromagnética.*

2.5 – RADIAÇÕES NÃO-IONIZANTES

São as radiações que não produzem ionização, ou seja, quando a onda eletromagnética interage com o material biológico não têm energia suficiente para arrancar elétrons das moléculas^{1, 16}. A radiação, embora seja um fenômeno com características específicas, é conceituada pela ciência de acordo com o número de vezes que o sinal eletromagnético oscila em cada segundo, medida esta que se expressa em Hertz (*Hz*). Os diferentes valores de frequências indicam diferentes tipos de radiações, o que deu origem ao chamado espectro eletromagnético¹⁷.

No início do espectro se localiza a frequência associada aos campos estáticos $f = 0 \text{ Hz}$ que não apresenta variações temporais. Os demais grupos de frequências estão associados os campos variáveis no tempo e a Figura 2.7 apresenta uma classificação das faixas de frequência usadas na propagação de uma onda. À parte de interesse principal desse trabalho está concentrada na faixa evidenciada na Figura 2.7, 824 – 894 MHz.

Levando em consideração a expressão (2.61) e considerando o limite como 10 eV para a classificação dos tipos de energia, podemos encontrar um valor de frequências de 10^{15} Hz , portanto, a partir desse valor acima são classificadas como *radiações ionizantes*, enquanto as localizadas abaixo são classificadas como *radiações não ionizantes – RNI*.

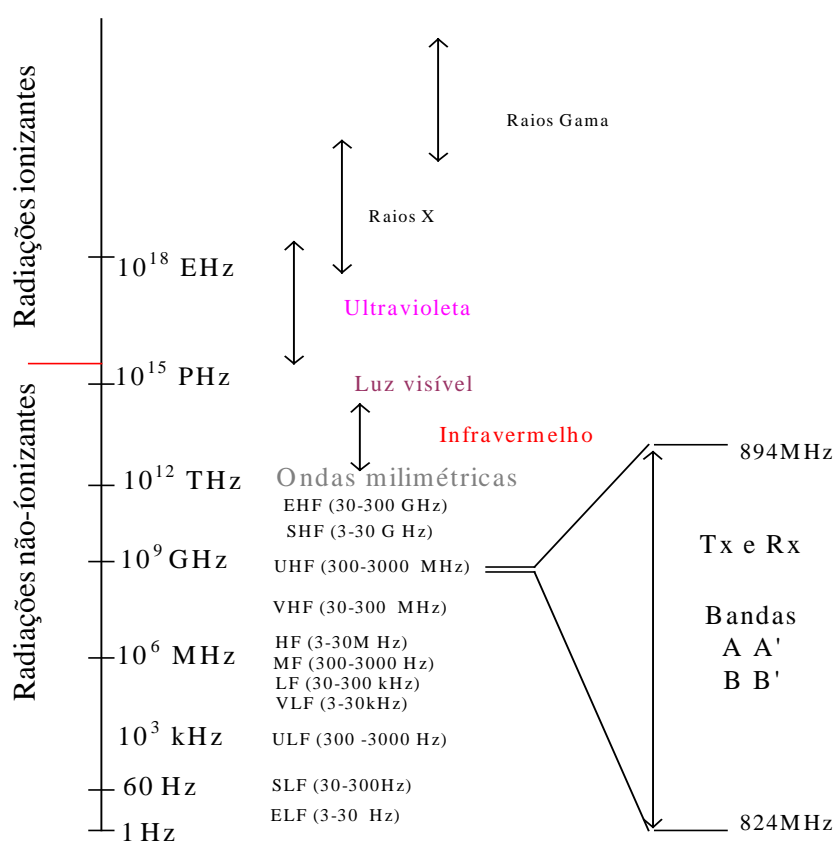


Figura 2.7 – Espectro eletromagnético.

Embora existam várias fontes geradoras de campos eletromagnéticos, comentaremos os estudos sobre os efeitos biológicos e sobre os possíveis danos causados à saúde humana e ao meio ambiente, associados as *RNI's* de *RF* e *Microondas*. O trabalho ficará limitado à faixa de frequência reservada para comunicação por meio de telefonia celular, destacada na Figura 2.7.

Tabela 2.2 – Lista de siglas da Figura 2.7

<i>SIGAS</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
<i>ELF</i>	<i>Extremely low frequencies(frequências extremamente baixas)</i>
<i>SLF</i>	<i>Super low frequencies(frequências super baixas)</i>
<i>ULF</i>	<i>Ultra low frequencies(frequências ultra baixas)</i>
<i>VLF</i>	<i>Very low frequencies(frequências muito baixas)</i>
<i>LF</i>	<i>Low frequencies(frequências baixas)</i>
<i>MF</i>	<i>Médium frequencies(frequências médias)</i>
<i>HF</i>	<i>Higt frequencies)frequências altas)</i>
<i>VHF</i>	<i>Very higt frequencies(frequências muito altas)</i>
<i>UHF</i>	<i>Ultra higt frequencies(frequências ultra altas)</i>
<i>SHF</i>	<i>Super higt frequencies(frequências super-altas)</i>
<i>EHF</i>	<i>Extremely higt frequencies(frequências extremamente alta)</i>

2.6 – CONCEITOS BÁSICOS DE UM SISTEMA MÓVEL CELULAR

O sistema móvel celular é uma modalidade de comunicação telefônica designada a permitir que assinantes móveis possam se comunicar com outros assinantes móveis e com a rede fixa e vice-versa.^{18, 19}. No início do ano 1970 surgiu o primeiro sistema de telefonia móvel e apesar de ser um avanço tecnológico para a época, esse sistema apresentava uma série de desvantagens, podendo destacar:

- ❑ **Altas potências dos transmissores para atender a área de cobertura solicitada.**
- ❑ **Escassez de canais, o que tornava o sistema insuficiente pra atender aos usuários.**
- ❑ **Chamadas que caíam ao passar da área de cobertura de um transmissor para outra.**

Para resolver essas desvantagens surgiu o sistema móvel celular, onde a área a ser atendida é dividida em células. Cada uma com seu próprio equipamento rádio-transmissor, assim sendo utiliza-se uma potência menor para cada célula em relação a que seria necessária utilizando apenas um único transmissor para cobrir toda área planejada, recurso este que proporciona também um aumento da capacidade de tráfego. As chamadas podem continuar em conversação à medida que o usuário se desloca, através do processo *handoff* (*continuidade de ligação na troca de células*) e para resolver o problema da limitação do espectro de frequência, o sistema celular passa a usar o conceito de *reuso* de frequências, o que possibilitou a implantação deste sistema para um grande número de usuários²⁰.

2.6.1 – CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA MÓVEL CELULAR

2.6.1.1 – ESTAÇÃO MÓVEL

Estação Móvel – *EM* é o terminal móvel do usuário. As funções principais da *EM* são: prover a interface entre o usuário e o sistema, converter sinais de áudio e dados em sinais de *RF*, e vice-versa, responder aos sinais enviados pelo sistema e informar ao usuário sobre o estado do sistema.

2.6.1.2 – ESTAÇÃO RÁDIO BASE

A Estação Rádio Base – *ERB* apresenta várias funções como: prover a interface de rádio entre o usuário e o sistema, controlar e informar a *EM* sob sua área de cobertura, verificar e relatar a qualidade de sinais das chamadas sob seu controle,

verificar e relatar a presença e quantidade de *EMs* registrados, responder a comandos recebidos da central de comutação e controle. Fazem o papel de interface entre uma única central de comutação e diversas estações móveis. A *ERB* é responsável pela monitoração do sinal recebido de uma *EM* comunicando a central de comutação e controle qualquer alteração indesejável em relação à potência ou a interferência no sinal recebido. Outras funções também são agregadas a *ERB*, tais como o controle de potência das *EM* e outros comandos recebidos da central de controle. As células são divididas como áreas de serviço individuais, onde cada uma delas possui um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível. Cada célula tem a sua estação rádio-base, representada na Figura 2.8, permitindo assim o uso de transmissores de baixa potência. A Figura 2.9 representa um agrupamento de células denominado *cluster* ideal, onde as *ERB's* estão no centro de cada região. A Figura 2.10 representa uma região de marcação de um *cluster* real, enquanto a Figura 2.11 traz uma célula onde a antena existente é onidirecional, isto é atende igualmente ao seu redor e a Figura 2.12 representando uma célula com suas antenas setorizadas, sendo três setores.

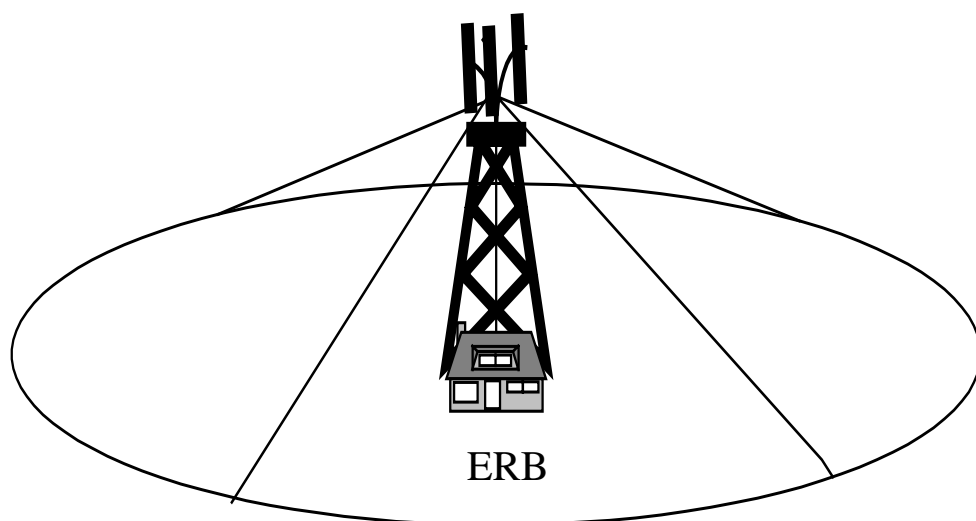


Figura 2.8 – Estação rádio-base – *ERB*.

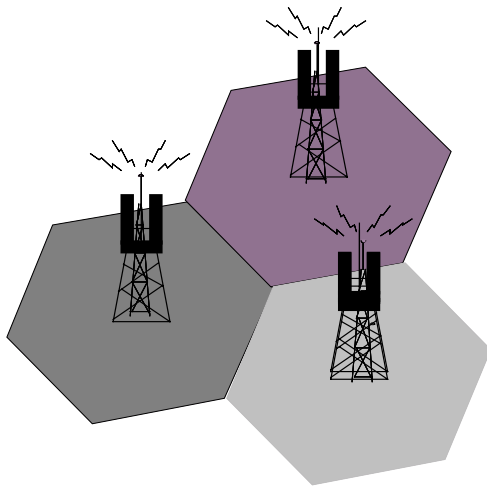


Figura 2.9 – *Agrupamento ideal.*

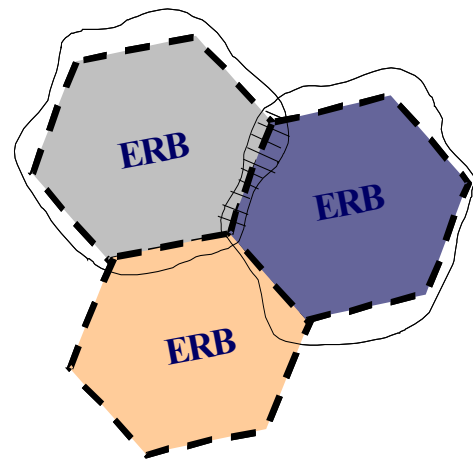


Figura 2.10 – *Agrupamento real.*

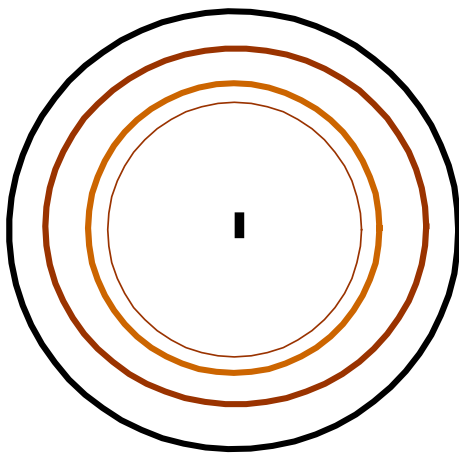


Figura 2.11 – *Célula onidirecional.*

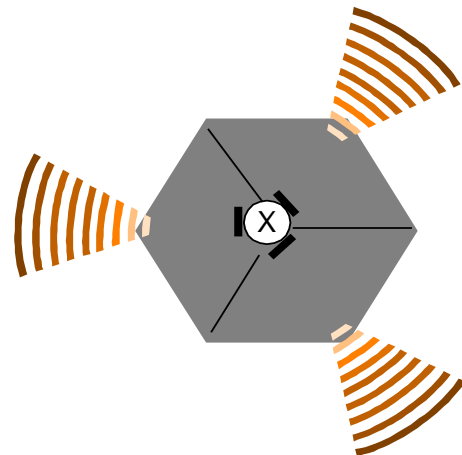


Figura 2.12 – *Célula setorizada.*

2.6.1.3 – CENTRAL DE COMUTAÇÃO E CONTROLE

A Central de Comutação e Controle – *CCC* é o coração do sistema celular, suas funções são: prover a interface entre a rede telefônica fixa e o sistema celular, comunicar-se com outros sistemas celulares, controlar as *ERB*'s, monitorar e controlar as chamadas, interligar as várias *ERB*'s do sistema, supervisionar o estado do sistema, comutar e controlar o *handoff* das chamadas e administrar o sistema.

A Figura 2.13 está representando uma rede de sistema celular atendido por uma *CCC*, com uma característica geométrica ideal de agrupamento de células, entretanto, em algumas situações práticas, esta configuração não seja possível, pois

devem ser levados em conta outros fatores como relevo do terreno e obstáculos associados aos morros, matas, prédios, etc.

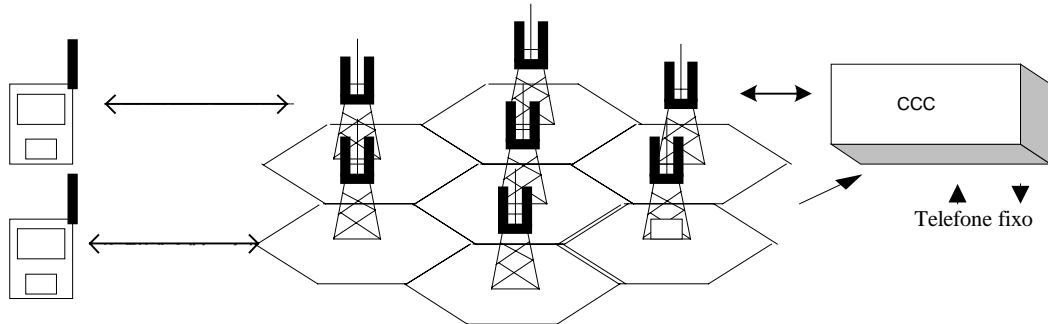


Figura 2.13 – Rede celular e CCC.

Portanto o tamanho das células é irregular podendo também diferir de uma célula para outra, sendo funções das condições de propagação e densidade do tráfego telefônico. A grande meta quando se planeja um sistema de telefonia móvel celular é atingir uma grande capacidade de tráfego. Em outras palavras, o objetivo é garantir o funcionamento de um grande número de terminais móveis por quilômetro quadrado, mantendo um nível aceitável de grau de serviço e qualidade de voz. A Figura 2.14 representa as interfaces de uma CCC.

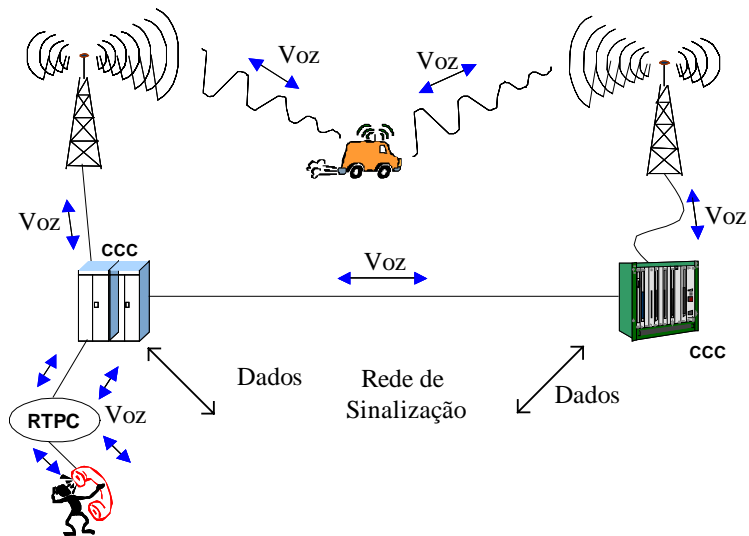


Figura 2.14 – Representação da interface da CCC.

onde RTPC é a rede de telefonia publica.

2.7 – INTERAÇÃO, EFEITOS BIOLÓGICOS, RISCOS E DANOS

2.7.1 – INTERAÇÃO

Quando uma onda eletromagnética encontra-se com a matéria biológica, os campos eletromagnéticos – *CEM* provocam um aumento na energia cinética das moléculas que podem induzir o deslocamento de íons de posições estáveis, vibrações nas ligações moleculares, bem como à rotação e reorientação de moléculas bipolares como a água. O aumento de temperatura pode ser difuso ou limitar-se a um determinado sítio anatômico específico. Os tecidos com alto conteúdo de água são mais afetados. Conseqüentemente, tecidos como músculos e pele absorvem relativamente maior quantidade de energia do que o tecido adiposo ou ósseo, de baixo conteúdo de água^{1, 21, 22}.

2.7.2 – EFEITO BIOLÓGICO

Um efeito biológico não é necessariamente um dano. Os efeitos biológicos causados pela exposição aos *CEM* podem ser classificados como *térmicos* e *não-térmicos*. Os efeitos térmicos são devidos ao aumento da temperatura nos tecidos, ou efeitos em curto prazo, enquanto os efeitos não-térmicos são resultados das reações diretas do campo com a substância, sem transferência significativa de calor, efeitos em longo prazo²².

2.7.3 – RISCOS

É a eventualidade ou probabilidade das pessoas sofrerem danos físicos resultantes de um determinado perigo. Os *CEM* podem representar um perigo potencial e os seus riscos para a saúde humana dependerão do nível de exposição. A percepção do risco poderá aumentar substancialmente, se não existirem conhecimentos científicos suficientes dos efeitos que determinada situação ou tecnologia poderá causar a saúde.

2.7.4 – DANOS

Os danos ocorrem quando os efeitos biológicos ultrapassam a capacidade de compensação do organismo. Considerando o curto espaço de tempo de evolução da espécie humana, relativamente ao avanço das fontes artificiais de energia o seu organismo não possui, ainda, mecanismos sensoriais que lhe permitam detectar os danos causados pelas interações das ondas eletromagnéticas com o material biológico. A Figura 2.15 representa às interações das ondas eletromagnéticas com o material biológico e suas conseqüências.

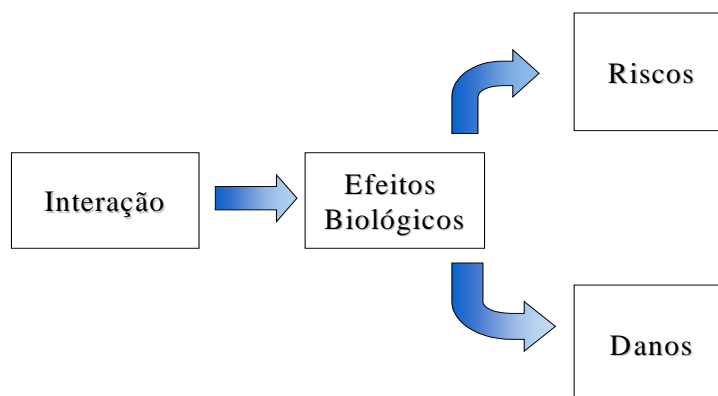


Figura 2.15 – *Mecanismo de interação das ondas e usuário.*

2.7.5 – CONSTANTES DIELÉTRICAS NOS TECIDOS EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA

É difícil prever exatamente o comportamento dielétrico dos tecidos in-vivo devida à variação da concentração de água no mesmo. O valor das constantes dielétricas dos diferentes tecidos que constituem o ser vivo depende dos mesmos, da frequência e em caso de moléculas polares, também da temperatura.

No caso da água que é uma molécula polar, a constante dielétrica relativa é $\epsilon_r = 81$ para baixas frequências e cai com o aumento da frequência, devido a inércia rotacional dos dipolos elétricos com o campo externo. Nos tecidos gordurosos, a constante dielétrica é bem menor do que da água, assim por exemplo a 900 MHz um tecido adiposo com 10% de água possui $\epsilon_r = 4$, enquanto o mesmo tecido com 50% de água possui $\epsilon_r = 12$ ²². Diversas experiências mostraram que a constante dielétrica nos tecidos gordurosos com 50% de água, que é uma concentração normal de água,

fica entre 7 a 12, dependendo do grau de homogeneidade na distribuição interna dos componentes desse meio^{2, 21, 22, 23}. Um dos resultados mais confiáveis foi obtido por *Gandhi et al*, que estabelece $\varepsilon_r = 9,99$ aproximadamente 10^{24} .

2.7.6 – CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA DO TECIDO

A condutividade dos tecidos varia de forma significativa com a frequência para valores acima de 1 GHz. Nos tecidos gordurosos existe uma dependência linear entre o conteúdo de água e a condutividade. Assim por exemplo, nos tecidos com 6% de água na frequência de 900 MHz, a condutividade é de $\sigma = 4 \text{ mS/cm}$, enquanto para outro com 60% de água temos $\sigma = 40 \text{ mS/cm}$ ²². Desta forma para a mesma intensidade de campo aplicado, a potência absorvida é 10 vezes maior para os tecidos com maior concentração de água. Neste caso, a relação clássica que vincula a energia dissipada em calor por unidade de tempo devido à circulação de uma corrente no meio pode ser vista no teorema de *Poynting* na Eq.(2.26)^{5, 7}. Portanto, a potência absorvida por unidade de volume é dada em função da condutividade σ e do campo elétrico E , que se demonstra pela seguinte expressão²²:

$$P_a = \sigma |E^2| / 2 \quad (2.62)$$

onde E é o valor de pico do campo elétrico.

2.7.7 – PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO

A profundidade de penetração é um parâmetro que descreve o quanto às magnitudes dos campos e da corrente diminuem exponencialmente com o aumento da frequência. À medida que a onda penetra em certas substâncias fica definida profundidade na qual a amplitude da radiação é reduzida um fator $1/e$ (37%) com relação à onda incidente. Neste caso a densidade de potência decai por um fator de $1/e^2$ (13,5%), o que acarreta que 86,5% da energia da onda incidente é dissipada na película^{5, 8, 9}. Essa profundidade é função da frequência da radiação incidente, da condutividade e da permeabilidade magnética, sendo expressa por:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f \cdot \pi \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (2.63)$$

onde: σ é a condutividade do material, em S/m , f é a frequência em MHz . A Figura 2.16 representa o resultado de uma simulação para constatar a profundidade de penetração na pele, possuindo uma condutividade de $\sigma = 0,87$ (S/m) para uma frequência de 850 MHz . Podemos observar através do gráfico abaixo a dependência típica da condutividade da pele e da frequência, mostrando que a profundidade de penetração diminui com o aumento da frequência^{5, 7, 22}.

Deste modo uma onda eletromagnética em alta frequência como as de transmissão de celular ao penetrar no corpo humano, atenua rapidamente e está demonstrado pela Eq. (2.63).

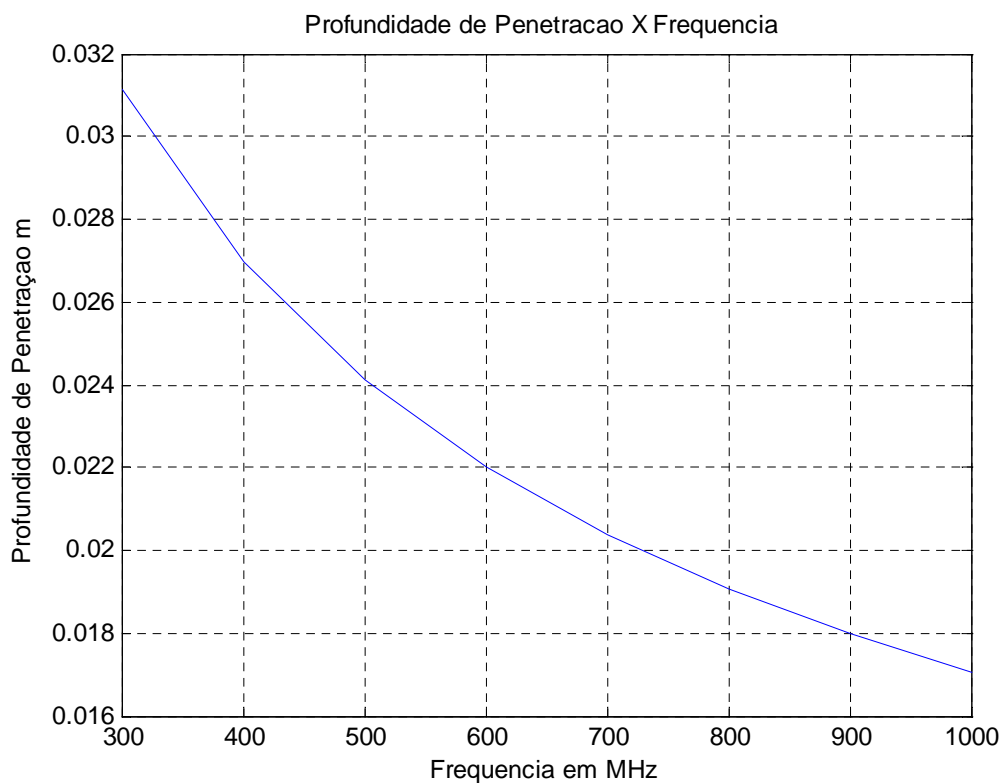


Figura 2.16 – Profundidade de penetração versus frequência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SENISE, J. T. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos de radiofrequência e microondas. In: Workshop Nacional. 1, 2001, São Paulo: USP, mar.2001.
- [2] SILVA da, R. C. *Física das Radiações*. Salvador: Érica, 2003.
- [3] CASTRO LIMA, A .C. Radiações e propagação de ondas eletromagnéticas. Salvador: CEET UFBA, BA, 1999.
- [4] JOHNK, C. T. *Engineering electromagnetics fields and waves*. New York: John Wiley, 1975.
- [5] KRAUS, J. D.; CAVER, K. R. *Electromagnetic with applications*, 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978, Traduzido por W. F. da Silva.
- [6] RIBEIRO, J. A. J. *Propagação de ondas eletromagnéticas:Princípios e aplicações*. São Paulo: Érica , 2004.
- [7] JONH, W. R.; RAMO, S. and DUZER, T. *Campos e ondas em eletrônica das comunicações*, Rio de Janeiro: Guanabara dois, 1981.
- [8] CHENG, D. K. *Fundamentals of electromagnetic engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- [9] REITZ, J. R., et al. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 3 ed. Rio de Janeiro:Campus, 1980.
- [10] RIOS, L. G.; PERRI, E. B. *Engenharia de antenas*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1983.
- [11] FREIRE, G. F. O.; DINIZ, A . B. *Ondas eletromagnéticas*, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1973.
- [12] RIBEIRO, J. A. J. Introdução à teoria das antenas. Apostila - Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, MG, 2001.
- [13] KRAUS, J. D. *Antennas*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [14] MARIOTTO, P. A. *Ondas e linhas*. Universidade de São Paulo, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

-
- [15] JOHNSON, W.C. *Linhas de transmissão e circuitos*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.
- [16] SALLES, A. A. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos.1, Seminário Nacional sobre RNI, Salvador, dez. 2002.
- [17] JORDAN, E. C.; BALMAIN, K. G. *Electromagnetic waves and radiating systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1968.
- [18] YACOUB, M. D. *Foundations of mobile radio engineering*. Boca Raton: CRC Press, 1993.
- [19] LEE, W. C. Y. *Mobile cellular telecommunication*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1995.
- [20] GONZALES, J. Mobile radio. IEEE Vehicular Technology Society News, v. 49, n. 2, maio 2002.
- [21] DURNEY, C. H. Electromagnetic dosimetry for models of humans and animals: a review of theoretical and numerical technical. Proc. IEEE, v. 68, 1980.
- [22] Pro-Rad, Radiações não-ionizantes: conceitos, riscos e normas. Disponível em < www.prorad.com.br >. Acesso em: 2004.
- [23] BERNARDI, P., et al, Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular phone user. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, v. 48, n. 7, jul. 2000.
- [24] GANDHI, O. P., et al. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques, v. 44, n. 10, out.1996.

CAPÍTULO 3

BIOELETRICIDADE E EVOLUÇÃO DAS NORMAS

3.1 – INTRODUÇÃO

Em 1791 Luigi Galvani^a anuncia a descoberta da eletricidade animal. Galvani concluiu que a eletricidade era gerada dentro dos animais, a qual seria a origem da vida^{1,2}.

Em 1793 Alessandro Volta^b amplia a descoberta de Galvani mostrando a existência da eletricidade em outros materiais, e assim negando a existência da eletricidade animal. Desta forma estava aberto o caminho para o estudo científico da bioeletricidade¹.

Em 1847 Carlo Matteucci^c, um físico, demonstrou que o corpo humano pode produzir eletricidade. A partir dos estudos de Matteucci, Du Bois- Reymond^d descobre que quando um nervo é estimulado, produz um impulso elétrico que viaja em alta velocidade pelo sistema nervoso, provocando a contração dos músculos. Estava descoberto o impulso nervoso, ou seja, o início da bioeletricidade¹.

Em 1868 Julius Bernstein³, discípulo de Reymond, publicou o primeiro livro sobre bioeletricidade . É desse trabalho a origem do conceito que a célula através de uma troca de íons entre seu interior e seu exterior produz e dissemina os sinais elétricos pelo corpo. Logo, a biologia revela que as células utilizam sinais bioelétricos, que se influenciados por campos eletromagnéticos externos podem causar danos ao bom funcionamento do organismo⁴, sendo necessário estabelecer limites para a exposição do mesmo a radiação^{5,6}.

^a Luigi Galvani (1737 – 1798), médico italiano.

^b Alessandro Giuseppe (1745 –1827) físico italiano.

^c Carlo Matteuci (1811 – 1868) físico italiano.

^d Emil Du Bois-Reymond (1818 –1896), médico alemão.

Com o crescimento acelerado das comunicações móveis, surge uma preocupação grande da comunidade científica com as radiações eletromagnéticas provenientes de *ERB's*, pois a maioria delas se encontram instaladas em locais de alta densidade demográfica^{7, 8}. É imperativo proteger a população contra os efeitos adversos para a saúde humana oriundos de resultados da exposição aos campos eletromagnéticos⁸.

Enquanto não sai uma norma bem definida, surge em torno desse tema uma polêmica muito acirrada. Por um lado, pesquisadores científicos de vários países alertam para as possibilidades de prejuízo à saúde e por outro lado, aqueles ligados aos setores industriais, principalmente no ramo de telecomunicações refutam as críticas e asseguram não haver comprovações de danos à saúde⁹.

Há de se obter um equilíbrio entre as ações que limitam à exposição da população aos campos eletromagnéticos e os benefícios de saúde e segurança que os dispositivos que emitem campos eletromagnéticos proporcionam em termos de qualidade de vida em domínios como as telecomunicações, a energia e a segurança pública⁸. As obras científicas de padrão internacional demonstram que os estudos realizados neste domínio são demasiado recentes para determinar com exatidão os efeitos causados em longo prazo pela exposição a radiações eletromagnéticas^{8, 10}.

Isto se deve principalmente na incompatibilidade entre as áreas de pesquisas bioeletromagnéticas e resultados laboratoriais médicos em relação ao avanço das tecnologias de comunicações móveis em nosso país e no mundo. Tendo em vista esse aumento vertiginoso deve-se aumentar a conscientização dos riscos, as medidas de proteção, assim como as precauções que devem ser tomadas contra os campos eletromagnéticos¹¹. Os órgãos de fiscalização de países ou estados deverão promover a divulgação de informações e regras de utilização neste domínio, designadamente no que diz respeito à concepção, instalação de equipamentos, de modo a serem atingidos níveis de exposição que não ultrapassem as restrições recomendadas¹². Deve-se ter em mente alcançar uma comunicação e compreensão adequada no que diz respeito aos riscos relacionados com os campos eletromagnéticos, de modo que possa ser assimilada uma percepção acurada desses riscos pela população⁹.

3.2 – ESTADO ATUAL DAS NORMAS

O primeiro programa de pesquisa sobre os perigos da radiação eletromagnética, data de 1954 e foi desenvolvido pelo exército americano e envolvia as estações de radar^{1, 13}. Em 1960 foram divulgados os resultados dessas pesquisas e deste estudo derivou uma primeira norma, de adotar como padrão de segurança o valor para densidade de potência de $S = 10 \text{ mW/cm}^2$ ¹⁴. Deve-se acrescentar que este valor é 10 vezes menor do que as radiações produzidas pelo sol de verão ao meio dia, que é da ordem de $S = 100 \text{ mW/cm}^2$ ¹.

Em 1974, a Associação Internacional de Proteção a Radiação (*International Radiation Protection Association – IRPA*), organizou um grupo de trabalho, para pesquisar os vários problemas originados relativos à proteção dos vários tipos de radiações não-ionizantes oriundas dos *campos eletromagnéticos – CEM*¹⁵

Em 1997, foi formada a primeira Comissão Internacional de Radiações não-Ionizantes (*International Non-Ionizing Radiation Committee – INIRC*). Em colaboração com a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization – WHO/OMS*) as entidades *IRPA/INIRC* desenvolveram vários documentos contendo critérios de saúde, como parte do Programa Ambiental das Nações Unidas (*United Nations Environments Programme – UNEP*). Cada documento inclui uma visão geral das características físicas, técnicas de medição e instrumentação, fontes e aplicações de *RNI*, uma análise completa da literatura sobre os efeitos biológicos e uma avaliação dos riscos adversos á saúde devidos à exposição às radiações¹⁵.

Esses estudos proporcionaram uma base de dados científicos para posterior desenvolvimento dos limites de exposição e dos procedimentos relacionados a *RNI*. Durante o oitavo congresso internacional da *IRPA*, Montreal, de 18–22/05/1992 foi criada uma nova organização científica internacional independente, que ficou conhecida como a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP*), que sucedeu a *IRPA/INIRC*¹⁶.

As funções destas comissões são as de investigar os perigos que podem ser associados com as diferentes formas de *RNI*, selecionar os efeitos que apresentam riscos à saúde, determinar os limiares fisiológicos de risco para estes efeitos, assim como a introdução de restrições básicas, através de fatores de segurança, de forma a

garantir que as pessoas só possam estar expostas a níveis de *RNI* muito inferiores aos níveis de risco. Desta forma, ficam caracterizados o desenvolvimento de técnicas de medidas de grandezas físicas que caracterizem a exposição às *RNI's* e o estabelecimento de níveis de referência para essas mesmas grandezas, a fim de verificar a conformidade com as restrições⁸

As diretrizes estabelecidas direcionam os estudos sobre *efeitos diretos e indiretos* dos *CEM*. *Efeitos diretos* entendem-se aqueles resultantes da interação direta de campos com o corpo humano. Enquanto que por *efeitos indiretos* envolvem as interações diretas do campo com as substancias sem transferência significativa de calor¹⁷.

Ao estabelecer os limites de exposição, a comissão reconheceu a necessidade de reconciliar diferentes opiniões de especialistas^{9, 18}. Há de considerar ainda as validades dos relatórios científicos elaborados conjuntamente com fato de poder-se extrapolar as experiências com animais, para efeitos nas pessoas¹⁹.

Nas normas vigentes tais danos estão associados somente à intensidade de radiações, tais como os efeitos térmicos e com isto vários estudos estão sendo realizados para avaliarem outros efeitos, enfatizando-se que essas outras possibilidades de danos são pertinentes ao estado de um organismo vivo poder reconhecer esse campo e interagir com sua função. Também é importante salientar que a distribuição de energia não é uniforme no corpo todo e uma quantidade significativa de energia pode se depositar em regiões específicas, por isso é muito importante o estabelecimento de limites^{20, 21}.

Os órgãos governamentais e não-governamentais, que pesquisam a área das radiações estipularam dois conceitos fundamentais para elaborar as normas, quanto aos níveis de segurança:

- Restrições Básicas – são as restrições baseadas diretamente em efeitos conhecidos na saúde ocasionados pela exposição aos *CEM*. A proteção contra efeitos prejudiciais à saúde requer que estas restrições básicas não sejam excedidas.
- Níveis de Referência – Os níveis de referência são fornecidos para comparação com valores medidos de grandezas físicas. Esses são obtidos das

restrições básicas por modelamento matemático e por extrapolação de resultados de investigação de laboratório em frequências específicas. Os níveis são dados para a condição de acoplamento máximo do campo com o indivíduo exposto, fornecendo, dessa forma, o máximo de proteção²².

Deve-se entender os níveis de referência como valores médios espaciais, calculados sobre o corpo todo do indivíduo exposto, mas com a importante condição de que as restrições básicas para a exposição localizada não sejam excedidas²².

As simplificações que foram usadas até o presente não levaram em conta fenômenos tais como a distribuição não-homogênea e a anisotropia da condutividade elétrica e de outras propriedades dos tecidos, de importância para esses cálculos²².

Considerar-se que as exposições aos campos eletromagnéticos induzem, em geral, um elevado nível de deposição e distribuição não uniforme de energia no organismo. Os campos eletromagnéticos classificam-se em quatro gamas de frequências em função do grau de absorção de energia pelo organismo humano :

- ❑ *Frequências na faixa de 100 kHz – 20 MHz*, em que a absorção pelo tronco diminui rapidamente com o decréscimo da frequência podendo haver absorção pelo pescoço e pelas pernas.
- ❑ *Frequências na faixa de 20 MHz – 300 MHz*, em que poderá haver um nível de absorção relativamente elevado por todas as partes do corpo, sendo que os valores elevados são registrados se forem consideradas as ressonâncias do corpo.
- ❑ *Frequências na faixa de 300 MHz – 10 GHz*, em que há absorção local e não uniforme de forma significativo.
- ❑ *Frequências acima de 10 GHz*, em que a absorção de energia ocorre essencialmente na superfície do corpo.

Dentre as principais normas, destacam-se por sua abrangências e aceitação:

- ✓ ANSI/IEEE C95.1-1991. Essa norma foi renovada e atualizada em 1974,1982,1991 e 1999 e vem sendo revisada constantemente. Atualmente mais de 1900 artigos estão sendo avaliados¹⁶.
- ✓ ICNIRP, *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*¹².

- ✓ *FCC 96-326* (1996), da *Federal Communications Commission*, dos *E.U.A.*, baseada no padrão *ANSI/IEEE C95.1- 1992*
- ✓ *CENELEC ENV 50166 1 e 2* (1995), do *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*, da Comunidade Européia²³.

Podemos considerar pelas normas duas classes de exposição não-ionizantes que são aquelas presentes em:

- **Meio ambiente controlado ou exposição ocupacional** – são ambientes onde as pessoas que estão sujeitas às radiações sabem da exposição e são preparadas para tomar as devidas precauções.
- **Meio ambiente não-controlado ou público em geral** – consiste de pessoas de todas as idades e estados de saúde e pode incluir grupos ou indivíduos particularmente suscetíveis. Em muitos casos, essas pessoas não têm consciência de sua exposição aos *CEM* e portanto não podem tomar precauções para minimizar ou evitar a exposição²⁴.

A preocupação pelo público em geral sobre as radiações aumentou consideravelmente a partir de 1993, com uma reportagem, de um estadunidense, em uma emissora americana de *TV* de grande audiência, alegando que o uso do telefone celular havia causado câncer em sua esposa, que veio a falecer. Ele processou tanto a empresa que desenvolveu o aparelho como a operadora daquele local e no meio desta polêmica, encontraram uma norma do *IEEE* de pesquisas realizadas por vários anos por um grupo científico que estabelecia limiares de segurança quanto à exposição das *RNI's* e que declarava seguro o uso de celulares em condições normais²⁵. O processo judicial do cidadão foi cancelado por uma corte federal em 1995 por falta de evidência científica.

Entretanto à polêmica gerada em torno desta questão revelou que as respostas existentes naquela época não eram inteiramente satisfatórias. Dando seqüência a novas pesquisas, aplicadas e realizadas cientificamente por grupos diferentes, buscam e procuram respostas *in vitro*, *in vivo* e estudos estatísticos, esperando acrescentar as normas vigentes avanços na identificação de efeitos prejudiciais à saúde devida a *CEM* variáveis no tempo²⁶.

Nos Estados Unidos, a recomendação de referência é a norma *ANSI C95.1-1991*, desenvolvida pelo (Institute of Electrical and Electronic Engineers – *IEEE*). Essa norma foi renovada e atualizada em 1974, 1982, 1991 e 1999 e vem sendo revisada constantemente. Atualmente mais de 1900 artigos estão sendo avaliados²⁷.

Em 1998, a comunidade Européia de proteção contra as radiações – *ICNIRP* publicou diretrizes para limitar a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo à frequência de 0 a 300 *GHz*.

Os elementos que compõem esses comitês para elaboração das normas são engenheiros, médicos, físicos, biólogos, membros universitários, da indústria e do governo de vários países. Todos buscam estabelecer os limites para exposição dos seres humanos às radiações dos campos eletromagnéticos, uma vez que a polêmica principal tem sido gerada em relação à comunicação móvel e seus principais parâmetros¹⁵.

3.3 – TAXA DE ABSORÇÃO ESPECÍFICA

Uma das grandezas físicas de maior interesse na qualificação de limites de exposição às radiações eletromagnéticas é a Taxa de Absorção Específica (*Specific Absorption Rate – SAR*). Essa grandeza é aceita mundialmente como unidade dosimétrica do nível de energia *RF* absorvida por unidade de massa do corpo, quando este corpo está submetido a uma radiação de onda eletromagnética¹⁵.

A SAR é definida matematicamente por:

$$SAR = \frac{dP}{dm} \quad (3.1)$$

onde *P* é a potência e *m* é a massa do tecido, mas sabe-se que

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (3.2)$$

assim

$$SAR = \frac{d}{dm} \left(\frac{dW}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) \quad (3.3)$$

Temos que

$$\rho = \frac{dm}{dv} \quad \text{e} \quad W_v = \frac{dW}{dv} \quad (3.4)$$

onde ρ é a densidade de massa dada em kg/m^3 e $W_v =$ densidade de energia em J/m^3 . Logo, substituindo a Eq. (3.4) em (3.3) vem:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{W_v dv}{\rho dv} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{dW_v}{dt} = \frac{P_v}{\rho} \quad (3.5)$$

onde $P_v =$ densidade volumétrica de potência em W/m^3 . Supondo ρ constante.

Sabe-se que a densidade volumétrica de potência absorvida por uma substância vale:

$$P_v = \frac{dW_v}{dt} = \sigma E^2 \quad (3.6)$$

Portanto, substituindo a Eq. (3.6) em (3.5) o resultado fica:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (3.7)$$

onde $\sigma =$ condutividade do corpo em S/m e E é o valor eficaz do campo elétrico.

Por outro lado, também podemos relacionar a SAR usando a Eq. (3.8) e considerando uma massa infinitesimal:

$$dW = dmc_p dT \quad (3.8)$$

onde dm é a quantidade infinitesimal de massa, c_p é o calor específico e ΔT a variação de temperatura. Dividindo-se a Eq.(3.8) por dt resulta:

$$\frac{dW}{dt} = dmc_p \frac{dT}{dt} \quad (3.9)$$

sendo o primeiro membro a potência elementar absorvida e pode-se escrever:

$$dP = dm \cdot c_p \frac{dT}{dt} \quad (3.10)$$

Considerando essa absorção na quantidade elementar de massa dm , obtém-se nova expressão para a SAR:

$$\frac{dP}{dm} = c_p \frac{\Delta T}{dt} = SAR = c_p \frac{\Delta T}{dt} \quad (3.11)$$

onde: ΔT é a variação da temperatura $^{\circ}C$ e c_p é o calor específico do corpo $J/kg.^{\circ}C$, deste modo, verifica-se que a SAR é proporcional à variação da temperatura no corpo, tornando-se uma referência para medir-se a radiação^{1, 28, 29, 30}.

A SAR é obtida diretamente, medindo-se o campo elétrico no corpo. Para esse teste usa-se potência máxima dos aparelhos e as características das constantes elétricas do protótipo similar às do organismo na dada frequência escolhida para o teste^{27, 31, 32, 33, 34}. Este procedimento é realizado em laboratório, através de protótipos do corpo humano com a utilização de uma sonda computadorizada registrando em tempo real os níveis de energia absorvidos por unidades de massa e tempo. Porém, na prática existe uma real dificuldade em se medir o campo elétrico no interior dos seres vivos e com isto são adotados outros métodos para estimar a SAR.

Com o advento das tecnologias avançadas da engenharia, juntamente com a ajuda de imagem por ressonância magnética tem-se chegado a estimativa real das características específica dos tecidos para faixas de frequências utilizadas e com isto limite mais rigorosos estão sendo pesquisados para a exposição de seres vivos aos *campos eletromagnéticos de rádio-frequência e microondas – CEMRF/MO*³⁵.

A absorção da energia de campos eletromagnéticos de frequência acima de aproximadamente 100 kHz, pode conduzir uma absorção significativa de energia e a um aumento de temperatura no corpo. Em geral, a exposição a um campo eletromagnético uniforme de uma 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 cálculos³⁶.

3.3.1 – EFEITOS E MEDIDAS

Diversos centros de pesquisas concordaram que sob o menor nível de exposição o efeito adverso observado em animais foi o chamado distúrbio comportamental, ou seja, mudanças nas atividades referentes à realização das tarefas diárias^{5, 37}. Após o tempo especificado como limiar fisiológico para exposição de uma radiação provenientes de fontes de microonda o indivíduo exposto fica mais cansado facilmente, tornando o rendimento do trabalho insuficiente^{4, 13}.

Embora na faixa de frequência em questão a *SAR* seja a medida que melhor permita avaliar os efeitos da irradiação eletromagnética em um material biológico, na prática, métodos indiretos de avaliação foram desenvolvidos, para estimar esta importante medida. As técnicas mais usadas para estimar a *SAR* são:

- ❑ **Simulações computadorizadas.**
- ❑ **Medição do campo induzido em maquetes.**

Essa metodologia utilizados bonecos imitando o corpo humano, preenchido com material com propriedades elétricas similares aos dos tecidos dos seres vivos e está sendo muito utilizado³⁸. Todos estes fatores podem levar os valores da *SAR* estimados bem próximos aos limites recomendados nas normas internacionais.

A medição da *SAR* depende fortemente da posição exata do aparelho com relação à parte do corpo exposta à radiação. A situação de exposição local estudada é a do terminal junto à cabeça, uma vez que o celular ficará mais tempo nesta região quando existir uma conversação¹³. Em tecidos, a *SAR* é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico interno e seus valores dependem de uma gama de fatores, cabendo destacar: frequência, intensidade, polarização, e a configuração fonte /objeto–campo próximo ou distante, tamanho do corpo exposto, propriedades dielétrica do corpo, e outros.

Quando o eixo maior do corpo humano é paralelo ao vetor do campo elétrico e sob condições de exposição de onda plana a *SAR* do corpo inteiro alcança valores máximos²². A dificuldade e a imprecisão nas estimativas da *SAR* levaram à necessidade de se estabelecer uma relação entre essa grandeza e uma outra que pudesse ser medida. Para a faixa de microonda é a densidade de potência de uma onda plana equivalente³⁹.

A Eq. (3.12), apresenta o limite da densidade de potência explicitado pela norma *ICNIRP* e da *ANATEL*:

$$S = f / 200 \quad (3.12)$$

onde f representa a frequência, em *MHz* e S é dada em W/m^2 .

Tendo o valor da densidade de potência e admitindo uma onda plana no espaço livre, pode-se calcular o campo elétrico eficaz e conseqüentemente conhecendo as características específicas do tecido do organismo vivo, podemos estimar a *SAR*.

Os fatores fundamentais para determinar a *SAR* são:

- Tipo da onda que atinge o ser humano seja no corpo inteiro ou partes específicas. Potência efetiva radiada pela *ERB: EIRP*, distância da pessoa à estação transmissora: d , condutividade do tecido: σ e densidade volumétrica de massa do tecido: ρ .

É aceito pela comunidade científica que na faixa de frequência dos celulares à exposição de corpo inteiro as *RNI's* com uma *SAR* em torno de $4 W/kg$, durante *trinta minutos* provoque um aquecimento da temperatura média do corpo superior a $1^\circ C$, suficiente para causar mudança no comportamento, parecidos com os caracterizados por febre. Portanto, foi estipulado esse valor de $4 W/kg$ como limiar de exposição para o ser humano às radiações eletromagnéticas, na faixa de frequência onde operam os sistemas celulares. A norma *ICNIRP* acrescentou um fator de segurança de 10, levando o limiar recomendado para $0,4 W/kg$ como valor médio no corpo todo. Quando a absorção de energia, for em partes do corpo, como a cabeça exposta às radiações em uma comunicação móvel, mesmo se a *SAR* média total estiver abaixo do limite, a *SAR* local poderá assumir altos valores, sendo prejudiciais à saúde. Na exposição parcial como vários estudos haviam mostrado que a relação entre o valor de pico de *SAR* local e o médio no corpo todo era de cerca de 25:1, o limite local foi estabelecido como $10 W/kg$. Na revisão dessa norma, acrescentou um fator de 5 para a proteção da população em geral levando o limite da *SAR* média total de $0,08 W/kg$ e a parcial para $2 W/kg$ para um tempo de exposição de *seis minutos*.

Outros países adotam o mesmo limiar tendo uma pequena variação nos níveis estabelecidos. No Brasil as diretrizes adotadas são baseadas nas normas da *ICNIRP*

e tratam também dos limites da exposição à radiação emitida por torres de transmissão, ou seja, das antenas instaladas nessas torres, entre as quais incluem as *ERB's* do serviço móvel celular^{12, 14,16, 22}.

As restrições básicas para *SAR* média de corpo inteiro e *SAR* localizada, para frequências entre 10 MHz e 10 GHz constam na Tabela 3.1³⁹. Com base nesses valores foram estimados os valores de intensidade de campo eletromagnético externos e densidade de potência correspondentes nas diversas faixas do espectro de radiofrequência, para constituir os limites para exposição dos corpos à radiação eletromagnética, ou seja, os valores de *Exposição Máxima Permitida – EMP*, que veremos a seguir nas Tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3.1 – Restrições básicas de SAR

Exposição	Frequência	Corpo todo	Cabeça /tronco	Membros
Ocupacional	10MHz – 10GHz	0,4W/kg	10 W/kg	20 W/kg
Público em geral	10MHz – 10GHz	0,08W/kg	2 W/kg	4W/kg

As restrições básicas devem levar em conta as seguintes restrições para calcular a *SAR*:

- ❑ Todos os valores de *SAR* devem ter sua média avaliada ao longo de qualquer intervalo de 6 minutos.
- ❑ No cálculo do valor médio da *SAR* localizada, deve ser utilizada massa de 10 g de tecido contíguo.

A concordância entre os limites de exposição às radiofrequências e microondas recomendadas pelas principais normas internacionais reflete o consenso existente no meio científico no tocante aos critérios obedecidos na elaboração das normas^{13, 40}. Deste parâmetro, os órgãos reguladores de alguns países estão exigindo que os fabricantes publiquem e até mesmo gravem nos aparelhos o valor medido da *SAR*.

Na avaliação da exposição, nos casos em que ela não é uniforme, considera-se que os limites da *SAR* localizada não serão excedidos se o valor de pico do campo elétrico, no local sob análise, não exceder a 32 (trinta e dois) vezes os limites de

exposição constante das Tabela 3.2 e Tabela 3.3, que podem ser acompanhados pela Figura 3.1, todos estes dados estão indicados na norma da ANATEL³⁹.

Para frequências superiores a 10 MHz até 10 GHz, sugere que a média dos máximos da intensidade do campo não exceda 32 vezes o nível de exposição dado para a intensidade de campo³⁹.

Tabela 3.2 – Níveis de referência Ocupacional³⁹.

Frequência	Campo E V/m	Campo H A/m	Densidade de potência S W/m ²
10 – 400 MHz	61	0,16	10
400 – 2000 MHz	$3\sqrt{f}$	$0,008\sqrt{f}$	$f / 40$
2 – 300 GHz	137	0,36	50

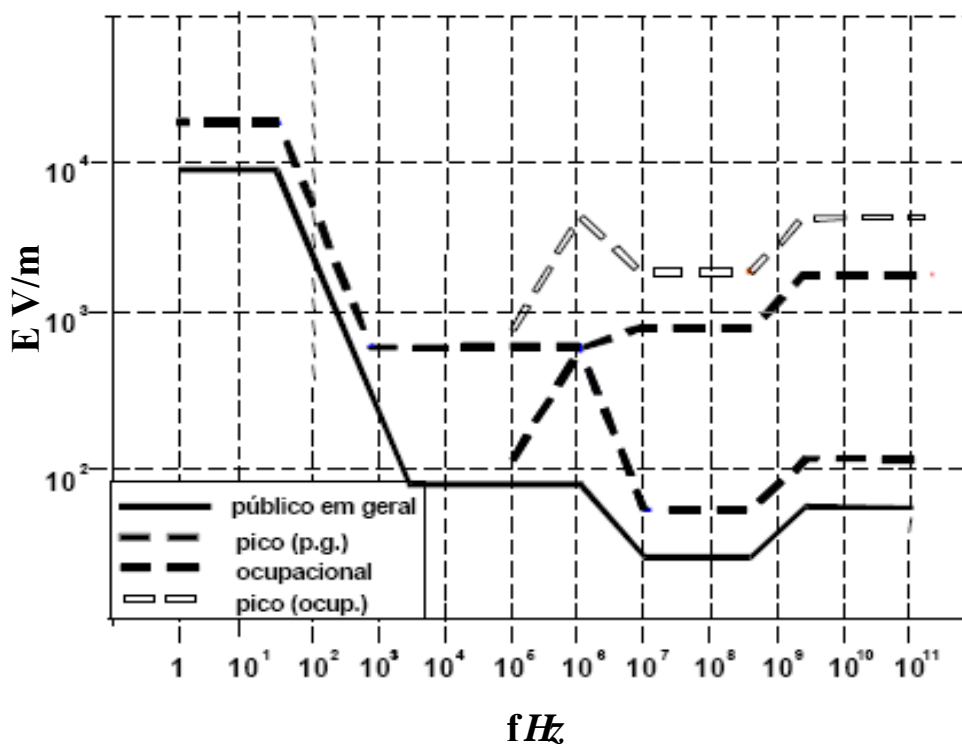


Figura 3.1 – Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo.

Tabela 3.3 – Níveis de referência para o público em geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo.

Frequência	Intensidade de Campo E V/m	Intensidade de Campo H A/m	Campo μT	Densidade de potência Seq. W/m^2
Até 1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	–
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	–
8 – 25 Hz	10 000	$4 000 / f$	$5 000 / f$	–
0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	–
0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
1 – 10 MHz	$87 / \sqrt{f}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$	$0,0046 \sqrt{f}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

3.4 – NÍVEIS PERMITIDOS EM OUTROS PAÍSES

A Tabela 3.4 apresenta os padrões comparativos para níveis de exposição do público em geral para as frequências entre 900 e 1800 MHz em diversos países⁴¹. Podemos observar pela mesma tabela que existe uma variação de níveis adotados de densidade de potência por vários países.

Tabela 3.4 – Restrições Básicas de Vários Países.

Níveis do Público em Geral	Frequência em MHz	Campo elétrico V/m	Densidade de potência W/m^2
NRPB 1993	900	112	33
	1800	194	100

FCC- NCRP-1998	900	47	6
	1800	61	10
Canadá -1993	900	47	6
	1800	61	10
ICNIRP,1998(reconhecido pela OMS) e o BRASIL	900	41	4,5
	1800	58	9
Austrália, 1998	900/1800	27	2
Escócia	900	19	4,3
Bélgica,2001	900	20,6	1,125
	1800	29,1	2,26
Polônia, 2000	300 – 300000	19	1
		6	0,1
Rússia,1998	300 – 300000	6	0,1
Suíça, 2000	900	4	4,2
	1800	6	
Luxemburgo, 2001	900	3	0,1
	1800	6	
Itália, Gênova, 2000	900/1800	3	0,1
U.E. e Reino Unido.	900/1800	3	4,35
Grécia	900/1800	2	4,35
Salzburg	300 – 300000	0,62	0,001

3.4.1 – NORMAS BRASILEIRAS

Temos em nosso país, Normas Regulamentadoras – NR, aprovadas pela Portaria nº 3214/78, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho, que dispõe sobre a Segurança e Medicina do Trabalho¹³.

- NR – 9: Trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, podem adotar os limites recomendados pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists –ACGIH* ou os limites estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os primeiros

- NR – 15, Anexo 7: Esta norma é meramente qualitativa, para a exposição de trabalhadores expostos às *RNI's* até 8 horas por dia em ambientes controlados, não estabelecendo limites.
- Em 15 de julho de 1999 o conselho diretor da *ANATEL* decidiu adotar, como referência provisória para avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos, os limites propostos pela – *ICNIRP*.
- Em 2002, com a Resolução nº 303, a *ANATEL* estabeleceu uma regulamentação de âmbito nacional sobre a exposição a campos eletromagnéticos de radiofrequências, adotando limites uniformes para toda a população brasileira, bem como critérios válidos para todos os operadores de serviços de telecomunicações que utilizem estações transmissoras.

O Conselho Diretor da *ANATEL* deliberou em sua reunião nº 155, realizada em 28 de março de 2001, submeter a comentários e sugestões do público em geral nos termos do artigo 42 da lei nº 9.472 de 1997, e do artigo 67 do regulamento da Agência Nacional de Telecomunicações Proposta de Regulamento sobre Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos, na Faixa de Radiofrequência, na forma do Anexo à consulta Pública nº 285, 30 de março de 2001. Como resultado dessa consulta, a *ANATEL* adotou, no Anexo à Resolução nº 303, 2 de julho de 2002, os níveis de referência 9 *KHz* a 300 *GHz*, para exposição do público em geral e para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo³⁹. Este é o documento legal que regulamenta os níveis de radiações não-ionizantes, permitidos em lugares públicos e ocupacionais em nosso país. A Tabela 3.2 indica os níveis de referências para população ocupacional e a Tabela 3.3 indicam os níveis para população em geral, assim como a Figura 3.2 mostra os valores de referência para exposição do público em geral, valor eficaz da intensidade de campo elétrico não perturbado.

Os valores devem ser calculados em qualquer período de 6 *minutos*. O valor da frequência deve ser em *MHz*. Deve-se entender os níveis de referência como valores médios espaciais, calculados sobre o corpo inteiro do indivíduo^{39, 42}.

O diário oficial da União em 10/07/02 publicou a resolução número 303 de 02/07/02, que é o documento mais novo da *ANATEL* que trata sobre *RNI'S*. Este

documento não traz novidades em relação ao anterior no tocante aos valores máximos de campos suportados por uma pessoa. No entanto aborda a maneira de se efetuar medições de radiações, expressando sua preocupação no tipo de onda que atinge uma pessoa. Introduce um valor fixo de 2,56 nos cálculos da densidade de potência, representando em módulo um coeficiente de reflexão no solo de $\rho = 0,6$ que leva em conta a possibilidade de que campos refletidos possam se adicionar em fase ao campo incidente direto³⁹.

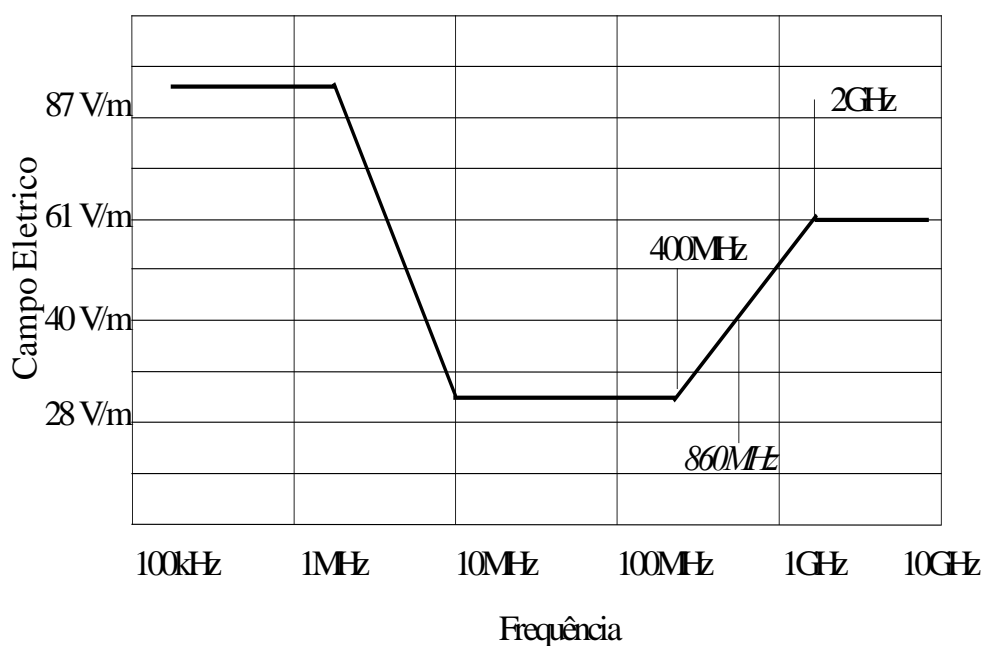


Figura 3.2 – *Exposição máxima permitida ao público em geral, para o campo elétrico.*

3.4.2 – CÁLCULO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA QUE ATINGE O SER HUMANO A PARTIR DA RADIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO BASE

Em condição de campo distante e com propagação no espaço livre temos que a densidade de potência do campo em um ponto situado a uma distância d da fonte é dada por:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \cdot 2,56 \quad (3.14)$$

Onde, S = a densidade de potência, em W/m^2 , $EIRP$ = a potência equivalente isotrópica radiada W , medida sobre a casca esférica com área superficial de $4\pi d^2$ d = distância da antena até a pessoa humana em m , uma análise detalhada do fator 2,56 vai ser feita no Apêndice A.

A norma da ANATEL também apresenta a Tabela 3.5, onde se pode calcular a distância mínima que uma pessoa deve manter em relação à antena de radiação³⁹.

Tabela 3.5 – *Distância Mínima à Antena, para exposição da população em geral.*

f	d m	d m
1 a 10 MHz	$0,10\sqrt{EIRP \times f}$	$0,129\sqrt{ERP \times f}$
10 a 400 MHz	$0,319\sqrt{EIRP}$	$0,409\sqrt{ERP}$
400 a 2000 MHz	$6,38\sqrt{EIRP / f}$	$8,16\sqrt{ERP / f}$
2000 a 300000 MHz	$0,143\sqrt{EIRP}$	$0,184\sqrt{ERP}$

onde $EIRP$ é a potência equivalente isotrópica radiada em W ; f é a frequência em MHz, d é à distância em m e ERP é a potência efetiva radiada em W .

Conforme comunicado pela ANATEL:

*“Será exigida de todas as operadoras de serviços de telecomunicações a apresentação de declaração de que suas estações de radiocomunicações atendem aos limites estabelecidos pela ICNIRP”*³⁹.

As Diretrizes da ICNIRP vem merecendo uma aceitação internacional crescente, principalmente por terem sido elaboradas por especialistas de vários países, sem sofrer a influência de órgãos governamentais, interesses comerciais, industriais ou de grupos restritos.

Aos municípios cabe cuidar dos aspectos urbanísticos, do uso do solo e de outros itens de interesse e competência local, mas a proteção da população exposta às radiações de radiofrequências e microondas é certamente de interesse nacional e não apenas local, cabendo ao executivo e ao legislativo federal estabelecer as normas adequadas³⁷.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SILVA, R. C. da, *Física das radiações*, v. 1. Salvador: Érica, 2003.
- [2] BECHER, O. R. and GARY, S. O corpo elétrico: Eletromagnetismo e a função da vida. Paperbacks de Harper: ISBN:0688069711, maio 1998.
- [3] KATZ, B. *Nerve: Muscle and Synapse*. New York: McGraw-Hill , 1966.
- [4] ADAIR, E. R. et al, Minimal changes in hypothalamic temperature accompany microwave-induced alteration of thermoregulatory behavior. *Bioelectromagnetics*, v. 5, p. 13-30, 1978.
- [5] ADAIR, E. R. ADAMS, B. W. Microwaves modify thermoregulatory behavior in squirrel monkey. *Bioelectromagnetics*, v. 1, p. 1-20, 1980.
- [6] HEATH, C. W. Electromagnetic field exposure and cancer: a review of epidemiological evidence. *Ca. Câncer: J. Clin*, v. 46, p.29-44, 1996.
- [7] MATANOSKI, G. M. BREYSSE, P. N. ELLIOT, E. A. Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet*, v. 337, 737f. 1991.
- [8] *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. Recomendação do Conselho – relativa à limitação da exposição da população aos campos eletromagnéticos (0-300 GHz), p. 439, jul.1999.
- [9] National Radiological Protection Board - NRPB. Biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation. Clinton UK. 1991.
- [10] TENFORD, T. S. Biological interaction and human health effects of extremely low frequency magnetic fields. Columbia, OH: Battelle Press, 1990.
- [11] SCUDELER, F. R.; SILVEIRA, M.; FARIA, V. V. Didactic concepts of bioelectric beings and the interaction with radiations proceeding from cellular systems. IEEE: GCETE. Santos, SP., mar. 2005.
- [12] Institute of Electrical and Electronics engineers - IEEE. Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields (3 kHz to 300 GHz). New York: C95.1-1991, 1992.

-
- [13] SENISE, J. T. Efeitos biológicos das radiações não-ionizantes. Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações, v. 11, dez. 1996.
- [14] Federal Communications Commission - FCC. Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation.. Washington. 1996.
- [15] Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética – ABRICEM. Disponível em < www.abricem.com.br> acesso em: 2004.
- [16] international Commission on Non-ionizing Radiation Protection – ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, v. 74, n. 4, apr.1998. Disponível em < <http://www.icnirp.de/>>. Acessado em : jan.2005.
- [17] SENISE, J. T. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos de radiofrequência e microondas. Workshop Nacional. USP, mar. 2001.
- [18] SLOVIC, P. Will people believe mobile phones are safe?. IEEE Spectrum. v. 37, n. 8, ago. 2000.
- [19] SIMÕES, M. Radiação Celular – O Perigo Real. Revista Nacional de Telecomunicações, ano 20, n. 233, jan.1999.
- [20] HYLAND, J. G. Non-thermal bioeffects by low irradiation of living systems, Eng-Science and Education Journal, v. 7, pp 445-451, 1980.
- [21] GANDHY, O. P.; LAZZI, G. and FURSE, C. M. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz, IEEE: Microwave Theory and Techniques, v. 44, pp.1884-1897, 1996.
- [22] ANATEL- *AGÊNCIA NACIONAL de TELECOMUNICAÇÕES*, “Diretrizes para Limitações da Exposição à Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no Tempo (até 300 GHz), 12/1999.
- [23] European Committee for Electrotechnical Standardization – CENELEC. ENV 50166-2, “Human Exposure to Electromagnetic Fields. High Frequency 10 (kHz to 300 (GHz)”, disponível em < <http://www.info.europe.fr/europe.web>>, acesso em 2005.
- [24] SALLES, A. A. Pesquisa investiga o perigo do celular. Revista Nacional de Telecomunicações. Ano 20, n. 233, jan. 1999.

-
- [25] DIAS, M. H. C. SIQUEIRA, G. L. Considerações sobre os efeitos à saúde humana das irradiações emitidas por antenas de estações rádio-base de sistema celulares. Revista de Telecomunicações . INATEL, v.5, n.1, pp. 20-45. jul. 2002.
- [26] GANDY, O. P. Some numerical methods for dosimetry: Extremely low frequencies to microwave frequencies. Radio Science. v. 30, n.1, pp 161-177, 1995.
- [27] SAR-Data disponível em < www.sardata.com/sardata >, acesso em sept. 2003.
- [28] POLK, C. and POSTOW, E. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. 2 ed. CRC Press, 1996.
- [29] BERNARDI, P. et al., SAR distribution and temperature increase in anatomical model of the human and exposed to the field radiated by the user antenna in the wireless LAN. IEEE: Microwave Theory Tech. v. 46, dez.1998.
- [30] BERNARDI, P.; CAVANARO, M.; PISA, S. Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular phone user. IEEE: Microwaves Theory and Techniques. v. 48, jul.2002.
- [31] GANDHY, O. P.; GIANLUCA, L. and FURSE, C. M Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. IEEE :Microwave Theory and Techniques. v. 44, n.10, out. 1996.
- [32] SLOVIC, P. Will people believe mobile phones are safe? IEEE: Spectrum, v. 37, n. 8, aug.2000.
- [33] MICHAELSON, S. M. Health implications the exposure to radiofrequency microwave energies. Br. Jour Indust: Med. v. 39, 1982.
- [34] H. Kriticos, and H. P. Schwan, “Potential Temperature Rise Induced By Electromagnetics Field Brain Tissue”, IEEE Trans. Biomed. Eng., v.12, 1978.
- [35] WHO/OMS. Organização Mundial da Saúde – International EMF (Electromagnetic Fields) Project. Disponível em < <http://www.who.int/>>. acesso em: ago. 2004.

-
- [36] DRAGAN, P. *Exposure of humans to electromagnetic radiation*. croatia: FESB-Split, 2002.
- [37] DOTE, A. C. Exposição ambiental a campos eletromagnéticos. Revista Ecologia Integral, v. 3, maio 2003.
- [38] HADJEM, A. et al . Study of specific absorption rate (*SAR*) induced in two child head models and in adult heads using mobile phones. IEEE: Microwave Theory and Techniques, v. 53, n. 1, jan. 2005.
- [39] ANATEL, Anexo à resolução nº 303 de 02/06/2002, disponível em <<http://www.anatel.gov/>> , acessado em ; dez. 2004.
- [40] PHILLIPS, A ., Comparing standarts for general public rf exposure levels. Disponível em <<http://www.powerwatch.org.uk/microwave/1standsx.htm>>. Acesso em: 2004.
- [41] DOTE, A. C. Poluição ambiental e exposição humana a campos eletromagnéticos. 2003, 175 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos Hídricos), Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte. 2003.
- [42] ABRICEM, Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em www.Abricem.com.br. Acesso em: fev.2005.

CAPÍTULO 4

ESTADO DA ARTE E O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

4.1 – INTRODUÇÃO

Existe uma grande variedade de efeitos térmicos e não térmicos adversos à saúde humana, proveniente da exposição prolongada às radiações de *RF* e microondas, com *SAR* inferior a 4 *W/kg*. Neste capítulo, o enfoque está somente ao estudo dos efeitos atérmicos. Teremos um resumo dos principais estudos já realizados sobre esses efeitos nos seres vivos¹.

4.2 – UMA SÍNTESE DO ESTUDO DOS EFEITOS DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Neste parágrafo apresentaremos algumas publicações relacionadas aos efeitos das radiações de *campos eletromagnéticos de rádiofrequência e microondas*.

□ Stert et al.², Adair e Adams³, de Lorge e Ezell⁴, D'Andrea et al⁵, realizaram estudos com roedores e macacos, demonstraram uma mudança comportamental nas respostas termo-reguladoras. Foi observada uma queda no desempenho de tarefas por macacos e ratos, para valores de *SAR* entre 1 a 3 *W/kg*. Nos macacos, as alterações no comportamento termo-regulador começam quando a temperatura na região do hipotálamo tem um pequeno aumento. O hipotálamo é considerado como o centro de controle de processos termo-reguladores normais e sua atividade pode ser modificado por um pequeno aumento da temperatura local, sob as mesmas condições em que a temperatura retal permanece constante.

□ Adair, *et al* em 1984, realizaram experiências em macacos e foi observado que as alterações no comportamento termorregular começam quando a temperatura na região do hipotálamo aumenta apenas no intervalo de 0,2 a 0,3 °C⁶.

□ Neil Cherry, físico da Universidade de Lincoln, na Nova Zelândia, em 2000, estudou e acompanhou várias publicações científicas e as resumiu em um relatório, o qual concluiu: os estudos científicos no nível celular, envolvendo animais e a população humana, mostram uma evidência, obrigatória e abrangente, de que a exposição à *RF* e às microondas até a níveis fracionários dos atuais padrões de segurança, resulta em funções alteradas do cérebro, interrupções do sono, irritabilidade, dores de cabeça, fadiga crônica, debilitação da memória e do aprendizado e muitos outros efeitos adversos à saúde foram detectados. Ele critica a avaliação sobre a saúde nas diretrizes da *ICNIRP* para radiação de radiofrequência e de microondas na faixa de 100 *kHz* a 300 *GHz*⁷.

Segundo o pesquisador, as normas devem ser reformuladas o mais rápido possível e os níveis deverão ser bem mais restritos, pois há evidências científicas que os *CEM* externos interagem com os de organismo vivo⁸. Além disso, há evidência epidemiológica suficiente para estabelecer a relação de causa e efeito entre a exposição crônica a baixo nível de *CEM* na faixa *RF/MO* e muitos efeitos adversos à saúde. Seu relatório foi publicado com o seguinte tema “*Criticism of the Health Assessment in the ICNIRP Guidelines for Radiofrequency and Microwave Radiation 100 KHz a 300 GHz*”.

Entre os temas abordados, cabe destacar: Princípios bioeletromagnéticos, história da visão térmica da radiofrequência, abordagem da *ICNIRP* e da *OMS* nos anos 90, avaliação da *ICNIRP* de 1998, mecanismos biológicos não térmicos, padrão recomendado de exposição pública a rádiofrequência e microondas⁹.

□ Motluk *et al* em 1997, realizaram experimentos laboratoriais e demonstraram que sinais de 10 *Hz* incrementam a velocidade de reação do cérebro e sinais de 3 *Hz* diminuem¹⁰. Estes experimentos já haviam sido verificados por König¹¹ e Hammer¹². Estes dão provas que pequenos níveis de sinais artificiais interagem com o organismo humano modificando suas características normais. Também foi observado que pequenas doses de sinais modificam o fluxo de íons de cálcio nas células do

cérebro, acarretando uma modificação na secreção da serotonina e melatonina, implicando no poder imunológico das células, ficando o organismo humano mais susceptível as doenças.

- Lai and Singh, realizaram várias experiências com ratos e relataram que os animais expostos à radiação de uma frequência de 2450 MHz durante 45 min, submetidos a uma SAR de 0,6 a 1,2W/kg, apresentavam quebra na molécula de DNA nas células do cérebro¹³.

- Mann et al em 1997 detectaram alterações no exame eletroencefalograma, de pessoas submetidas às radiações de ondas eletromagnéticas provenientes de equipamentos celulares com níveis de densidade de potência de 50 $\mu W/cm^2$. Estas alterações provocavam distúrbios no sono, irritabilidade, funções de memória e aprendizado. Eles concluíram que, na área de comunicação móvel envolvendo seres vivos, fica evidenciada uma abrangência de que as exposições às radiações de radiofrequência e microondas, a níveis muito baixos resultam em funções alteradas do cérebro, interrupção do sono, depressão, debilitação da memória, fadiga crônica, dor de cabeça, e outros efeitos reprodutivos desfavoráveis à saúde¹⁴.

- Bourgeois em 1997 fez experiências com jovens e constatou que radiações na faixa da frequência de microondas sob uma densidade de potência de 500 $\mu W/cm^2$ irradiadas, durante 2 minutos provocavam alterações substanciais no nível do limiar de audição¹⁵.

- Jerry Phillips et al em 1998, relataram rompimentos simples e duplos das fitas de DNA, com exposição às frequências de telefonia celular de 813,5 MHz e 836,5 MHz, em baixas intensidades de SAR estimadas em média com valores de 2,4 e 2,1 $\mu W/g$. Com esta experiência ele comprovou aquelas realizadas por Lai e Singh¹⁶.

- Blank e Goodman¹⁷ postularam em 1997, que o mecanismo de transdução de um sinal eletromagnético na membrana celular, pode ser explicado por meio de uma interação direta das forças elétricas e magnéticas, com as cargas elétricas móveis no interior das enzimas. Estudos recentes mostraram fluxos de elétrons nas bases empilhadas do DNA, e desta forma, CEM podem estimular a transcrição elétrica e interagir com o DNA diretamente.

□ Dutta et al, em 1989, realizaram experiências com pássaros, gatos e células humanas e relataram que a exposição à *RF* muda o efluxo de íons de cálcio significativo com valores de *SAR* bem baixo entre 0,05 a 0,005 *W/kg* e frequência de 147 *MHz*, com amplitude modulada. Além disso, o aumento do efluxo de íons de cálcio com uma *SAR* de 0,05 *W/kg* exibiu um valor de pico, na faixa de frequências modulantes de 13 a 16 *Hz*, e outro na faixa de 57,5 a 60 *Hz*. Segundo os autores, estes resultados confirmam que a *RF* de amplitude modulada pode induzir diferentes respostas nas células do sistema nervoso¹⁸.

□ Salford *et al*, em 1994, estudaram a barreira de sangue do cérebro, que exclui as toxinas e outras substâncias danosas, mas permite a entrada de outras, como à glicose. A equipe observou o vazamento ou o aumento da permeabilidade dessa barreira, com uma radiação de *RF* na frequência de 915 *MHz*¹⁹.

□ Preece et al, em 1999 reportaram alterações em teste de memória realizada com voluntários, quando irradiados por ondas provenientes de telefones celulares portáteis com potências entre 1 e 0,125 *W*, na frequência de 915 *MHz*^{20, 21}.

□ Vários outros pesquisadores Mild et al²² e Hocking²³, detectaram que seres vivos quando submetidos à radiações de *CEMRF/MO*, apresentaram distúrbios, tais como: sono, irritabilidade, perda na memória, etc...

□ Kirschvink et al, em 1993, relataram alterações no efluxo de íons de cálcio do tecido cerebral quando o mesmo era submetido a níveis de radiação de até 0,0005 *mW/g*. A frequência de teste foi de 915 *MHz*²⁴.

□ Bawin et al, em 1975 relataram que a exposição de galinhas a ondas de 147 *MHz*, com sinal de modulação de 16 *Hz* causava efluxo de cálcio²⁵.

□ Adey et al., confirmou o efluxo de cálcio nas células do cérebro de gatos expostos a radiação de 450 *MHz* com modulação *AM* de 16 *Hz* e com *SAR* de 0,29 *mW/g*²⁶.

□ Adey em 1993 relata nas suas pesquisas sobre o impacto dos radicais livres, no cérebro, no sistema vascular, nas doenças de regulação do stress oxidativo, mal

de *Alzheimer* e mal de *Parkson*, doenças coronárias, envelhecimento precoce e câncer²⁷.

- Repacholi et al, em 1997, relataram a maior incidência de linfomas em ratos submetidos a *SAR* entre 0,01 e 4,2 *W/kg*, na frequência de 900 *MHz*, estudados num período de 18 meses^{28, 29}.

- Rothman et al, 1996, estudaram o uso de fones de ouvido em aparelhos celulares. Analisaram um universo de 250000 pessoas e concluíram que a incidência de câncer entre os usuários de fones de ouvido era menor do que os que não usavam este artifício, porém os dados não foram estatisticamente significantes³⁰.

- McRee et al, realizaram pesquisas biológica em pequenos animais. Observaram que coelhos submetidos a radiações de 2375 *MHz*, durante 60 dias com níveis de 0,6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, apresentaram alterações no exame de eletroencefalograma³¹.

- Danniells et al, em 1998, relataram que genes expostos ao aquecimento provocado por radiação de 750 *MHz* a uma potência de 5 *W*, modulada ou não, por poucas horas, apresentavam alterações mensuráveis na proteína, dentro das células³².

Segundo a obra de *Vitor Baranaukas*, o telefone celular é apresentado pela mídia sempre como um produto que pode ser usado por qualquer pessoa, sem nenhum tipo de risco em potencial para a saúde do usuário, entretanto, poucos sabem que a indústria de telefones celulares ainda não conseguiu demonstrar se a quantidade de radiação introduzida por este aparelho no nosso cérebro é danosa³³.

O músculo do coração é um músculo involuntário, portanto para funcionar não necessita do comando da vontade do indivíduo. O nó sinotrial existente neste músculo age como um marca passo, gerando os impulsos elétricos que produzem o batimento cardíaco na razão 60 a 80 batimentos por minuto, portanto é um órgão bioelétrico, cada pulsação elétrica dá início a uma cascata de íons de cálcio que inunda o músculo e causam a contração. A interferência do sinal bioelétrico com sinal eletromagnético externo leva a uma doença do coração e ao infarto. Portanto deve se ter em mente que sinais externos influenciam as atividades normais de seres vivos.

4.2.1 – SUMÁRIO DE DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

As descobertas científicas mais recentes sobre efeitos biológicos gerados por campos eletromagnéticos estão relacionadas com uma seqüência de eventos e que levam a acreditarem-se como significativas no desenvolvimento de doenças degenerativas e câncer. Existem evidências científicas de uma associação entre várias patologias e a exposição humana prolongada a baixas e altas freqüências.

A Figura 4.1, mostra um quadro com os efeitos biológicos à exposição e como estes podem acarretar alterações nas condições fisiológicas e potenciais doenças. Com a crescente demanda no mercado nacional e internacional dos sistemas de comunicação móvel se faz necessário um avanço nas pesquisas científicas para um resultado mais conclusivo³⁴.

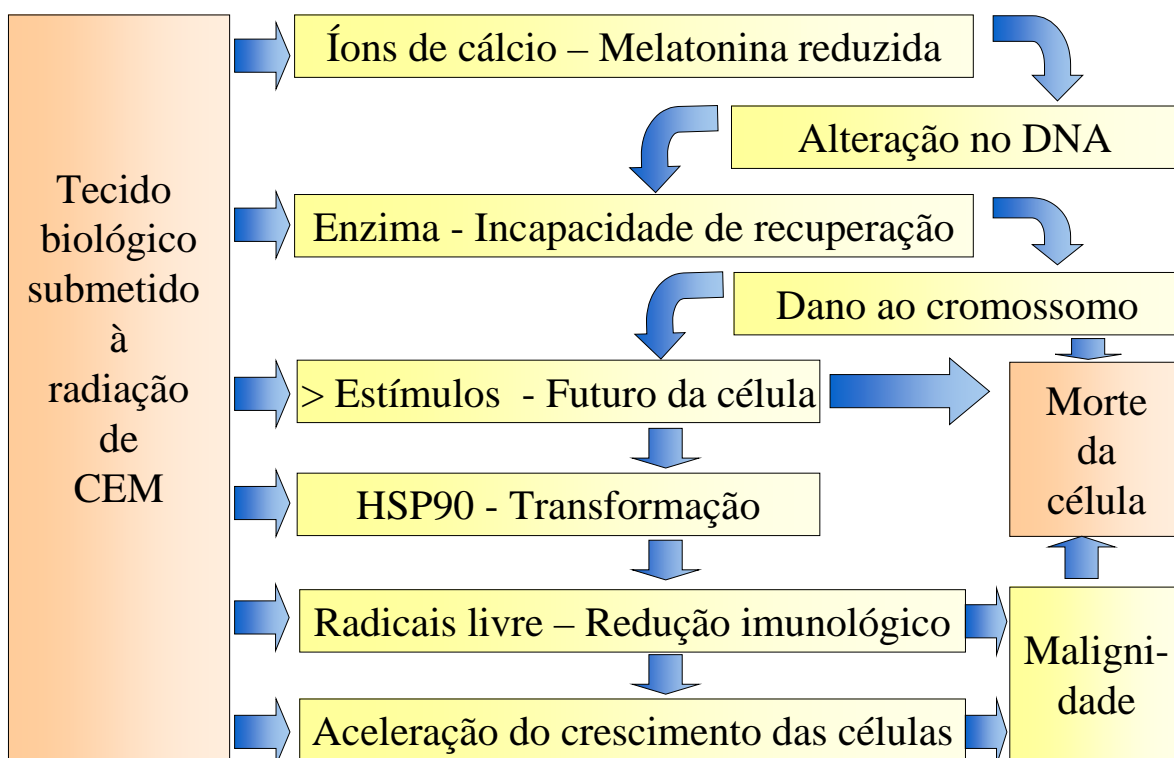


Figura 4.1 – Sumário de Descobertas Científicas.

Da Figura 4.1 nota-se que o organismo vivo exposto aos *CEM* pode ter conseqüências danosas tais como: interações dos campos eletromagnéticos externos com as membranas celulares, ou seja, uma mudança elétrica de baixo nível no meio ambiente conduz a uma resposta bioquímica citoplasmática que, por sua vez envolvem mudanças em estados funcionais e de proliferação das células. Sinais

refletindo mudanças de temperatura convergem ao sistema nervoso central, aumentando os radicais livres, conseqüentemente modificando a atividade dos principais sistemas de controle neuroendócrino, acarretando alterações nos neurohormônios tais como: serotonina e melatonina, causando, diminuição no sistema imunológico, envelhecimento das células e ou transformação das mesmas. Levando a ruptura simples ou duplas dos filamento de *DNA*, ocasionando a incapacidade de recuperação e tendo como conseqüência danos aos cromossomos, comprometimento ao futuro das células e transformando em malignidade^{35, 34}.

A atual realidade é que o reconhecimento que a exposição *não térmica* ou de *baixa intensidade* pode ser detectada em tecidos vivos e resultar em efeitos biológicos bem definidos com uma *SAR* bastante inferior a de 4 *W/kg*, entretanto as experiências científicas ainda são insuficientes para estabelecer padrões de exposição confiáveis. A evidência existente demanda um aumento no esforço de pesquisa sobre possíveis impactos ao organismo vivo e sobre o estabelecimento adequado de exposição e dose³⁶.

4.3 – PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

“*Precaução*” é um critério de abordagem de riscos aplicado em circunstâncias com alto grau de incerteza científica, refletindo a necessidade de se tomar atitudes em face aos riscos potencialmente sérios, sem esperar resultados da pesquisa científica. O *Princípio da Precaução* é um novo modo de pensar, sobre a proteção ambiental ou a proteção à saúde e se baseia no fato que não devemos expor pessoas e o meio ambiente a danos. Este princípio começou a ser estudado na Europa em alguns países, entre eles Alemanha, Itália, Suíça, Suécia e a Dinamarca, os quais adotaram este princípio como guia para política do meio ambiente e da saúde pública³⁷.

Uma das mais importantes expressões do *Princípio da Precaução* internacional é a declaração feita na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento *AGENDA 21*, que foi realizada em Julho de 1992 no Rio de Janeiro, que rege: *Com fim de Proteger o meio ambiente, os Estados devem aplicar amplamente o Princípio da Precaução, conforme as suas capacidades. No caso de*

haver perigo de dano, grave ou irreversível, a falta de uma certeza absoluta não deverá ser utilizada para postergar-se a adoção de medidas eficazes em função do custo para impedir a degradação do meio ambiente^{34, 38}.

4.3.1 – COMPONENTES DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

Uma abordagem do Princípio da Precaução aplicado à tomada de decisão ambiental e de saúde pública inclui cinco componentes especificados³⁴:

- ❑ *Agir com precaução antes que haja certeza científica de causa e efeito.*
- ❑ *Estabelecer metas.* O *Princípio da Precaução* encoraja o planejamento baseado em metas bem definidas, em vez de cenários futuros e cálculos de riscos que podem ser prejudicados pelo erro e pela parcialidade. Planejar em vez de prover um futuro incerto é um tipo de ação que cria poucos cálculos incorretos e apressa soluções inovadoras.
- ❑ *Procurar e avaliar alternativas.* Em vez de perguntar qual nível de contaminação é seguro a abordagem do *Princípio de Precaução* indaga como reduzir ou eliminar danos e considera todos os meios possíveis para atingir determinada meta, inclusive antecipando atividade propostas.
- ❑ *Mudar o ônus da prova.* Os componentes de uma atividade devem provar que esta não causará dano indevido à saúde humana ou aos ecossistemas e deve-se informar o público e as autoridades, quando o impacto potencial for encontrado.
- ❑ *Desenvolver métodos e critérios mais democráticos para as tomadas de decisões de um produto.* Com este item observamos que o público tem o direito de saber exatamente das atividades existentes e participar das decisões quanto os planejamentos futuros.

4.3.2 – RECOMENDAÇÕES PARA A PRECAUÇÃO

A. Dote, no seu trabalho voltado para o meio ambiente evidência que: Para concretizar a ação do *Princípio de Precaução*, faz-se necessário:

- O Governo deve criar uma Agencia Federal específica, que monitore as antenas e suas radiações, de uma maneira eficaz, como ocorre nos *EUA* como a *FCC* e em outros países, para garantir a tranqüilidade da população, bem como para coordenar as ações com vistas à proteção da saúde dos usuários de aparelhos de comunicação pessoal sem fio. Inclusive na faixa de frequência extremamente baixa.
- Fazer gestões junto aos Ministérios da Saúde, da ciência e Tecnologia e do Meio ambiente, no sentido de se estabelecer um Programa Nacional de Bioeletromagnetismo, congregando profissionais das diversas áreas envolvidas com o assunto, visando a biocompatibilidade eletromagnética entre o homem e a tecnologia, que haja um esforço nacional para uniformização de procedimentos e métodos para estudos experimentais epidemiológicos
- Assessorar os Poderes públicos municipais, estadual e federal, Propor às autoridades governamentais à adoção do *Princípio da Precaução*, até que se disponha de informação científica mais conclusiva no assunto, de forma que o Estados deverão estabelecer através de recomendações um quadro comunitário relativamente à exposição das radiações aos *CEM*, tendo em vista a proteção da população.
- Os órgãos regulamentadores garantir a observância das restrições básicas dos limites vigentes e propor revisões periódicas, sempre que indicados por novos estudos, devem ser avaliadas as situações que implicam fontes de mais de uma frequência assim como as e comparações com os níveis de frequência. Fiscalizar se os fabricantes de aparelhos celulares pelo órgão regulador *ANATEL*, se os mesmos apresentam medida de SAR inferior a *2 miliwatts por grama*.
- A industria deve reprojeter os aparelhos celulares, de tal modo a minimizar a exposição na cabeça do usuário. Obrigatoriedade da divulgação da *SAR* pelos fabricantes, sendo necessário um rastreamento dos modelos que estão sendo utilizados.

- As operadoras deverão proporcionar a população, a informação atual e adequada acerca dos efeitos dos *CEM* sobre a saúde e acerca das medidas adotadas para proteção.³⁴

Se existem evidências plausíveis de que as ondas eletromagnéticas possam causar danos à saúde humana, na melhor das hipóteses, ficaria pairando a dúvida sobre a nocividade do sistema celular e a poluição causada por ele. Portanto, o *Princípio de Precaução* deve ser aplicado, onde a informação científica é insuficiente e quando há indicações sobre os possíveis efeitos no ambiente, ou nos seres vivos³⁴.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALZANO, Q., et al, *Mobile communication safety*. Chapman & Hall, 1997.
- [2] STERN, S., et al, Effects on thermoregulatory behavior in rats. *The FASEB Journal*, n. 6, 1992
- [3] ADAIR, E. R., et al. Minimal changes in hypothalamic temperature accompany microwave induced alteration of thermoregulatory behavior. *Bioelectromagnetics*, v. 5, p.13-30, 1984.
- [4] LOEGE, J. de; EZELL, C. S. Observing responses of rats exposed to 1,28 and 5,62 GHz microwaves. *Journal of Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, v. 1, 1982.
- [5] D'ANDREA, J.A., et al. Behavioral and physiological effects of chronic 2450-MHz microwaves irradiation of the rat at 0,5 mW/cm². *Bioelectromagnetics*, v. 7, p. 45-56, 1986.
- [6] ADAIR, E. R., et al. Microwaves modify therrmoregulatory behavior in squirrel monkey: *Bioelectromagnetics*, v. 1, p. 1-20, 1988.
- [7] CHERRY, N. Actual or potential effects of *ELF* and *RF/MW* radiation on accelerating aging of human, animal or plant cells. Lincoln University. Auckland: New Zealand, 1998.
- [8] CHERRY, N. Criticism of the Health Assesmente in the ICNIRP Guidelines for Radiofrequency and Microwave Radiation. Lincoln University. New Zealand, jan. 31st, 2000. Disponível em www.emfguru.com/EMF/genotoxic/GENOTOXIC-EMR-paper. Acesso em: 2005.
- [9] CHERRY, N. Scientific evidence of the risk of adverse health effects from chronic exposure to low-level electromagnetic radiation. Disponível em: www.emfguru.com>. Acesso em : fev. 2003.

-
- [10] Artigos Interessantes sobre as radiações não-ionizantes, disponível em <www.laleva.cc/portugal/antenas/>, acessado em maio 2004.
- [11] Provas sobre a toxicidade das radiações eletromagnéticas. Disponível em< www.elettosmog.org/html/document/publication/cherry/>. Acesso em jan. 2004.
- [12] Artigos sobre toxicidade das radiações dos *CEM*. Disponíveis em www.laleva.cc/portugal/antenas/. Acesso em : nov. 2004.
- [13] LAI, H.; SING, N. P. Acute low-intensity microwave exposure increases *DNA* single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* , v.16, p. 207-210, 1995.
- [14] MANN, J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *neuropsychobiology* , v. 33, p. 41-47, 1996.
- [15] BOURGEOUS, A. M., et al. The effects of microwave exposure upon the auditory threshold of humans. Baylor Univ. 1967. PhD. Dissertation. Order n. 67. 2927.
- [16] PHILLIPS, J., et al. *DNA* damage in molt-4 t-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, v. 45, p. 103-110, 1998.
- [17] BLANK, M. and GOODMAN, R. Do electromagnetic fields interact directly with *DNA*?. *Bioelectromagnetics*, v. 18, p. 111-115, 1997.
- [18] DUTTA, S. K.; GHOSH, B. and BLACKMAN, C. F. Radio frequency radiation Induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics*, v. 10, p. 197-202, 1989.
- [19] SALFORD, L.G., et al. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 *MHz* electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8,16,50, and 200 *MHz*. *Microscopy Research and Techniques*, v. 27, p. 535-542, 1994.
- [20] PREECE, A. W., et al. Effects of a 915 *MHz* simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *International Journal of Radiation Biology*, v. 75, p. 443-452, 1999.

-
- [21] PREECE, A. W., et al. "The effect of 50 Hz magnetic field on cognitive function on humans. *International Journal of Radiation Biology*, v. 74, p. 463-470, 1998.
- [22] MILD, K.H., et al. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. A Swedish-Norwegian Epidemiological Study. National Institute for Working Life, 1998, v. 23, Umea, Sweden.
- [23] HOCHING, B. Preliminary report: Symptoms associated with mobile phone use. *Occupational Medicine*, v. 48, p. 357-360, 1998.
- [24] KIRSCHVINK, J. L. Magnetite in human tissues: a mechanism for the biological effects of weak *ELF* magnetic fields. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, v. 89, p. 7683-7687, 1992.
- [25] BAWIN, S. M., et al. Effects of modulated *VHF* fields on the central nervous systems. *Ann. NY Acad. Sci.*, v. 274, p. 74-81, 1975.
- [26] ADEY, W. R. Effects of weak amplitude modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex. *Bioelectromagnetics*, v. 3, 1982.
- [27] ADEY, W. R. *Electromagnetics in biology and medicine*. In: *Modern Radio Science*: H. Matsumoto. University Press. Oxford, 1993.
- [28] REPACHOLLI, M. H., et al. Lymphomas in *Eμ-Pim1* transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Recharge*, v. 147, p. 631-640, 1997.
- [29] KOIKE, B. Radiação – na vida como no cinema - pesquisa com ratos mostra que o uso excessivo do celular prejudica fertilidade, aprendizado, altera comportamento. *Carta capital*, n.129, ago.2000. Disponível em: http://www.terra.com.br/carta_capital. Acesso em: mar. 2005.
- [30] ROTHMAN, K. J., et al. Assessment of cellular telephone and other radio-frequency exposure for epidemiologic research. *Epidemiology*, v. 7, p. 291-298, 1996.
- [31] McREE, J., et al. Effects of microwave radiation. *Proc. IEEE*, n. 68, 1980.

-
- [32] DANIELLS, C., et al. Transgenic nematodes as biomonitors of microwave induced stress. *Mutat. Res.*, n. 399, p. 55-64, 1998.
- [33] V. Baranauskas, *O Celular e Seus Riscos*, Campinas, 1ª ed., 2001.
- [34] DOTE, A. C. Poluição ambiental e exposição humana a campos eletromagnéticos. 2003, 175 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos Hídricos), escola de Engenharia, UFMG, 2003.
- [35] TEJO, A. F. Exposição de sujeitos biológicos a campos eletromagnéticos não-ionizantes: aspectos de modelagem. Workshop Nacional. Escola Politécnica. USP. SP., 2001.
- [36] HYLAND, G. H. How exposure to mobile phones base-station radiation can adversely affect humans. Disponível em: < www.energyfields.org/science/>. Acesso em dez. 2004.
- [37] STEWART, W. Mobile phones and health. IEGMP – Independent Expert Group on Mobile Phones. Apr.2000. 149f.
- [38] TICKNER, J.; RAFFENSPERGER, C.; MYERS, N. The Precautionary Principle. University of Massachussets: Lower. USA. Available from < www.joel.Tickner@student.uml.edu>.

CAPÍTULO 5

MEDIDAS EXPERIMENTAIS E ESTUDO COMPARATIVO

5.1 – INTRODUÇÃO

Neste Capítulo serão descritos métodos e medidas realizadas em operadoras distintas, visando comparar valores teóricos e medidos, com os limites especificados pelo órgão regulador do nosso País¹. Foram feitas medidas em campo distantes, ou seja, a um grande afastamento da origem.

Iremos proceder aos cálculos para estimarmos em amplitude um destes campos, de modo que seja possível determinarmos o outro campo através da impedância intrínseca do meio e da densidade de potência². No caso de campos próximos é necessário avaliar separadamente essas grandezas, uma vez que existe uma complexidade quanto às suas distribuições espaciais, sendo que ambos campos variam inversamente proporcional com a distância³.

5.2 – PROCEDIMENTOS DE MEDIDAS PARA CAMPOS EXTERNOS

Na realização das medidas, precisou-se de informações da estação transmissora e das normas técnicas de exposição eletromagnética. Tais variáveis são descritas a seguir.

- **Identificação da ERB** – Levantamos as características das Estações Rádio-Base escolhidas para a coleta de informações. Considerando uma ERB setorizada neste processo, os dados mais relevantes enfocados foram:

Quantidade de transceptores existentes na ERB nível de potência definido para a estação Rádio-Base, perda em *dB* nos combinadores e cabo coaxial utilizado. Considerando os tipos de antenas utilizadas, obtivemos as demais informações técnicas: Altura das antenas em relação ao solo, *tilt* (mecânico),

ganho, largura de feixe de meia potência *HPBW*, potência máxima na saída do equipamento de transmissão.

- **Resolução nº 303 da ANATEL** – Nesta resolução encontra-se procedimentos para o cálculo teórico, medições dos níveis do campo elétrico e comparações dos limites de exposição da radiação eletromagnética⁴.

5.2.1 – INFORMAÇÕES DAS ESTAÇÕES RÁDIO-BASE

Nas medidas experimentais foram selecionadas quatro *ERB*'s de forma aleatória, nas seguintes localidades:

- *ERB* Morro do Chapéu, cidade de Belo Horizonte. Situada ao lado esquerdo da praça Morro do Chapéu, com frente para a rua Espatodeas;
- *ERB* Chácara do Castelo, rua Laurindo Rabelo, 164, São Paulo. Bairro residencial, Jardim da Glória;
- *ERB* Morro do Cruzeiro, Santa Rita do Sapucaí;
- *ERB* Esplanada, situada no Morro do Cristo, Pouso Alegre.

5.3 – MEDIDAS REALIZADAS NA ERB MORRO DO CHAPÉU

A primeira *ERB* encontra-se no lado esquerdo da praça Morro do Chapéu, situada em um condomínio, onde há uma concentração do público em geral. Realizamos uma série contínua de medidas de varredura planar e temporal. O percurso teve início na rua Espatodeas, em frente ao portão da Estação, percorrendo também as ruas Bouganville, Azaléias, Oitis, ao redor da praça, concluindo o percurso no ponto inicial da coleta.

5.3.1 – METODOLOGIA USADA NAS MEDIDAS

A metodologia para realizar a medição dessa *ERB* é a seguinte:

Verificar os valores de pico registrados durante a medição. Caso estes valores ultrapassem a 50% do limite estabelecido na resolução 303, são realizadas, no mínimo, quatro medições espaciais de varredura vertical e a análise dos resultados

nestes casos é feita através da média aritmética dessas medições. Não ultrapassando os 50% do limite estabelecido a citada resolução recomenda a realização de medição em varredura planar, ou seja, medições em pontos definidos sobre planos transversais à posição do corpo na condição que o mesmo estaria quando exposto à *CEMRF*.

No caso desta estação apesar dos valores de pico não terem ultrapassado 50% do limite estabelecido, optamos por realizar medidas temporais e de varredura planar naquele espaço físico ao redor da torre. Foram realizados uma série contínua de medições e o resultado expressado como média aritmética das coletas. A medida é realizada de forma a abranger os espaços físicos que normalmente são ocupados por pessoas que freqüentam aquele lugar de medição.

Os valores de pico constatados durante a medição devem ser analisados a luz da Figura 3.1 contida no capítulo 3, que representa os limites estabelecidos pela resolução 303 para esse tipo de situação. É importante estabelecer a diferenciação que deve existir entre as situações de análise propostas pela Tabela 3.3 e a contida na Figura 3.1. Na Tabela 3.3 temos o critério de avaliação para valores médios obtidos nas medições e na Figura 3.1 temos parâmetros para análise de valores de pico. Desta forma não se deve comparar os valores de pico com aqueles expressos na Tabela 3.3 e vice-versa. A razão do estabelecimento desta diferenciação entre os parâmetros estabelecidos na Tabela 3.3 e na Figura 3.1 é que os valores de pico encontrados nas medições devem ser tratados tendo em vista que ele, pela sua natureza e pela sua instantaneidade não tem uma relação intrínseca com a matéria biológica⁴.

O instrumento coleta 900 medidas a cada seis minutos e os dados são armazenados neste e ao final de cada seis minutos de medição eles são transferidos para um computador para processamento das informações.

5.3.2 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados em forma de gráficos, para o campo elétrico Figura 5.1 e para a densidade de potência a Figura 5.2, respectivamente, mostrando os dados globais da medição.

Nas nossas análises, com o intuito de uniformizar os resultados, são apresentadas, nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2, o maior valor medido instantâneo, a média

espacial e os valores recomendados pela *ANATEL /OMS* na faixa de frequência do celular operado pela Telemig Celular de 869,04 a 891,48 MHz. Assim matematicamente tem-se para $f = 869,09 \text{ MHz}$, pela Tabela 3.3 $E = 40,53 \text{ V/m}$ e $S = 0,435 \text{ mW/cm}^2$ limite recomendado para o campo elétrico e a densidade de potência respectivamente¹.

É importante ressaltar que ao realizar estas medições, pela característica do equipamento utilizado não possuir facilidade de sintonia nas frequências exclusivas do sistema móvel celular – *SMC*, foram coletados dados referentes ao somatório da radiação não-ionizantes presente naquele local, dentro de uma ampla faixa de frequência (100 kHz a 3 GHz), na qual estão incluídas, as emissoras de rádio *AM* e *FM*, repetidoras de *TV*, monitores de vídeo, radares, fornos de microondas, etc...

Neste nosso estudo, estas interferências contribuem no sentido de estarmos analisando as medidas no pior caso, uma vez que nós medimos os níveis de sinais de radiação naquele local aos quais as pessoas estavam expostas a todos níveis. Mesmo assim, pudemos observar que não são ultrapassados os níveis estabelecidos.

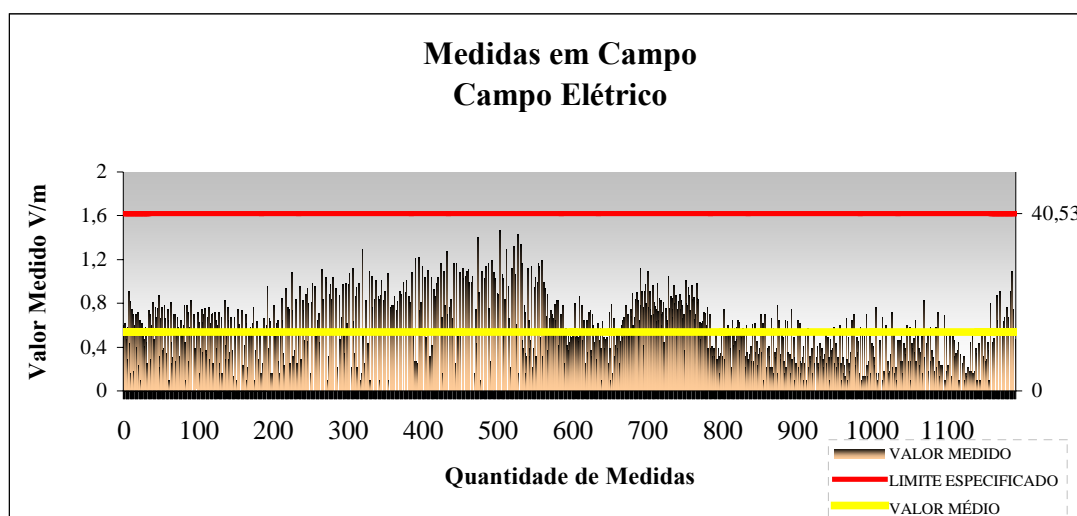


Figura 5.1 – Valor medido do campo elétrico

Tabela 5.1 – Valores de campo elétrico.

Valor médio medido	0,58 V/m
Valor instantâneo máximo	1,47 V/m
Valor médio recomendado <i>ANATEL/OMS</i>	40,53 V/m

Tabela 5.2 – Valores de densidade de potência.

Valor médio medido	0,0000883 mW/cm^2
Valor instantâneo máximo	0,000867 mW/cm^2
Valor médio recomendado ANATEL/OMS	0,435 mW/cm^2

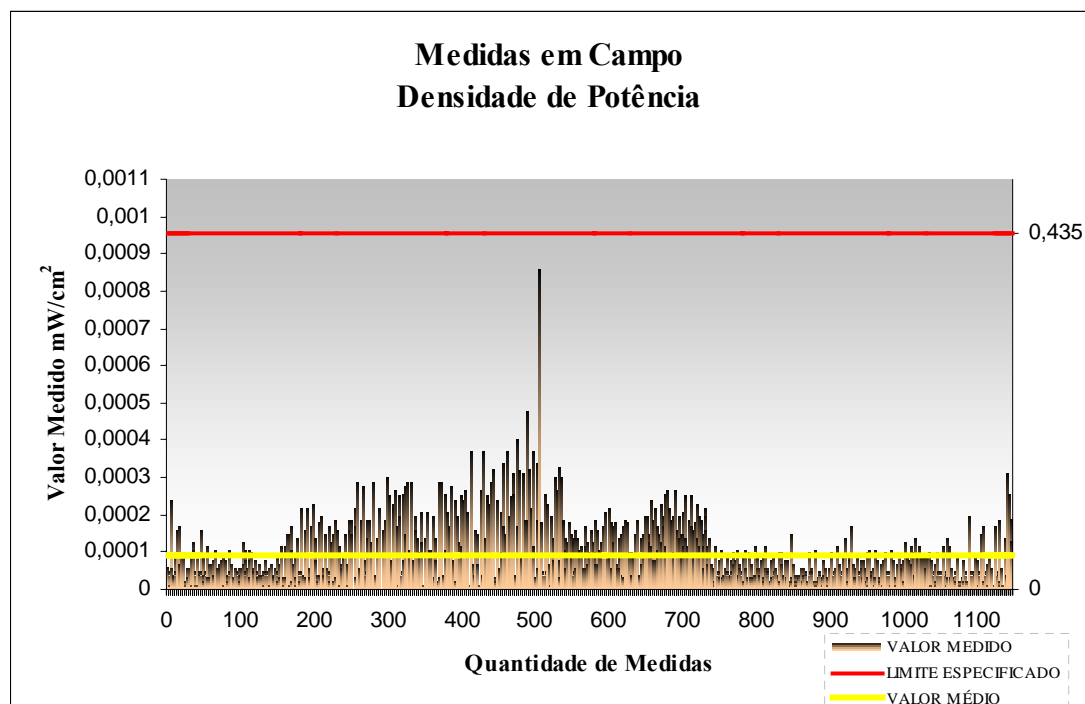


Figura 5.2 – Densidade de potência.

5.3.3 – MEDIDAS DE SEGURANÇA ADOTADAS PELA OPERADORA TELEMIG CELULAR

Todos os profissionais que atuam, seja na manutenção, otimização ou implantação dessa *ERB* são treinados e capacitados. Os mesmos são envolvidos nas operações de instalação e manutenção da *ERB* e são orientados e fiscalizados quanto à utilização dos equipamentos de proteção individual e coletivo. A *ERB* é supervisionada 24 horas por dia em todos dias do ano pelo *Centro de Gerência de Rede – CGR* da empresa. O terreno onde se encontram os equipamentos é isolado para acesso ao público em geral. Todos os equipamentos utilizados na estação Rádio-Base têm certificados de homologação pela *ANATEL*.

5.3.4 – TIPO DE *ERB*

Trata – se de uma *ERB* setorizada, com duas antenas por setor. As características da *ERB* estão detalhadas no Anexo I.

5.3.5 – INSTRUMENTOS UTILIZADOS

As Medições foram feitas utilizando-se o equipamento abaixo especificado:

A) Medidor de radiação não-ionizante EMR-300 EM Radiation Meter – EMR-300.

- Número de série 2244/31 – AC0051
- Faixa de Operação: 0 a +50°C
- Fadiga mecânica segundo o IEC721-3 : Classe 7M3
- Armazenamento de Resultados 1500 Valores
- Relógio de Tempo real modo de media espacial em um período de tempo ou sobre pontos de medida.
- Interface serial para transferência de dados de medida, controle remoto e calibração: V.24 (Rs232) óptico/bidirecional.
- Fabricante: Wandel & Goltermann
- Procedência: Alemanha

B) Ponta de Prova para medidas de Campo elétrico/Densidade de Potência Type – 8 .

- Numero de Série: 2244/90.20 – AE-0048
- Faixa de frequência para medida de campo elétrico e densidade de potência de 100 *kHz* – 3 *GHz*.
- Faixa de medida especificada 1 – 800 *V/m* e 0,0027 – 1700 *W/m²*.
- Faixa Dinâmica: tipicamente 60 *dB*
- Erro Absoluto em 27,5 *V/m* e 27,12 *MHz* corresponde a aprox. 1,0 *dB*.
- Linearidade referenciada a 27,5 *V/m* e 27,12 *MHz* corresponde a aprox. 1,0 *dB* para 2,5 a 800 *V/m* e aprox. 3,0 *dB* para 1 a 2,5 *V/m*
- Fabricante: Wandel & Goltermann
- Procedência: Alemanha.

5.3.6 – COMENTÁRIOS DAS MEDIDAS DESSA *ERB*

Os resultados dos níveis de radiação não-ionizantes obtidos, estão abaixo dos limites estabelecidos pela *OMS/ANATEL* para a exposição contínua do público em geral, não consistindo, segundo critério da citada organização, um perigo à saúde.

5.4 – MEDIDAS REALIZADAS NA *ERB* MORRO DO CRUZEIRO

Essa estação Rádio-base possui a tecnologia *TDMA*, pertence à empresa Telemig Celular. Essa *ERB* está localizada em Santa Rita do Sapucaí MG e as medidas foram feitas em Setembro de 2003. Foram registrados vários níveis de sinal em dois pontos distintos, sendo o primeiro deles em frente ao grupo escolar “Dr. Delfim Moreira” e o outro em frente à praça “Mariquinha Rennó”, no bairro Vila das Fontes^a.

5.4.1 – METODOLOGIA USADA NAS MEDIDAS

Foram utilizados como instrumentos: um analisador de espectro Anritsu - MS610-B, que opera na banda de 10 *kHz* – 2 *GHz*. Um GPS Trimble modelo Gel Explorer 3, uma antena diretiva Log-periódica com ganho de 6 *dBi*, um binóculo para verificação de visada .

A medição foi realizada posicionando-se a antena receptora na direção da antena transmissora da *ERB* de modo a receber o sinal radiado com o analisador de espectro, sendo registrados os níveis de sinais naquele instante. Este procedimento experimental teve a duração de 36 minutos para cada ponto escolhido.

A cada seis minutos foram registradas 20 medidas e no final deste período calculou-se a média das mesmas. Obtida a média do nível de sinal, calculou-se a densidade de potência, e a intensidade do campo elétrico respectivamente.

5.4.2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DA *ERB* ANALISADA

^a Os dados da *ERB* Morro do Cruzeiro encontram-se no Anexo II.

A localização onde foram coletadas as medidas foi cuidadosamente escolhida de forma a constatar maior número de pessoas na hora de medida. Portanto, temos:

1° Ponto → Escola Estadual Dr. Delfim Moreira.

2° Ponto → Praça Mariquinha Rennó.

Na Tabela 5.3, encontram-se destacadas as coordenadas no sistema esférico das localizações onde foram efetuadas as medidas, as distâncias registradas foram calculadas pelo software *CellTools*.

Tabela 5.3 – *Localização dos pontos.*

	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude m</i>	<i>d m</i>
<i>ERB</i>	22° 14'35"	45° 41'50"	1065	0
1° Ponto	22° 14'58"	45° 41'45"	640	620
2° Ponto	22° 14'55"	45° 42'03"	850	1005

Empregando as equações de Friis (5.1) e (5.2) para a propagação no espaço livre, estimamos a perda no percurso e a potência recebida, utilizando os dados da Tabela 5.4⁵.

Tabela 5.4 – *Dados da ERB Morro do Cruzeiro.*

<i>P_T dBm</i>	<i>L_c dB</i>	<i>G_T dBi</i>	<i>d m</i>	<i>f MHz</i>
42	2.38	16.65	620	879.69
42	2.38	16.65	1005	879.69

Assim sendo teremos:

$$P_L = 32,44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (5.1)$$

$$P_R = P_T - L_c + G_T - P_L \quad (5.2)$$

onde d é a distância dada em km e f é a frequência dada em MHz , P_T é a potência de transmissão, L_c é a perda nos conectores e cabos, G_T é o ganho da antena de transmissão, P_L é a perda no percurso e P_R que é a potência de recepção.

Tabela 5.5 – *Cálculos estimados teóricos.*

Pontos/Potência	P_L dBm	P_R dBm
1º ponto	87,17	-30,90
2º ponto	91,33	-35,06

O passo seguinte foi o cálculo teórico dos valores da densidade de potência e do campo elétrico, levando em consideração os dados da Tabela 5.4 e, as Eqs. (5.3) e (5.4) e os resultados estão na Tabela 5.6.

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \times 2,56 \quad (5.3)$$

$$E_{ef} = \sqrt{S \times \eta} \quad (5.4)$$

onde $\eta = 120\pi \Omega$ é a impedância intrínseca do ar, $EIRP$ é a potência efetiva isotrópica irradiada, d é a distância do ponto a ser medido, 2,56 é o fator que leva em conta um coeficiente de reflexão.

Para o cálculo da intensidade do sinal que atinge um ser vivo deve-se levar em consideração o pior caso, ou seja, tomando como base que na antena receptora esteja chegando sobre o indivíduo o sinal direto e uma parcela do sinal refletido, o que resulta na propagação especular e isto implica na consideração do coeficiente de reflexão no solo⁶.

O coeficiente de reflexão relaciona o campo refletido com o campo incidente. Como a densidade de potência é proporcional ao quadrado do módulo do campo, a contribuição do sinal refletido sobre a densidade de potência no receptor deve prever a situação de intensidade máxima. Isto acontecerá quando os campos da onda direta e refletida estiverem em fase.

As novas recomendações admitem um coeficiente de reflexão de 0,6 implicando que a densidade de potência ficará multiplicada por um fator $(1 + 0,6)^2 = 2,56$. Esta inclusão é prevista na proposta da nova recomendação da *International Telecommunication Union –ITU* relativa á exposição do corpo humano^{6, 8, 9}.

Tabela 5.6 – cálculos teóricos

d m	ρ	S_t $\mu W / m^2$	E_t V / m
620	0,6	224,50	0,290
	0	87,70	0,181
1005	0,6	85,44	0,179
	0	33,37	0,112

onde, S_t e E_t são os valores calculados pelas Eqs. (5.3) e (5.4).

Foram realizados os cálculos da densidade de potência e do campo elétrico, levando em consideração o coeficiente de reflexão no solo ρ e desconsiderando este parâmetro.

Iniciando a primeira medida em campo, nos posicionamos em frente do grupo escolar, na direção do lobo principal da antena e realizamos as medidas com visada direta. As medidas no segundo ponto foram obtidas de forma análoga. Após os 36 minutos de coletas de dados em cada ponto, foi encontrada uma média de potência de recepção, onde os resultados das coletas estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultados de medidas nos pontos.

Tempo (m)	1° Ponto	2° Ponto
	P_r dBm	P_r dBm
1°	-31,4	-40,8
2°	-30,8	-32,2
3°	-23,9	-38,2
4°	-27,3	-28,8
5°	-31,5	-32,8
6°	-40,0	-36,2
Médias	-28,6	-33,13

onde P_r é a média dos valores medidos nos dois pontos de medição.

Tendo o nível do sinal P_r em cada distância, calculamos a densidade de potência na recepção e o campo elétrico em cada ponto, pelas Eqs. (5.5) e (5.6).

$$P_R = S_r \times A_{ef} , \quad P_R = P_r + L_c \quad (5.5)$$

$$A_{ef} = D \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (5.6)$$

onde: S_r é a densidade de potência na recepção, P_R é a potência recebida, A_{ef} é a área efetiva da antena na recepção, L_c é a perda nos cabos e G_r é o ganho da antena de recepção. Portanto, para uma distância de 620 m e utilizando cabo coaxial com uma perda de 3,6 dB, tendo uma antena de recepção com um ganho de 6 dBi, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.8.

Para uma antena sem perda, em uma situação idealizada, a diretividade e o ganho em relação à antena isotrópica são iguais. Assim, na Eq.(5.6), a diretividade D pode ser trocada por G_r , no caso da eficiência de radiação ser unitária. Uma análise mais detalhada será enfocada no Apêndice A.

Tabela 5.8 – Resultados dos níveis de sinais medidos.

d m	S_{med} $\mu W / m^2$	E_{med} V / m
620	89,49	0,183
1005	31,54	0,109

O valor de S_{med} , foi calculado pelas Eqs. (5.5) e (5.6) e E_{med} é obtido pela Eq. (5.4), utilizando os valores medidos nas duas distâncias envolvidas.

Podemos observar e comparar pelas Tabelas 5.6 e 5.8, que os níveis de sinais calculados teoricamente desconsiderando o coeficiente de reflexão se aproximam dos níveis de sinais medidos, isso era de se esperar pois, a medição foi realizada em um enlace onde há um pequeno vale totalmente habitado, com inúmeras construções de diversos tamanhos. Portanto, o comportamento foi semelhante aqueles oriundo das reflexões em um solo irregular⁷. Isto é, houve um espalhamento da onda refletida, com o resultado de reflexão difusa, com pouco ou nenhum efeito sobre o sinal direto captado.

Nas referências bibliográficas, estão listados os padrões internacionais, que poderão ser consultados para maiores detalhes de procedimento nas medidas efetuadas para campos eletromagnéticos de *RF* e microonda^{8,9,10}.

5.4.3 – COMENTÁRIOS DAS MEDIDAS DESSA *ERB*

Comparando os valores do nível do campo elétrico contido na Tabela 3.3, para a frequência de 879,69 *MHz* com aqueles obtidos através das Tabelas 5.6 e 5.8 podemos observar que os níveis de radiação estão abaixo daqueles, conforme recomendados pelas normas.

O objetivo deste enfoque experimental foi alcançado e apesar das perdas, e dos níveis de precisão dos instrumentos, as medidas se aproximaram dos cálculos teóricos.

Outro fato importante é que a *ERB* de Santa Rita está situada a uma grande distância dos moradores, portanto a população não deve se preocupar com a intensidade de radiação os que está exposta.

5.5 – MEDIDAS REALIZADAS NA *ERB* ESPLANADA

Esta estação Rádio-Base pertence à empresa Telemig celular e utiliza a tecnologia *TDMA*. Está situada no Morro do Cristo em Pouso Alegre, MG^b.

5.5.1 – METODOLOGIA USADA NAS MEDIDAS

Procurou-se medir os níveis de sinais na hora de maior movimento apesar de não sabermos exatamente se isto estava ocorrendo realmente, pois não tivemos a permissão deste dado por parte da operadora em questão, pois existem determinadas restrições para o público de algumas informações por parte destas empresas. Após localização da *ERB* de interesse, escolhemos de forma aleatória os pontos para medição ao redor da estação. As posições exatas das distâncias de cada ponto foram determinadas através de cálculos teóricos, obtendo os resultados descritos na Tabela

^b Os dados da *ERB* Esplanada estão no Anexo III.

5.9, em seguida posicionamos a antena receptora e os equipamentos em cada local e efetuamos as medidas. A obtenção do nível de potência foi estimado através da Eq. de Friis e os valores da densidade de potência e do campo elétrico através das Eq. (5.3) e (5.4) os quais estão apresentados na Tabela 5.10. Posteriormente será efetuada uma comparação entre o valor teórico, o valor medido e aquele adotado pelas normas vigentes.

Utilizamos o instrumento Analisador de Espectros da empresa Anritsu modelo MS610-B com banda entre $10\text{ kHz} - 2\text{ GHz}$, alimentado com bateria, pois não tínhamos acesso a corrente alternada em campo, um GPS do tipo Garmin-72 e uma antena diretiva log-periódica com ganho de 6 dBi .

Na Tabela 5.9, encontram-se destacadas as coordenadas no sistema esférico das localizações onde foram coletados os dados, sendo as medidas feitas em locais distintos aleatórios no intervalo das 13:00 às 18:30 Horas.

A *ERB* possui três setores, sendo que cada um tem as seguintes características:

Para o setor *X* temos:

- Ganho da Antena de 12 dBd , = $14,15\text{ dBi}$.
- Potência de Transmissão da *ERB* Esplanada = $42,60\text{ dBm}$ = $18,2\text{ W}$.
- Perdas nos conectores e cabos = $3,90\text{ dB}$
- Distâncias equivalentes aos pontos. (Obtidas pelo instrumento GPS).

Para o Setor *Z*

- Ganho da Antena de $12,5\text{ dBd}$, = $14,65\text{ dBi}$.
- Potência de Transmissão da *ERB* Esplanada = $41,40\text{ dBm}$ = $13,8\text{ W}$.
- Perdas nos conectores e cabos = $3,90\text{ dB}$.

Para o Setor *Y*

- Ganho da Antena de $14,5\text{ dBd}$, = $16,65\text{ dBi}$.
- Potência de Transmissão da *ERB* Esplanada = $39,40\text{ dBm}$ = $8,7\text{ W}$.
- Perdas nos conectores e cabos = $3,90\text{ dB}$.

Tabela 5.9 – Localização dos pontos da *ERB* Esplanada.

	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>d m</i>
ERB - nº 19	22° 13'06''	45° 56'18''	0
Ponto 1	22° 13'01''	45° 56'21''	180
Ponto 2	22° 13'02''	45° 56'28''	310
Ponto 3	22° 13'01''	45° 56'27''	360
Ponto 4	22° 13'05''	45° 43'33''	430
Ponto 5	22° 13'03''	45° 56'37''	590
Ponto6	22° 13'13''	45° 56'25''	240
Ponto7	22° 13'10''	45° 56'12''	270
Ponto8	22° 13'50''	45° 56'52''	970
Ponto 9	22° 13'55''	45° 56'59''	1920
Ponto10	22° 13'52''	45° 56'40''	1560

A medição foi realizada com a antena de recepção, posicionada em visada direta, em direção a antena de transmissão, obtendo o nível de sinal recebido. Feita a primeira medida, seguindo em linha reta, apenas mudando a distância, para quatro pontos no mesmo setor (*X*), depois dois pontos no setor (*Z*) e finalmente mais três pontos no setor (*Y*).

Pelas Eqs.(5.3) e (5.4), podemos estimar a densidade de potência de uma onda plana no espaço livre, e a intensidade do campo elétrico. As distâncias foram calculadas através do programa “*CellTools*” e a perda no percurso na propagação no espaço livre P_L , pela fórmula de *Friis*^c.

Dando prosseguimento, tendo os níveis de potência medidos, calculamos a densidade de potência e o campo elétrico em cada ponto pelas Eqs (5.5) e (5.6), cujos valores estão exibidos na Tabela 5.10.

5.5.2 – RESULTADOS DAS MEDIDAS

^c Os cálculos das medidas em campo estão no Apêndice C.

As medições foram feitas utilizando-se os seguintes dados: Ganho da antena de recepção 6 *dBi*, perdas nos conectores e cabos total de 5,2 *dB*. Os resultados dos cálculos estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.10 – Resultados dos cálculos teóricos.

Setor	f MHz	d m	P_L dBm	P_R dBm	P_T dBm	S μ W/m ²	E V/m
X	878,40	180	76,42	-23,57	42,60	473,4	0,422
X	891,00	310	81,26	-28,42	42,60	159,60	0,245
X	876,51	360	82,42	-29,57	42,60	118,41	0,211
X	891,00	430	84,10	-31,25	42,60	82,96	0,176
X	891,00	590	86,85	-34,00	42,60	44,06	0,128
Z	879,30	240	78,92	-26,77	41,40	226,72	0,292
Z	879,30	270	79,95	-27,80	41,40	179,12	0,260
Y	877,98	970	91,04	-38,89	39,40	13,88	0,072
Y	877,35	1560	95,16	-43,01	39,40	3,54	0,036
Y	877,35	1920	96,97	-44,82	39,40	5,36	0,044

onde: P_L é a perda no espaço livre, P_R a potência estimada teórica que é obtida a partir da diferença da potência de transmissão e a perda no percurso no espaço livre e P_T é a potência de transmissão de cada setor da *ERB*.

Após registro das medidas, foram realizados os cálculos através das Eqs. (5.5) e (5.6), para a obtenção dos valores da intensidade do sinal na recepção. Na Tabela 5.11 estão demonstrados estes valores.

Tabela 5.11 – Valores calculados a partir das medidas.

P_R	P_r dBm	A_{ef} m	S_{med} μ W / m ²	E_{med} V / m
-18,0	-23,2	0,037	428,3	0,402
-21,8	-27,0	0,036	183,5	0,263

-23,8	-28,9	0,037	115,3	0,206
-25,6	-30,8	0,036	76,51	0,169
-27,4	-32,6	0,036	49,18	0,136
-20,5	-25,7	0,037	239,8	0,3
-21,8	-27,0	0,037	178,6	0,259
-29,0	-34,2	0,036	35,0	0,114
-36,6	-41,8	0,036	6,0	0,047
-37,8	-43,1	0,036	4,61	0,042

onde: A_{ef} é a área efetiva da antena para as frequências estipuladas, P_r é a potência medida no local através do analisador de espectro, P_R é a potência de recepção na antena, S_{med} densidade de potência na recepção e E_{med} é o campo elétrico calculado na recepção

5.5.3 – COMENTÁRIOS DAS MEDIDAS DESSA *ERB*

As diferenças nos resultados medidos e calculados se devem a várias causas, tais como, tolerância do aparelho de medição, perdas nos cabos e conectores. Porém, mesmo assim os valores obtidos encontram-se abaixo dos valores fixados pelas normas vigentes. Os instrumentos utilizados são pertencentes aos laboratórios do *INATEL*.

5.6 – MEDIDAS REALIZADAS NA *ERB* CHÁCARA DO CASTELO

Esta é uma *ERB* pertencente à operadora Vivo e possui tecnologia *CDMA*. A *ERB* Chácara do Castelo está localizada na grande São Paulo, no bairro Jardim da Glória^d. Os dados da posição da *ERB* estão na Tabela 5.12. Esta *ERB*, foi solicitada uma averiguação de seus níveis por moradores intranquilos, quanto à exposição de *RNI*, pois as instalações estão situadas em uma casa residencial juntamente com a população. Foi feito o Laudo-radiométrico por uma empresa competente *ABRICEM*

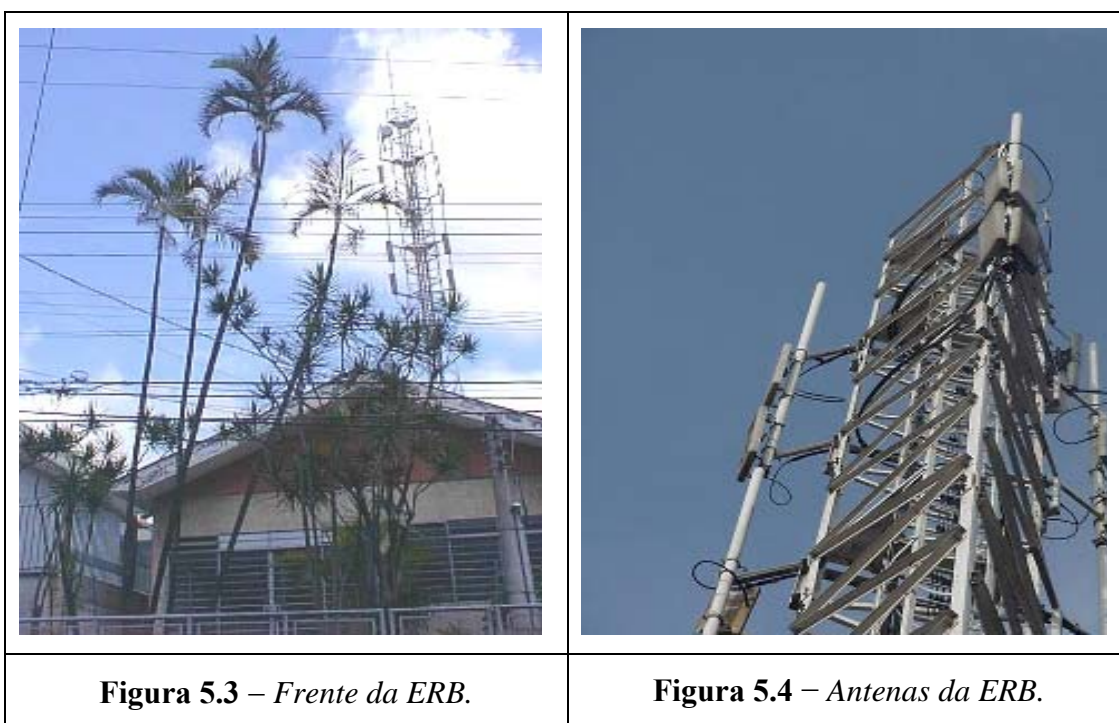
^d Os dados da *ERB* Chácara do Castelo encontram-se no Anexo IV.

que constatou seus níveis bem abaixo das normas da ANATEL. Esclarecendo assim os moradores da região.

Tabela 5.12 – Dados da posição da ERB.

Bairro	Nome da ERB	Lat	Long	Alt
Jardim da Glória	Chácara do Castelo	23°34'50"	46°37'20"	780m

A ERB situa em um bairro bastante movimentado, ocupando um imóvel residencial que a operadora Vivo usa para a instalação de seus equipamentos.. Através das Figuras 5.3 e 5.4, são apresentadas fotos tiradas do imóvel onde estão instalados os equipamentos e também fotos das antenas da estação.



5.6.1 – METODOLOGIA UTILIZADAS NAS MEDIDAS

Foram coletados os dados a partir da base da torre até o limite de cobertura dessa ERB, onde o nível ficou bem baixo, $P_r = -81,5 \text{ dBm}$ já estando em comunicação com outra ERB. Na Figura 5.5 está representada essa ERB no mapa urbano.

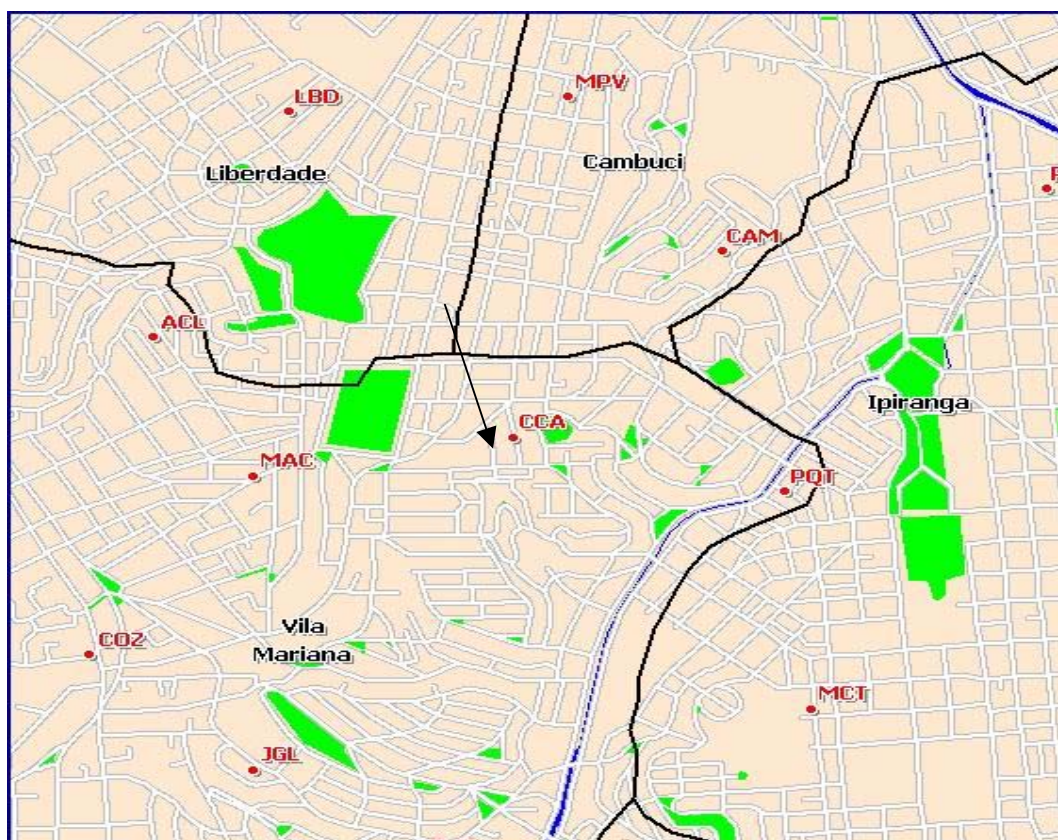


Figura 5.5 – *Posicionamento da ERB no mapa urbano.*

As medições foram efetuadas a partir da base da estação e caminhando em frente do lobo principal da antena de um setor em sentido de afastamento da fonte. Neste percurso alguns pontos de pico foram observados e anotados.

No ponto de nível de sinal mais elevado, destacado na Figura 5.6 fizemos uma medição temporal de duração de seis minutos, coletando vários níveis. Este ponto situava a poucos metros da torre seguindo em frente a uma rua com elevação, sendo a altura estimada igual a da antena.



Figura 5.6 – *Ponto de maior nível encontrado.*

5.6.2 – RESULTADOS DAS MEDIDAS

A seguir apresentaremos os resultados das medidas através de gráficos, onde observamos alguns níveis de pico e os valores bastante atenuados ao distanciarmos poucos metros dessa *ERB*. A Figura 5.7 apresenta a densidade de potência que foram calculadas a partir das medidas de potência P_r *dBm* dos sinais recebidos da *ERB*, na frente do lobo principal de um dos setores em direção ao afastamento da mesma, sendo representados também o valor médio (em amarelo) dos vários sinais calculados e o limite especificado pela norma (em vermelho) que é obtido através da Tabela 3.3 contida no capítulo 3¹. Observamos na figura que houve alguns pontos, localizados abaixo da norma que apresentaram valores significativamente maiores que a média. Neste local procedemos a uma série de medidas para comprovar e evidenciar algum valor instantâneo maior que os recomendados pela norma da *ANATEL*¹. Na Figura 5.8 estão apresentados esses valores.

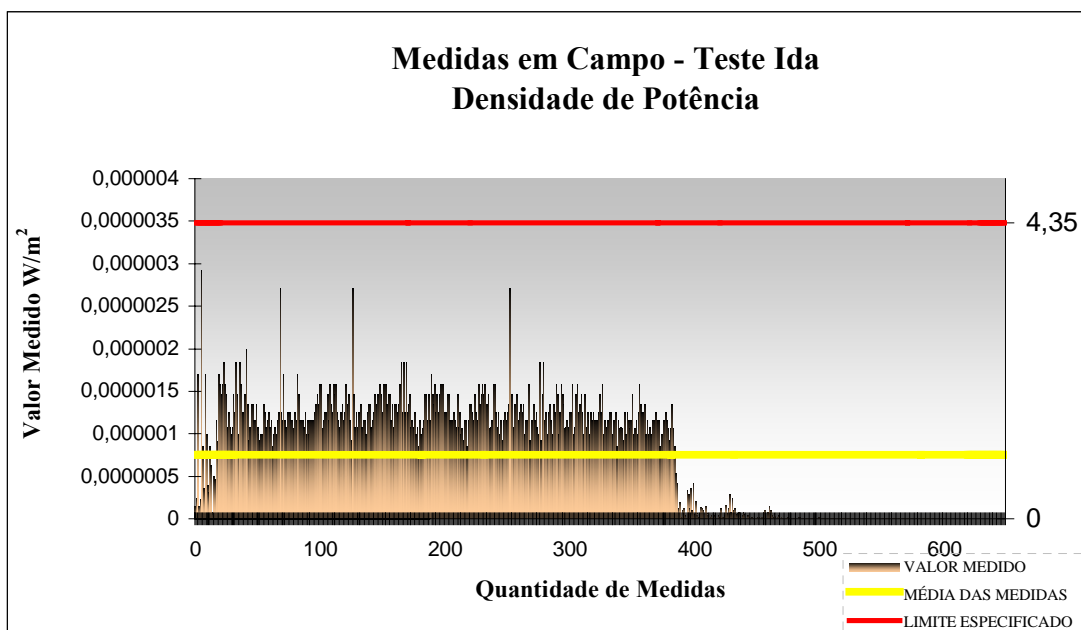


Figura 5.7 – Densidade de potência sentido se afastando da ERB.

No ponto de maior nível de sinal encontrado realizamos o teste parado, foi utilizado a média temporal com duração seis minutos e destacamos o valor médio (em amarelo) e o limite especificado pela norma, podendo constatar que não houve a ocorrência de níveis superiores a mesma.

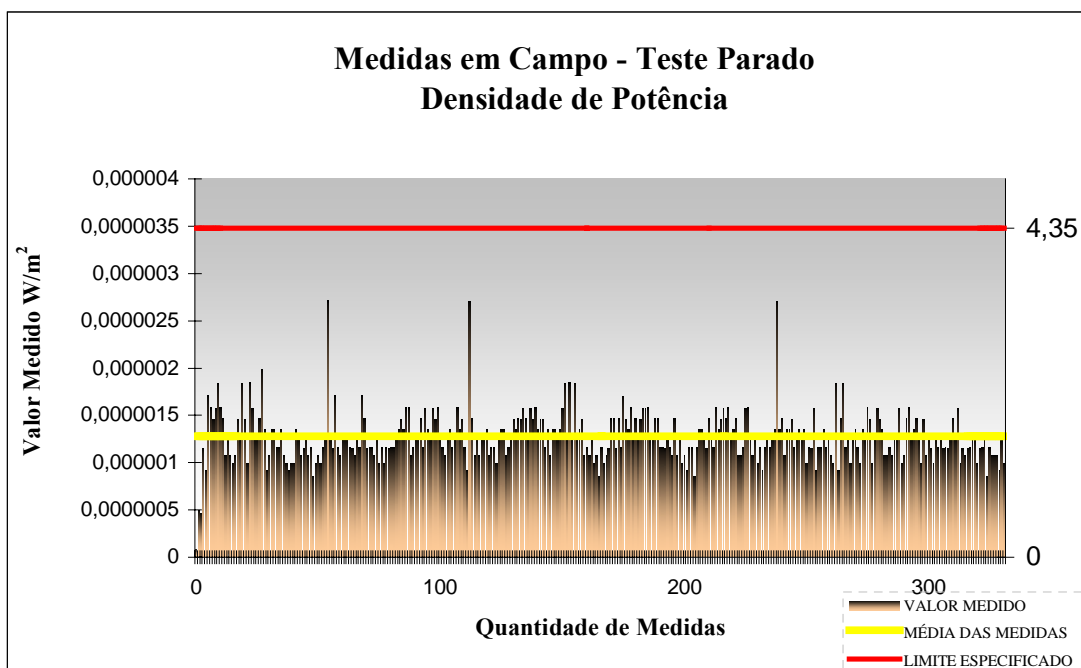


Figura 5.8 – medida Temporal da densidade de potência.

A Figura 5.9 representa a medição do extremo limite de um dos setores, na frente do lobo principal no sentido aproximando-se da *ERB*.

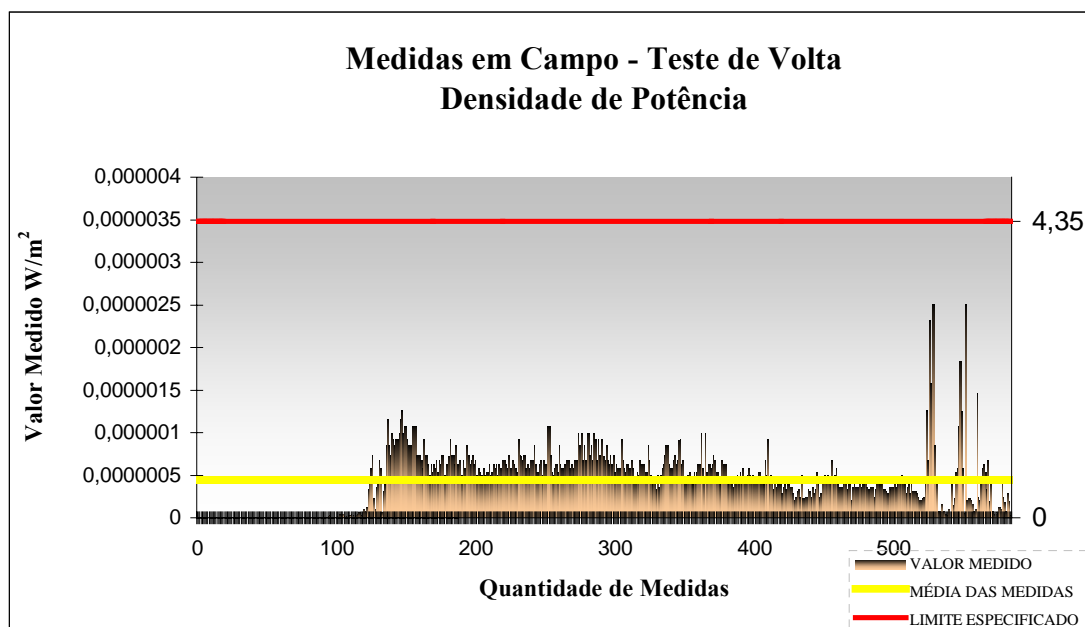


Figura 5.9 – Densidade de potência sentido volta.

De forma análoga foram feitos os cálculos para o campo elétrico, a partir dos níveis da densidade de potência. Os resultados destes cálculos do campo elétrico no sentido se afastando da *ERB* na condição de máximo limite atendido pela mesma, estão apresentados na Figura 5.10, onde é observado que o sinal é bastante atenuado.

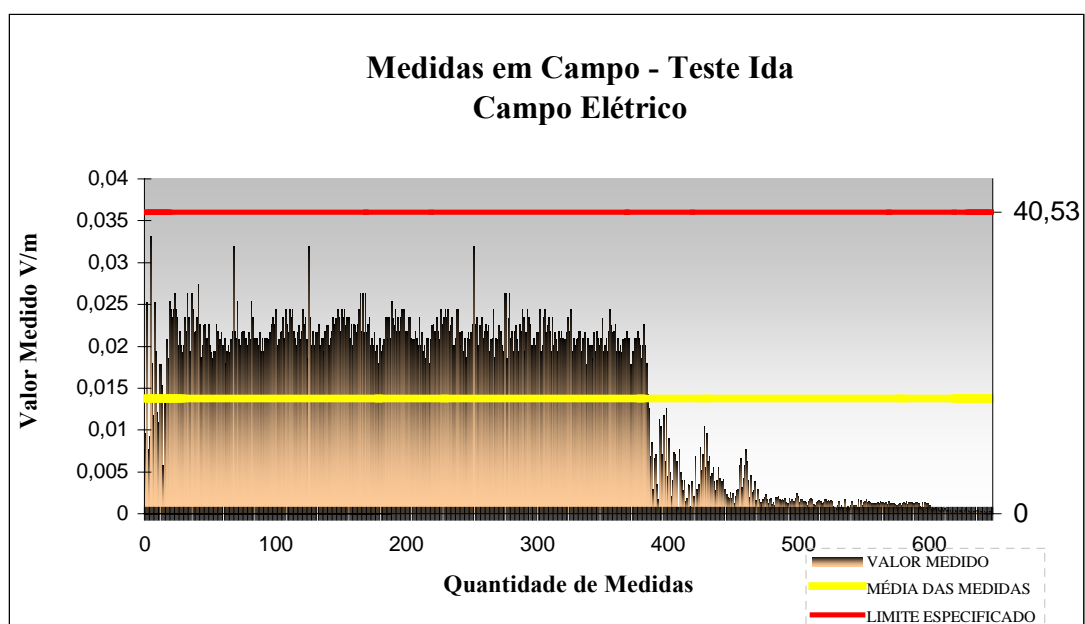


Figura 5.10 – Medições do Campo elétrico no sentido afastamento da *ERB*.

Na Figura 5.11 calculamos a intensidade do campo elétrico no sentido inverso, ou seja, do limite da cobertura da *ERB* naquele setor para o sentido aproximando-se da fonte.

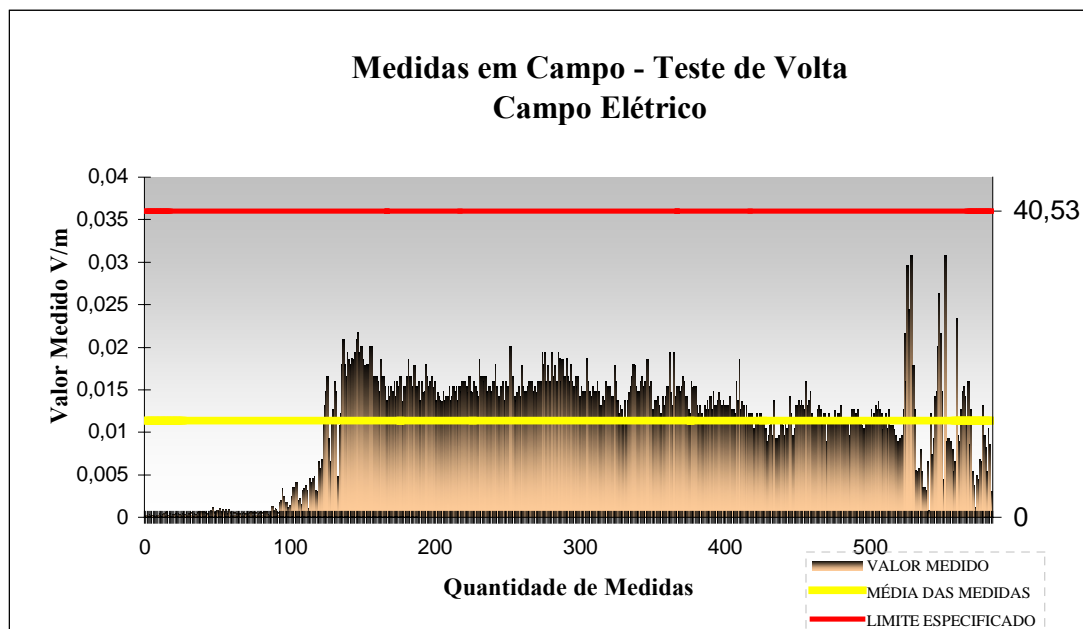


Figura 5.11 – *Campo Elétrico sentido aproximando-se da ERB.*

No ponto onde foi encontrado o maior valor de pico, foi realizada uma medida temporal com duração de *seis minutos* apresentado na Figura 5.12.

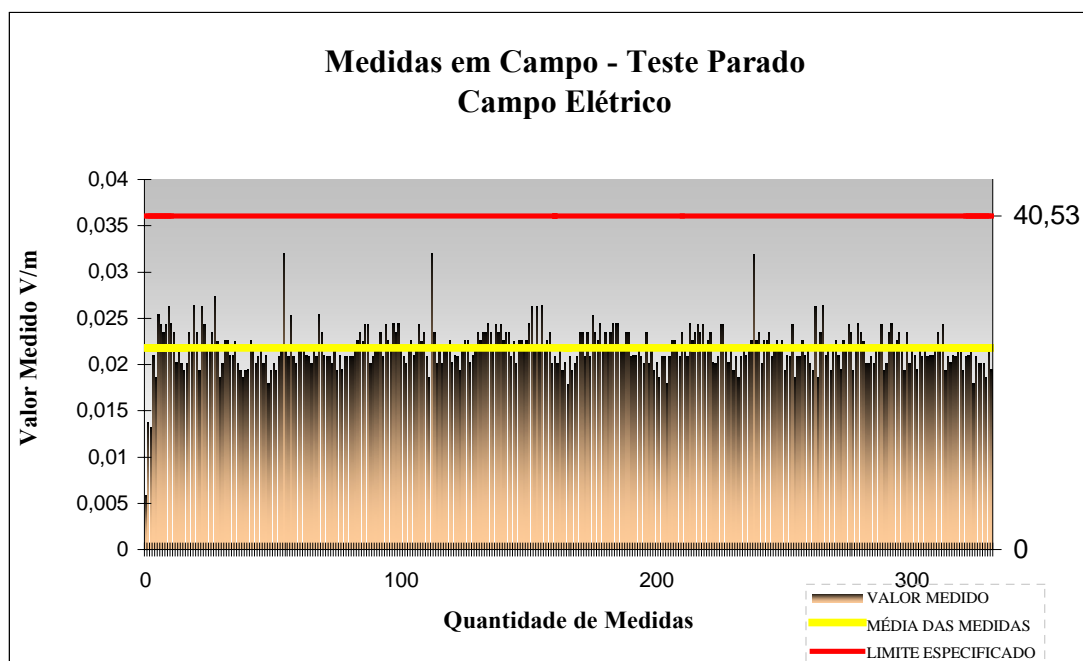


Figura 5.12 – *Medida temporal do campo elétrico.*

5.6.3 – DADOS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os principais equipamentos utilizados neste conjunto de medidas são:

- **Telefones:** 2 telefones Qualcomm, modelo QCP 820, conectados a um microcomputador PC, Toshiba, com sistema operacional Windows 98.
- **Equipamento de coleta :** Viper, instalado no carro de teste e também conectado ao microcomputador, possuindo um *software* de coleta da Agilent E74XX, com a função de monitorar o sinal dos telefones, mais as estações escaneadas pela antena externa do Viper instalada na parte superior do carro de teste. Após o armazenamento os dados são processados por outro *software* de análise: *Agilent Opas*, com a função de transformar aqueles arquivos coletados nas medidas em campo em mapas temáticos.

5.6.4 – PERCURSO E HORÁRIO DO TESTE

O percurso do teste está registrado na Figura 5.14.

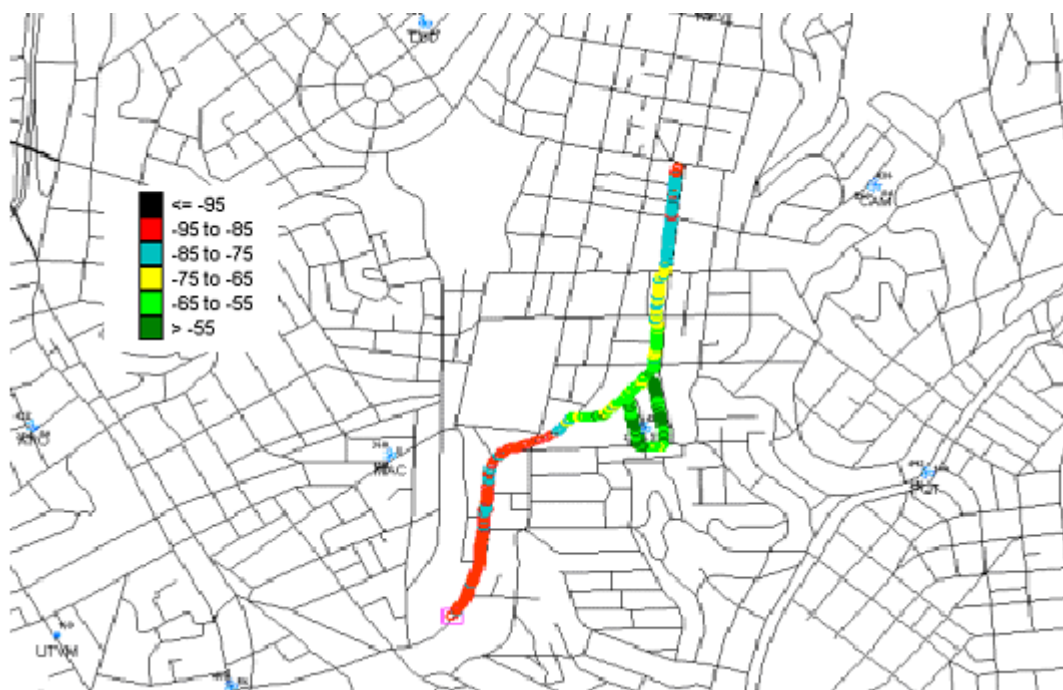


Figura 5.14 – Mapa da ERB e caminho percorrido para medidas.

Através da Tabela 5.13, podemos observar que há um número significativo de tráfego no horário das 11:00 e 14:00 horas, embora os maiores tráfegos ocorrem entre o período das 17:00 e 20:00 horas. As medidas foram executadas com o auxílio de uma equipe técnica da operadora Vivo, que somente pode atuar no horário comercial, portanto, as medidas não foram efetuadas no horário de maior movimento por indisponibilidade dos recursos humanos e de equipamentos.

Tabela 5.13 – Tabela de tráfego.

Data	Período	Tráfego Primário Erl			Tráfego <i>Soft Handoff</i> Erl			Tráfego Total Erl		
		α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
22/01/2004	00 a 01	2,52	3,58	1,79	2,02	2,71	1,69	4,54	6,29	3,48
22/01/2004	01 a 02	1,34	1,38	0,55	1,03	1,26	0,43	2,37	2,64	0,98
22/01/2004	02 a 03	1,32	0,88	0,26	0,63	1,63	0,08	1,95	2,51	0,34
22/01/2004	03 a 04	0,56	1,70	0,00	0,46	0,66	0,00	1,02	2,36	0,00
22/01/2004	04 a 05	0,72	0,44	0,02	0,43	0,76	0,00	1,15	1,20	0,02
22/01/2004	05 a 06	0,12	0,03	0,06	0,22	0,02	0,00	0,34	0,05	0,06
22/01/2004	06 a 07	1,17	0,34	0,13	0,36	0,05	0,03	1,53	0,39	0,16
22/01/2004	07 a 08	0,27	0,20	0,20	0,12	0,21	0,12	0,39	0,41	0,32
22/01/2004	08 a 09	0,68	0,96	0,36	0,75	0,71	0,24	1,43	1,67	0,60
22/01/2004	09 a 10	2,01	2,40	1,66	1,71	2,18	0,78	3,72	4,58	2,44
22/01/2004	10 a 11	4,10	4,71	1,90	2,89	3,88	1,19	6,99	8,59	3,04
22/01/2004	11 a 12	5,92	6,59	2,92	4,05	4,73	1,60	9,95	11,32	4,52
22/01/2004	12 a 13	5,34	6,35	3,91	3,63	3,76	1,89	8,97	10,11	5,30
22/01/2004	13 a 14	5,29	6,18	3,64	4,25	3,86	1,30	9,54	10,04	4,94
22/01/2004	14 a 15	4,90	5,49	3,11	4,35	3,63	1,69	9,25	9,12	4,80
22/01/2004	15 a 16	5,00	4,71	2,57	4,16	3,25	1,57	9,16	7,96	4,14
22/01/2004	16 a 17	5,82	5,82	3,95	4,47	4,04	1,70	10,29	9,86	5,65
22/01/2004	17 a 18	7,14	5,42	4,43	5,14	3,80	1,84	12,28	9,22	6,27
22/01/2004	18 a 19	7,08	5,97	3,85	5,64	5,06	1,51	12,72	11,03	5,36
22/01/2004	19 a 20	6,40	6,55	3,85	5,31	4,69	2,03	11,71	11,24	5,88
22/01/2004	20 a 21	5,57	6,47	3,85	5,40	4,77	2,01	10,97	11,24	5,86
22/01/2004	21 a 22	6,48	5,59	4,10	4,26	4,97	1,88	10,74	10,56	5,98
22/01/2004	22 a 23	4,42	6,30	3,55	4,74	4,56	1,73	9,16	10,86	5,28
22/01/2004	23 a 24	3,32	4,05	2,45	2,61	3,40	1,63	5,93	7,45	4,08

Essa tabela nos mostra a evolução dos tráfegos em um período de um dia, ou seja, 24:00 horas, sendo uma *ERB* setorizada, com os setores α , β e γ respectivamente.

Com os dados dessa tabela são apresentados nas figuras abaixo as evoluções dos tráfegos, primário, *soft handoff* (caso particular de canais de *CDMA*- que trocam de células utilizando a mesma portadora, ou seja, quando se aproxima de uma célula vizinha, inicia-se uma comunicação com a nova *ERB*, utilizando a mesma portadora)

e o tráfego total cursado, para observarmos que as medidas foram feitas em um horário de tráfego significativo.

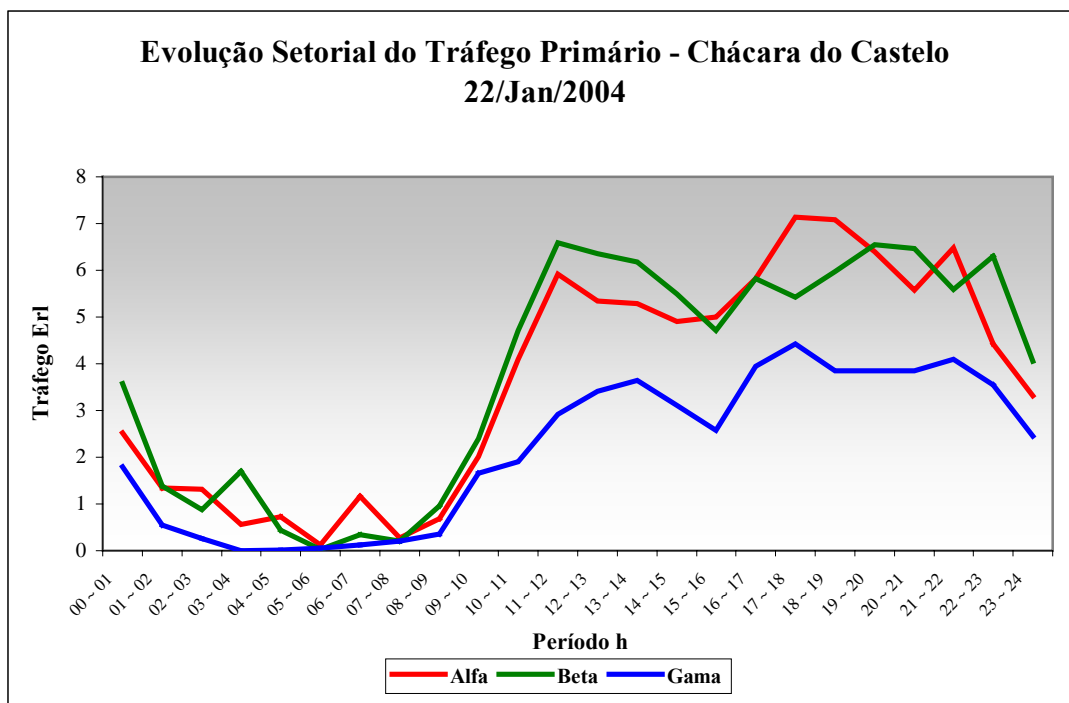


Figura 5.15 – Evolução do tráfego Primário.

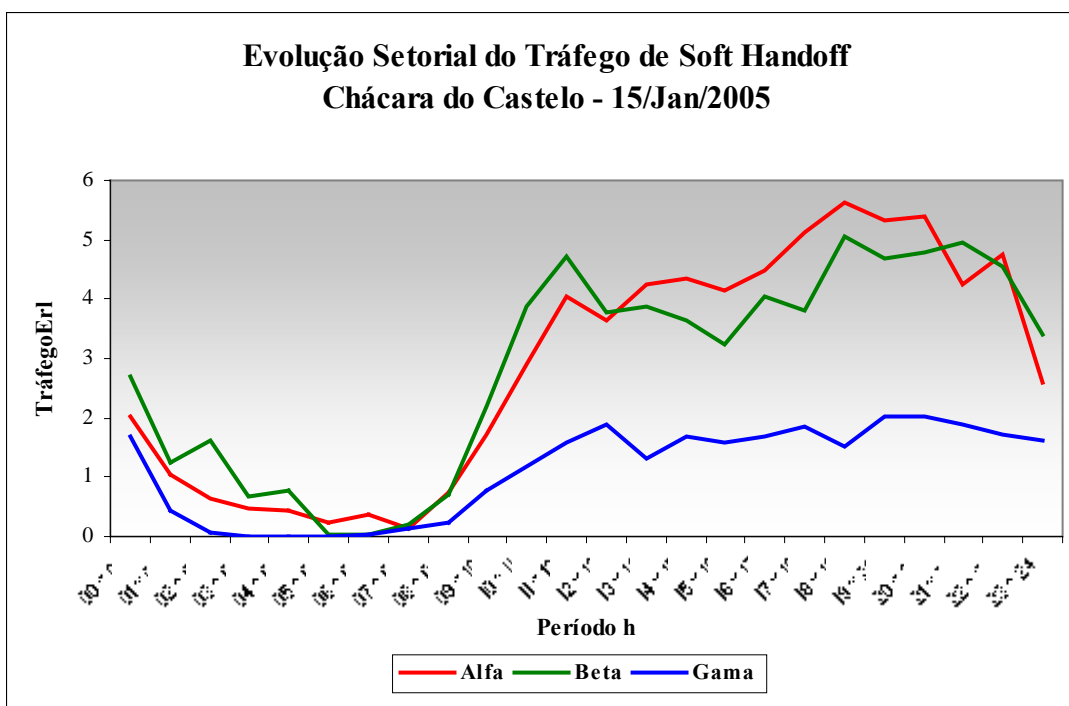


Figura 5.16 – Evolução do tráfego soft handoff.

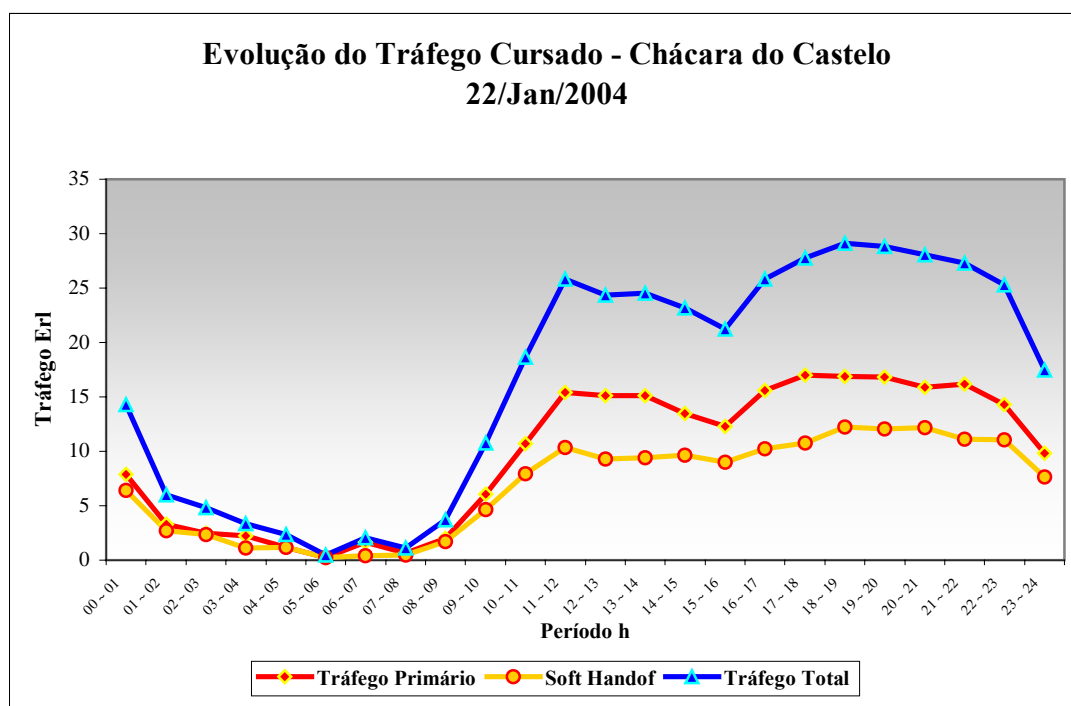


Figura 5.17 – Evolução do tráfego total.

onde no eixo da ordenada estão indicados os tráfegos em *Erlang* e no eixo das abscissas os intervalos de horas do dia, sendo o *erlang* uma unidade de tráfego bastante utilizada em telefonia que mede a intensidade de tráfego telefônico. Um *erlang* representa a intensidade de tráfego acomodada por um canal que se mantém ocupado por um determinado tempo de observação. Por exemplo um canal de rádio que se encontra ocupado durante 30 minutos em um intervalo de observação de uma hora representa um tráfego 0,5 *erlang*.

5.7 – CONCLUSÃO

Pelos quatro conjuntos de medidas apresentadas neste capítulo destacam dados experimentais obtidos em dois grandes centros urbanos: São Paulo e Belo Horizonte, possuindo várias *ERB*'s. Foram também levantados dados em dois centros urbanos de menor porte que são: Pouso Alegre e Santa Rita, ambos contendo um número menor de *ERB*'s.

As medidas também foram feitas com instrumentos e métodos diferentes e em várias condições de tráfego. Dentro desses vários cenários observamos que em todos

eles os níveis médios instantâneos foram abaixo das especificações da norma brasileira, como já mencionado anteriormente. Mesmo no ponto de maior intensidade do sinal encontrada nessas *ERB*'s, pode constatar que esses valores estão bem abaixo do nível recomendado pelas normas da *ANATEL*.

Porém, o ser humano deve estar ciente quanto ao uso exagerado de um sistema de comunicação móvel tomando as devidas precauções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANATEL - *Agência Nacional de Telecomunicações*. Diretrizes para Limitações da Exposição à Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no Tempo (até 300 GHz). Disponível em www.anatel.gov.br . Acesso em :dez.1999.
- [2] IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers. INC., “IEEE-C95.1 1991, Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwaves, 3 Park Avenue. New York: NY, 2000.
- [3] LIMA, A . C. C. Radiações e propagação de Ondas eletromagnéticas. apostila do curso CEET UFBA. Ago.1999.
- [4] ANATEL, Anexo à resolução nº 303 de 02/06/2002, disponível em <http://www.anatel.gov/>, acesso em: dez. 2004.
- [5] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications*, 2 ed., Prentice Hall: PTR. 2002.
- [6] ITU - Telecommunication Standardization Sector. Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic field. Draft recommendation *EMF*, study period 1997 – 2000.
- [7] RIBEIRO, J. A. J. *Propagação de Ondas Eletromagnéticas*. SP., 1ª ed., Érica Ltda, 2004.
- [8] OET Bulletin 65. Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. 2000.
- [9] IEEE 644. Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from ac power lines. 2002.
- [10] IEEE/C63.2. Standard electromagnetic noise and field strengths instrumentation, 10 Hz to 40GHz – specifications. 1999.

CAPÍTULO 6

SIMULAÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas simulações importantes para o entendimento da interação de onda plana, linearmente polarizada com o material biológico. Através da teoria apresentada no capítulo 2, veremos como uma onda eletromagnética proveniente de fontes artificiais propagando no espaço livre induz um campo elétrico no interior dos tecidos e este é absorvido pelas camadas, sofrendo atenuação com o avanço nesse meio.

Serão estimados os valores do campo elétrico induzido e a respectiva taxa de absorção específica *SAR* para a faixa de frequência mais usada nos sistemas celulares. As características elétricas do tecido humano relacionado com as diferentes frequências foram tomadas como a média dos valores adotados por vários pesquisadores, uma vez que estudos recentes estão indicando que se aproximam dos modelos reais de seres vivos^{1, 2, 3, 4, 5, 6}.

Um dos propósitos fundamentais deste estudo é constatar através de modelos como são absorvidas as intensidades de campo pelas camadas do organismo humano. Utilizou-se a plataforma de programação *Matlab*® para as simulações propostas⁷.

6.2 – PRIMEIRO MODELO PROPOSTO

Foi proposto um conjunto estratificado de partes do ser humano esboçado na Figura 6.1. As características dielétricas das camadas foram tomadas com valor médio para a frequência especificada^{8, 9, 10}. Considerou-se como modelo a cabeça constituída por cinco camadas e suas características nas frequências entre 800 a 900 *MHz*. Usaremos 870 *MHz* e uma potência emitida por um aparelho celular de 0,6 *W*.

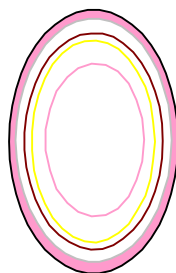


Figura 6.1 – Esboço do modelo proposto.

Tabela 6.1 – Propriedades dos tecidos do modelo.

Camadas	$\sigma S / m$	ϵ_r	$\rho \text{ kg} / m^3$	Esp.mm
Pele	0.87	41.4	1010	2
Gordura	0.11	11.3	940	4
Osso(crânio)	0.25	17.4	1200	10
Cérebro	1.03	49.6	1060	100
Hipófise	0.92	45.26	1040	2

As propriedades do modelo possuem as seguintes características para a banda de frequência especificada: σ é a condutividade específica das camadas, ϵ_r é a permissividade relativa do meio, ρ é a densidade volumétrica de massa e foi levado em consideração para o cálculo a frequência de 870 MHz sendo um dos valores utilizados na banda A do sistema celular e considerou-se um aparelho celular emitindo uma potencia de 0,6 W. Tomaremos como exemplo diversas espessuras da constituição dos tecidos dadas na Tabela 6.2. Com a utilização das equações descritas nos capítulos 2 e 3, realizamos um programa no *Matlab*, cuja listagem encontra-se no Anexo V, com o nome de “hipófise”.

Tabela 6.2 – Espessuras das camadas.

Pele mm	Gordura mm	Osso mm	Cérebro mm	Hipófise mm
2	4	10	100	2

Através das figuras abaixo, pode-se observar o comportamento do campo elétrico e da SAR em cada camada distinta. Nota-se que a superfície mais próxima da fonte irradiante absorve mais energia. Também observa-se que o tecido gorduroso e o tecido ósseo absorvem menos energia por apresentarem um baixo teor de água.

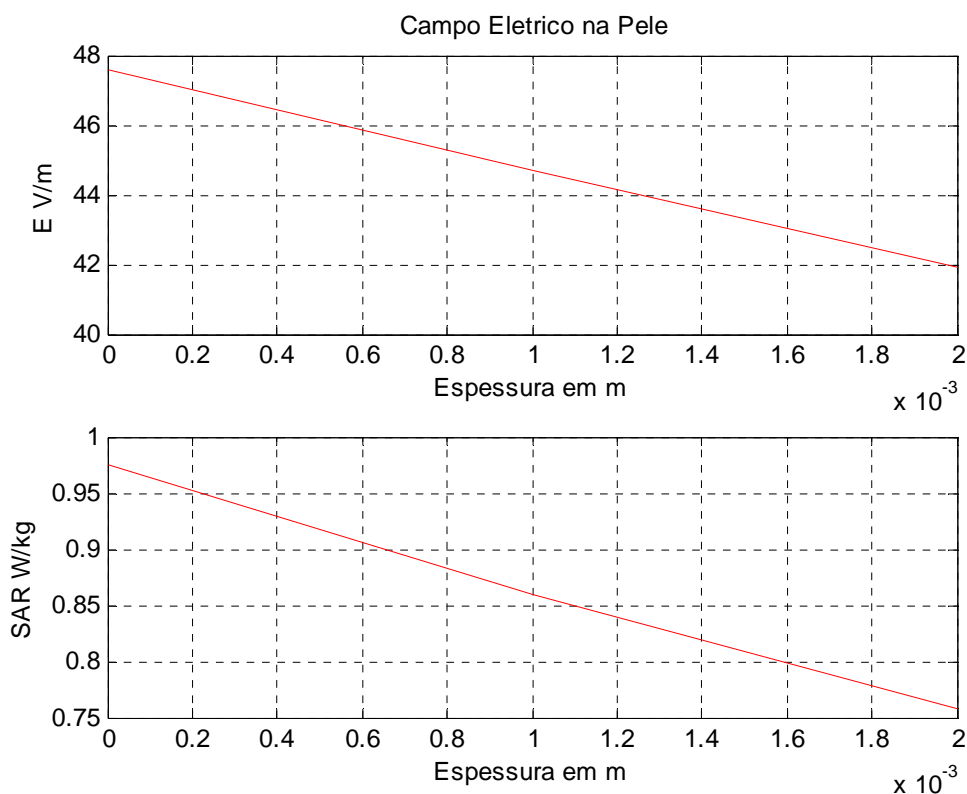


Figura 6.2 – Campo elétrico e SAR na pele.

A condutividade dos tecidos varia de forma significativa com a frequência. Em tecidos biológicos normais, ou seja, com uma concentração de água entre 50 a 70% existe uma relação de dependência linear da condutividade do tecido com o conteúdo de água no mesmo¹¹. Desta forma para a mesma intensidade da onda incidente, os tecidos com maior concentração de água absorve uma taxa maior de energia.

Podemos calcular a SAR em cada camada através da Eq. 6.1

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{2\rho} \quad (6.1)$$

onde a SAR é dada em W/kg, σ é a condutividade da camada, E é o valor de pico do campo elétrico incidente e ρ é a densidade volumétrica de massa do tecido.

A Figura 6.2 apresenta o comportamento do campo elétrico induzido na pele e a respectiva taxa de absorção nessa camada para uma onda plana linearmente polarizada e a Figura 6.3 apresenta a intensidade do sinal e a SAR nos tecidos adiposos.

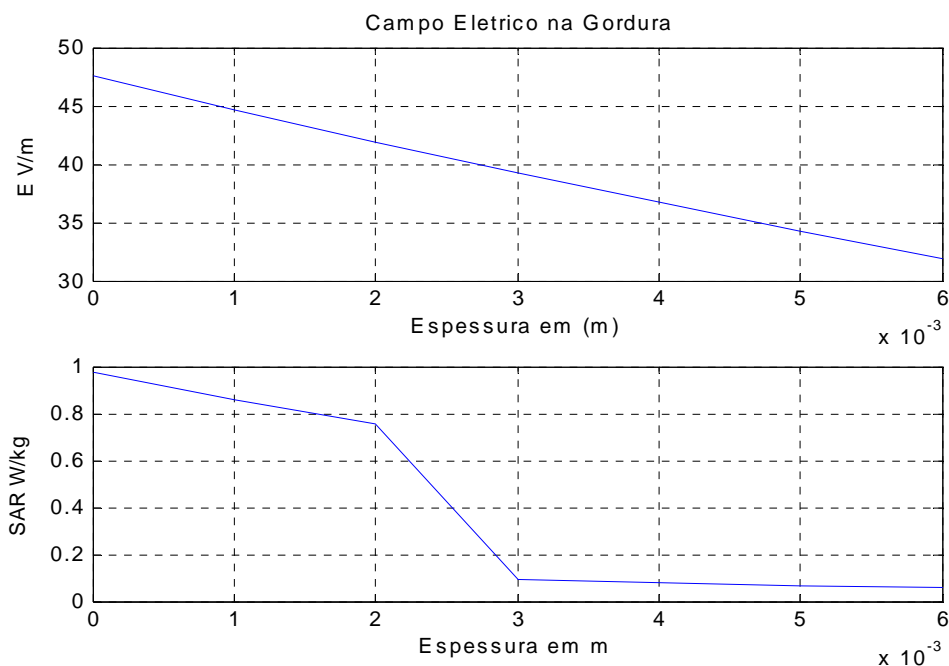


Figura 6.3 – Campo elétrico e SAR na gordura.

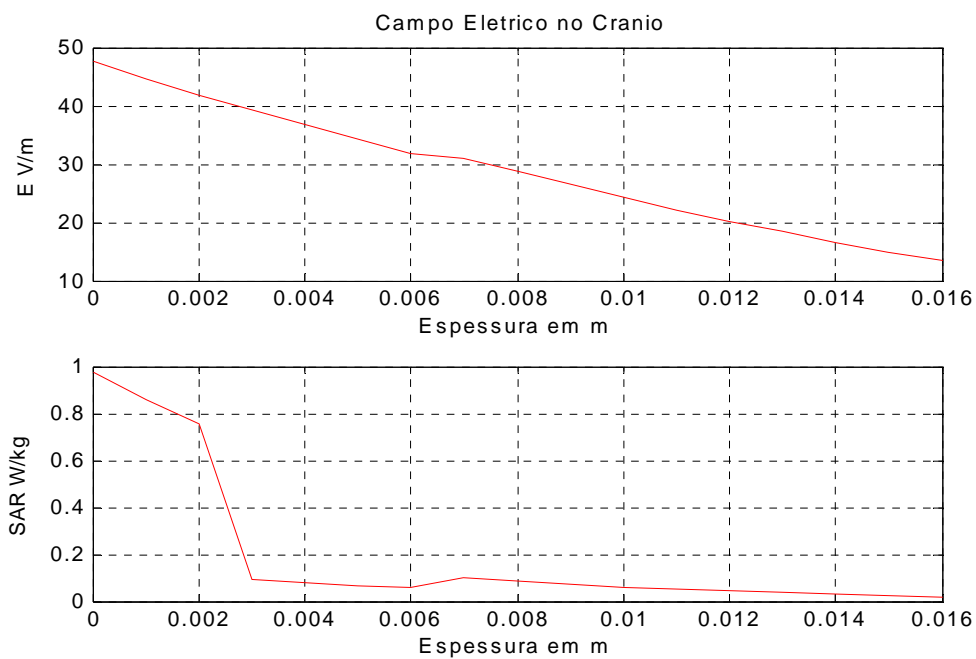


Figura 6.4 – Campo elétrico e SAR no osso.

A Figura 6.4 apresenta o campo elétrico e a *SAR* absorvida nas três primeiras camadas, sendo pele, tecido gorduroso e tecido ósseo, podemos observar que há pouca absorção na camada da gordura e do osso. Esses tecidos possuem uma condutividade menor em relação aos tecidos com grande concentração de água.

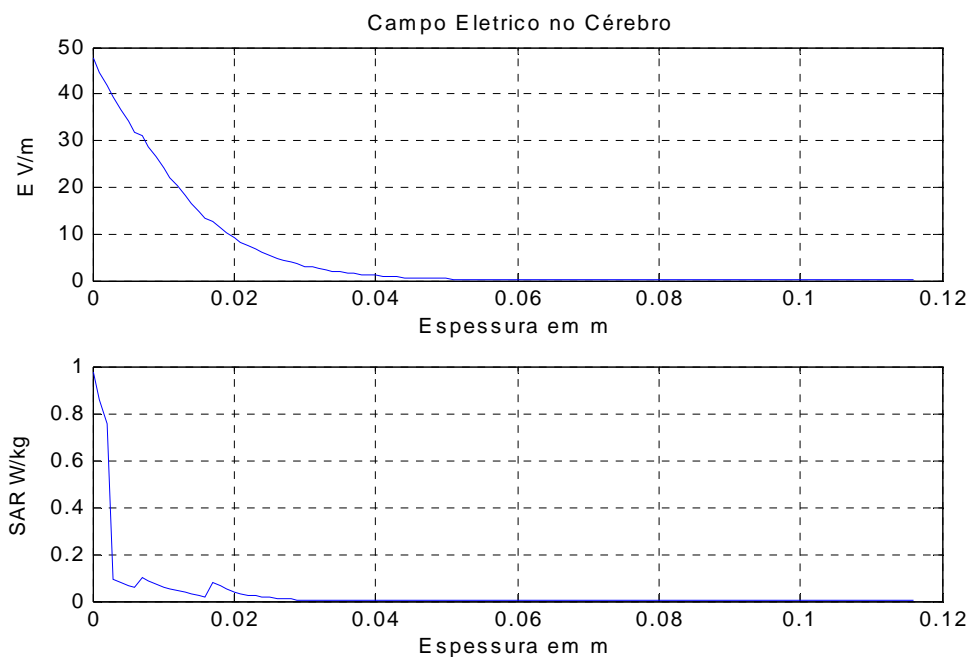


Figura 6.5 – *Campo elétrico e SAR no tecido cerebral.*

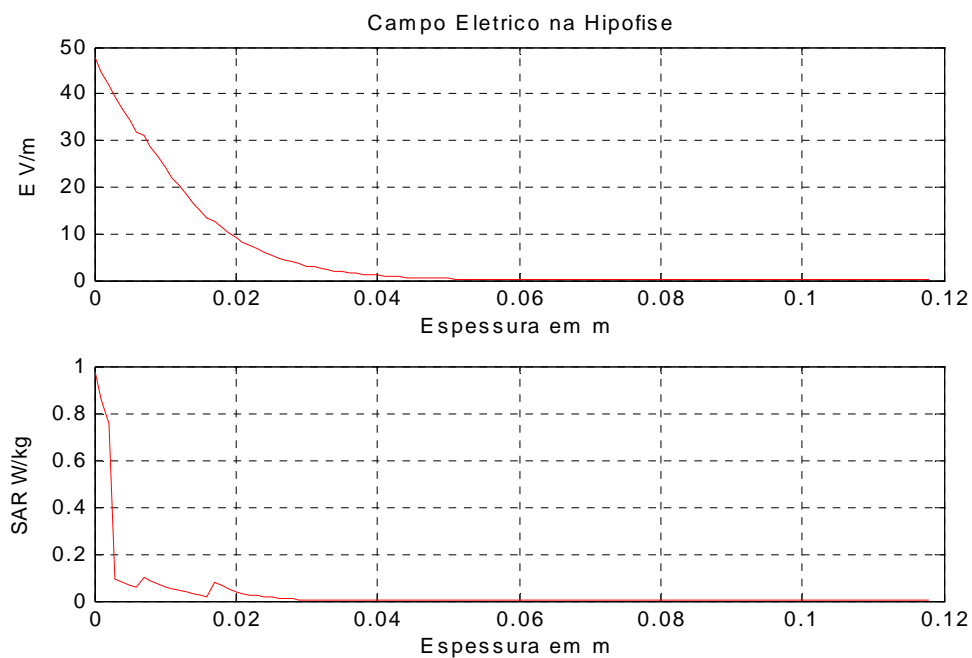


Figura 6.6 – *Campo elétrico e SAR na Hipófise.*

As Figuras 6.5 e 6.6 apresentam a intensidade do campo elétrico e a taxa de absorção nas camadas do tecido cerebral e hipófise, respectivamente. Podemos notar que o sinal chega bastante atenuado no interior do cérebro para as características dielétricas utilizadas no modelo proposto.

6.2.1 – RESULTADOS DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO

Neste parágrafo serão analisados os resultados da intensidade do sinal que interagiu com as camadas do primeiro modelo proposto, sendo registrados na Tabela 6.3 apenas o valor máximo de cada interação.

Verificou-se que a camada que mais absorve energia é a da pele, uma vez que esta se encontra mais próxima da fonte geradora. Também pode se observar na Figura 6.3 que seres humanos com camada de gordura mais espessa estão mais protegidas das radiações, pois a camada de gordura quase não absorve energia. O cérebro apesar de estar mais afastado da fonte geradora por ele possuir uma condutividade maior apresenta um ligeiro aumento de campo elétrico

Tabela 6.3 – Resultados da Primeira Simulação.

Camadas	E V/m	SAR mW / kg	$Esp.$ mm
Pele	47,5	0,97	2
Gordura	42	0,09	4
Osso	32	0,1	10
Cérebro	13,2	0.08	100
Hipófise	0,000	0.000	2

6.3 – SEGUNDO MODELO PROPOSTO

Neste exemplo, serão consideradas características de um tecido mais jovem, como os de uma criança. Eles apresentam espessuras mais finas que os apresentados

para um adulto e estão indicados na Tabela 6.4. Utilizando o mesmo programa iremos identificar a absorção para um modelo proposto de quatro camadas.

Através das Figuras abaixo são apresentados os resultados para esse modelo proposto. A Figura 6.7 apresenta a intensidade do campo elétrico e a SAR na pele, com uma espessura de 1mm , a Figura 6.8 nos mostra os níveis de intensidade do campo elétrico e da taxa de absorção específica do tecido gorduroso. A Figura 6.9 apresenta os níveis de sinais para o tecido ósseo e a Figura 6.10 o campo induzido no tecido cerebral e a respectiva SAR.

Tabela 6.4 – Espessuras das camadas para segunda simulação

Pele mm	Gordura mm	Ossos mm	Cérebro mm
1	4	8	85

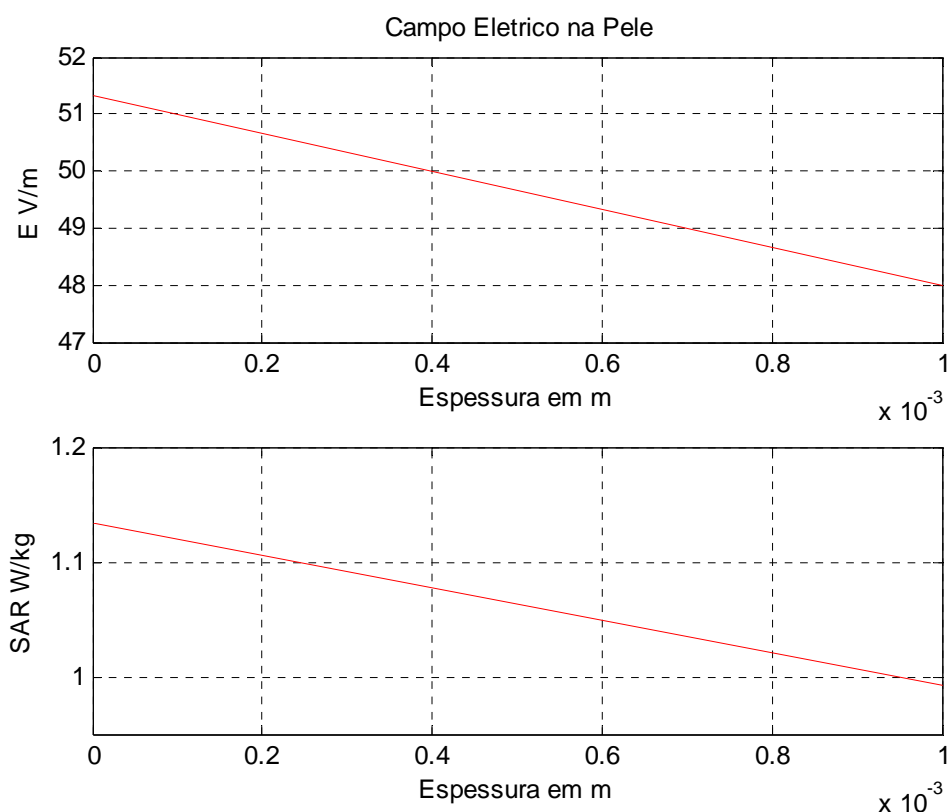


Figura 6.7 – Campo Elétrico e SAR na pele.

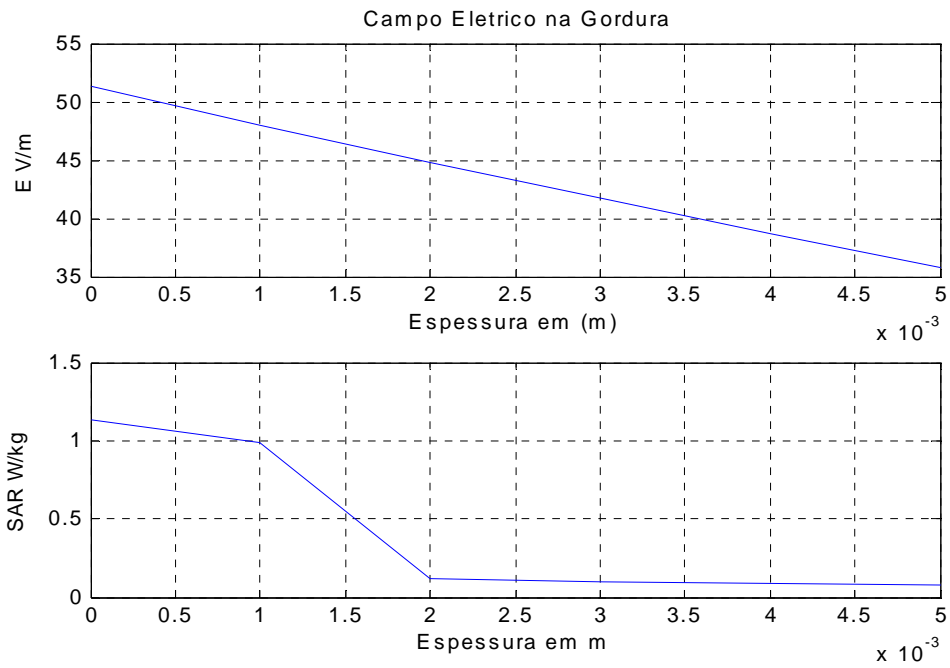


Figura 6.8 – Campo Elétrico e SAR na gordura.

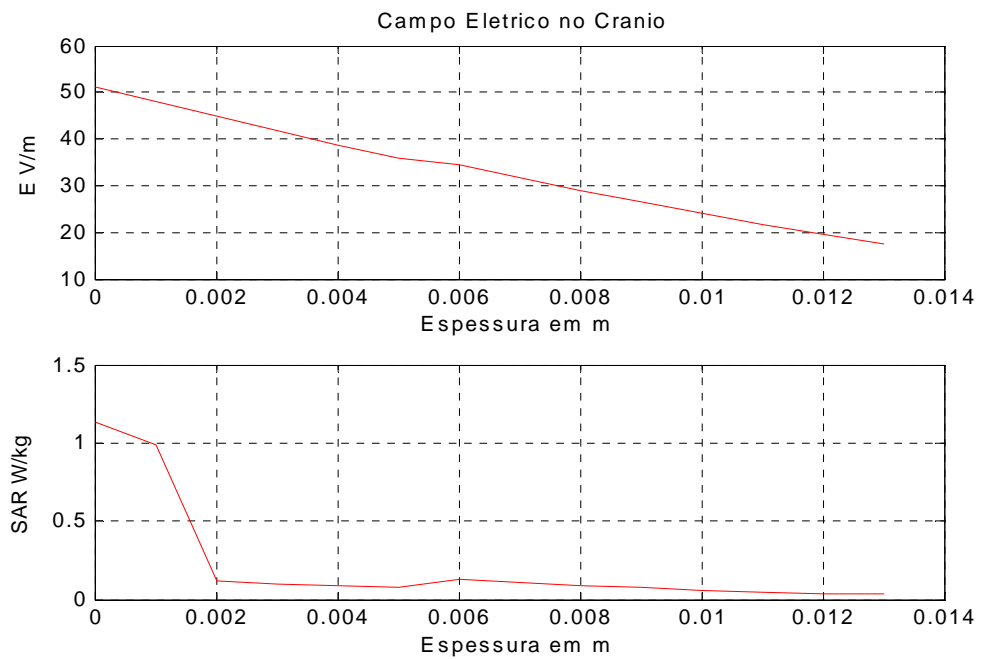


Figura 6.9 – Campo Elétrico e SAR no osso.

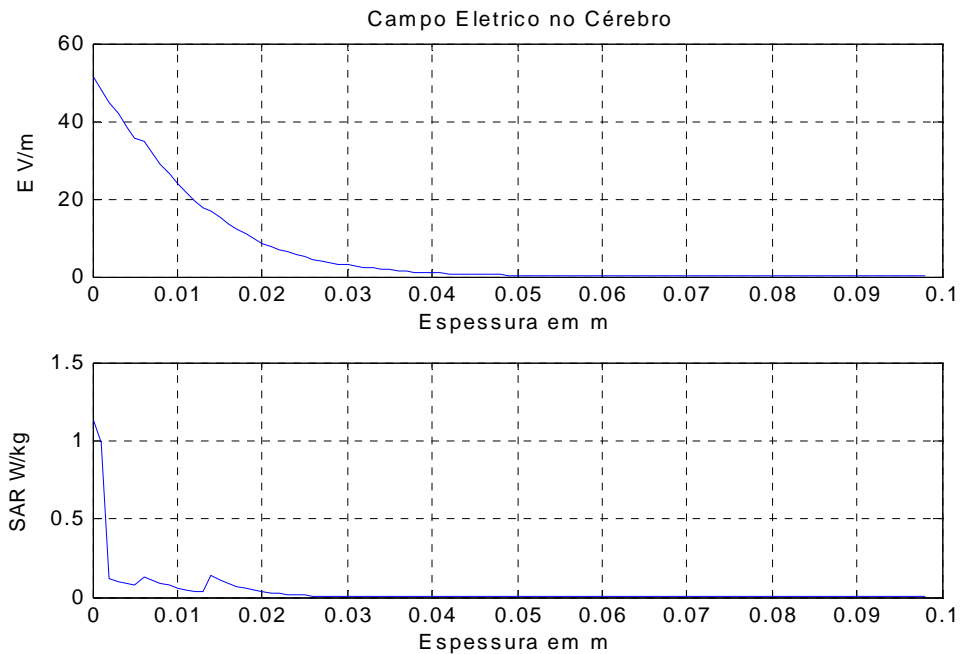


Figura 6.10 – *Campo Elétrico e SAR no tecido cerebral.*

6.3.1 – RESULTADOS DA SEGUNDA SIMULAÇÃO

Na Tabela 6.5 temos os valores dos campos e da SAR respectivas para o exemplo dado, nas espessuras especificadas. Nota-se em tecidos mais novos, como os de crianças a intensidade de campo elétrico tem maior poder de penetração, e a SAR também é maior.

Tabela 6.5 – Resultado da segunda simulação

	$E \text{ V/m}$	$SAR \text{ mW/kg}$	$Esp. mm$
Pele	51,3	1,13	1
Gordura	48,	0,12	4
Osso	35,8	0,125	8
Cérebro	19,5	0,13	85

Com os resultados podemos notar que o campo elétrico incidente no material biológico atenua rapidamente para a frequência utilizada na comunicação móvel. Mas ele existe e interage com o material e deve-se ter o conhecimento deste fato e tomar o *Princípio de Precaução* pessoal como alerta. Seria interessante que as antenas transmissoras fossem mais altas possíveis, para que o nível do sinal fosse mais atenuado até atingir as pessoas e que as antenas dos aparelhos celulares móveis pudessem também estar um pouco mais afastada da cabeça.

6.4 – TERCEIRO MODELO PROPOSTO

Veremos outro exemplo que simula a quantidade de energia absorvida pelas principais camadas do olho, tendo as características médias das propriedades dielétricas dadas na Tabela 6.6 para frequência do sistema celular entre 800 e 900 *MHz*. Usaremos 870 *MHz* e uma potência emitida por um aparelho celular de 0,6 *W*.

Tabela 6.6 – *Propriedades do modelo proposto do Olho.*

	ϵ_r	$\sigma S/m$	$\rho kg/m$	<i>Esp.mm</i>
Córnea	54.9	1.17	1170	2
Humor-aquoso	67.90	1.68	1010	4
Cristalino	36.59	0.59	1100	6
Retina	33.40	0.60	1040	2

As características das camadas são: ϵ_r é a constante dielétrica relativa, σ é a condutividade, ρ é a constante volumétrica de massa e *Esp* é a espessura das camadas utilizadas nesse exemplo. Para esse caso o programa elaborado na plataforma do *Matlab* nos permite obter as Figura de 6.11 a 6.14. No Anexo V encontram-se o programa “*humor*” para maior detalhes.

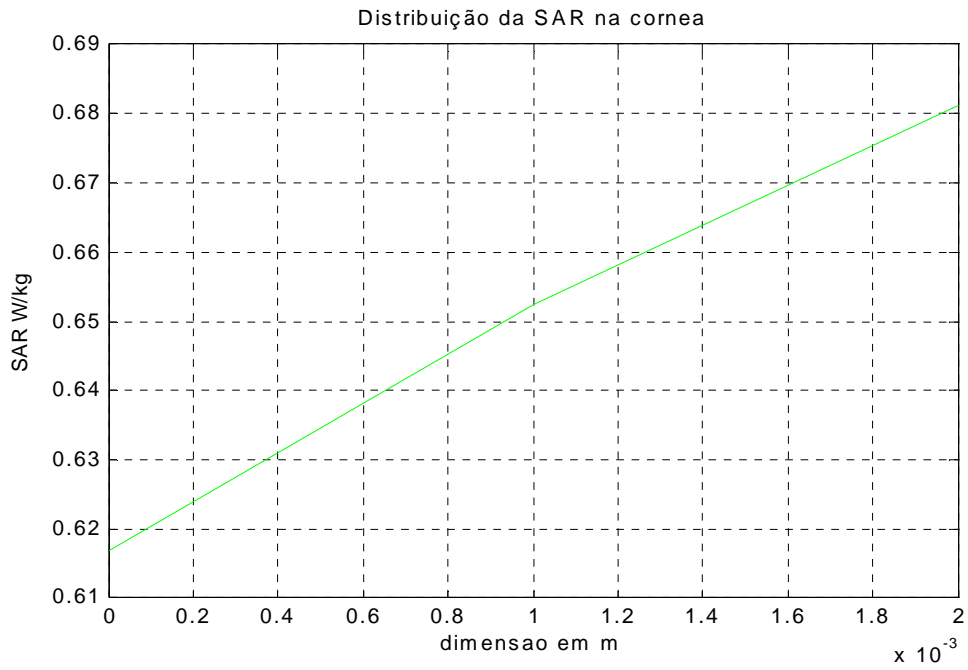


Figura 6.11 – SAR na Córnea.

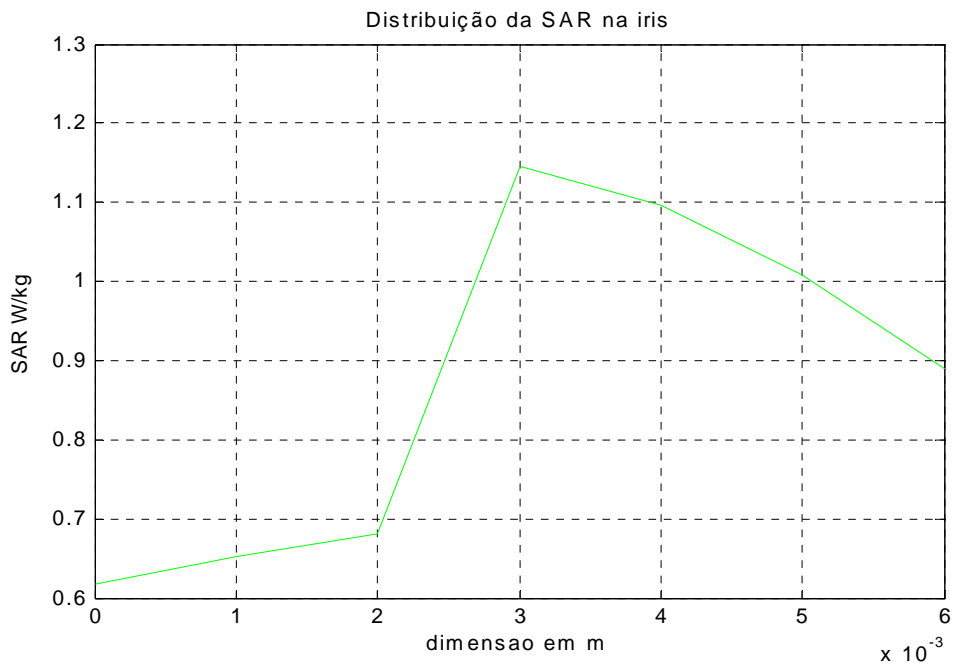


Figura 6.12 – SAR no humor-aquoso com íris

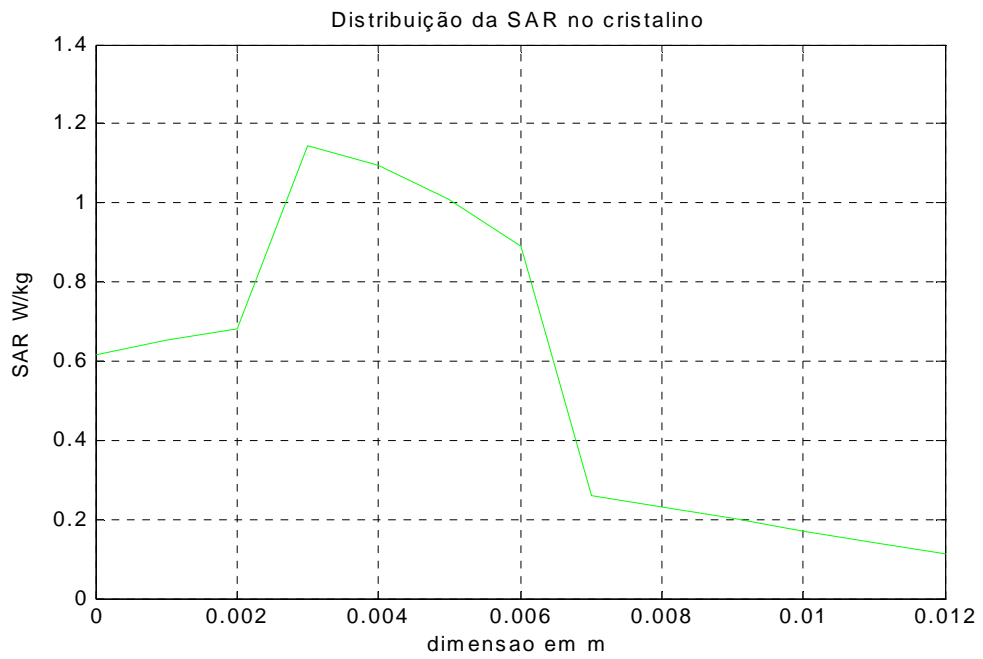


Figura 6.13 – SAR no Cristalino.

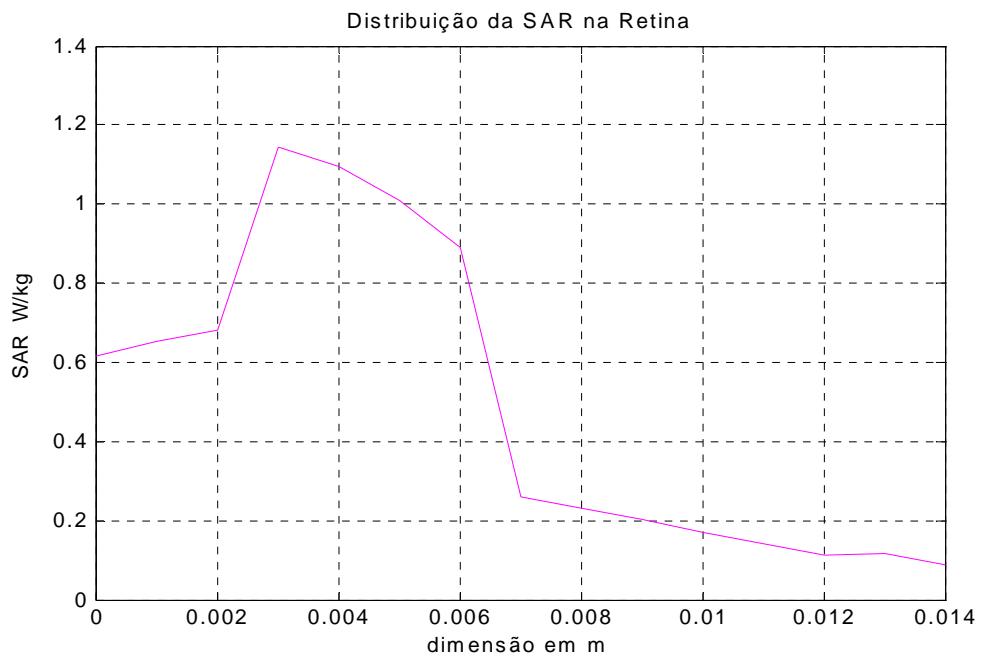


Figura 6.14 – SAR na Retina.

6.4.1 – RESULTADOS DA TERCEIRA SIMULAÇÃO

Os resultados da interação da onda eletromagnética, proveniente do sistema celular com as partes constituintes dos olhos estão indicados na Tabela 6.7

Tabela 6.7 – Resultados da terceira simulação.

Camadas	<i>SAR W / kg</i>
Córnea	0,617
Humor-aquoso com Íris	1,145
Cristalino	0,259
Retina	1,115

6.4.2 – CONCLUSÕES

O olho é considerado um dos órgãos críticos, com relação ao efeito das radiações não-ionizantes, sendo bastante suscetível ao efeito térmico. Quantidades relativamente pequenas de energia eletromagnética podem elevar a temperatura das lentes oculares, ou seja, cataratas podem ser produzidas por repetidas exposições a níveis de densidade de potência da ordem de 150 mW/m^2 com uma exposição suficientemente longa. Para que esse efeito cumulativo ocorra, os níveis devem ser suficientes para produzir um pequeno grau de dano que não seja reparado antes que outra exposição aconteça, pelo fato destes não possuírem sistema vascular adequado para as trocas térmicas, o que reduz sua capacidade de dissipação de calor. Por isso, a possibilidade de danos aos olhos constitui um aspecto muito sério das radiações de microondas e radiofrequência.

Através das figuras anteriores podemos constatar que o olho é mais sensível à absorção de energia, devido ao alto grau de matéria líquida em sua constituição e a baixa vascularização. Isso fica evidenciado no conjunto íris com humor aquoso, por possuírem um maior teor de água em sua constituição. Esse tratamento numérico nos permite concluir que é altamente aconselhável não abusar de longas conversações em um sistema celular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GANDHI, O.P. Some numerical methods for dosimetry: Extremely low frequencies to microwave frequencies. *Radio Sci*, v. 30, n.1, p. 161-177, jan.1995.
- [2] DIMBYLOW, P. J. and MANN, S. M. SAR calculations in an anatomically based realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1,8 GHz. *Phys. in Med. Biol.*, v. 39, p.1537-1553, 1994.
- [3] LAZZI, G. and GANDHI, O. P. Realistically tilted and truncated anatomically based models of the human head for dosimetry of mobile telephones. *IEEE: Trans Antennas Propagated*, v. 40, 1998.
- [4] CHEN, H.Y. and WANG, H.H. Current and SAR induced in a human head model by the electromagnetic fields irradiated from a cellular phone. *IEEE: Trans.on Microwave Theory and Tech.*, v. 42, n. 12, p. 2249-2253, dez. 1994.
- [5] JOHNSON, C. C. and GUY, A. W. Guy. Non-ionizing electromagnetic wave effects in biological materials and system. *Proc. IEEE*, v. 60, p. 692-718, 1972.
- [6] DROSSOS, A.; SANTOMA, V. and KUSTER, N. The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. *IEEE :Trans. Microwave Theory Tech.*, v. 48, pp. 1988-1995, nov. 2000.
- [7] BERNHART, J. H. Non-ionizing radiation safety: Radio frequency radiation, electric and magnetic fields. *Phys. on Med. and Biol.*, v. 37, n.4, p. 807-884, 1992.
- [8] ALMAGUER, H. A. D.; RAIZER, A. Aplicação do método TLM no estudo da interação dos campos irradiados por telefones celulares com a cabeça humana. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 18, abr. 2002.

-
- [9] GANDHI, O. P.; LAZZI, G.; FURSE, C. M. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 to 300 *MHz*. IEEE: Trans.on Microwave Theory Tech., v. 44, out. 1996.
- [10] SALLES, A. A. De , et al. Simulações da SAR na cabeça e antenas planares para telefones móveis. Revista de Engenharia Biomédica, v. 19, n. 2, ago. 2002.
- [11] ELBERN, A. proRad Radiações não-ionizantes: Conceitos, Riscos e Normas. Disponível em < www.prorad.com.rni/>. Acesso em: ago.2004.

CAPÍTULO 7

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

7.1 – COMENTÁRIOS

No atual estágio do conhecimento, pode-se afirmar com fatos de base científica alguns problemas que podem resultar em relação à interação dos campos eletromagnéticos para o ser vivo. O estado atual da arte tem conduzido vários grupos de cientistas a acreditar na existência de efeitos biológicos térmicos e atérmicos significativos, induzidos por campos eletromagnéticos não-ionizantes de baixa intensidade¹.

Para a proteção dos seres vivos na exposição excessiva a *CEM* determinados limites vem sendo adotados como padrão por organizações governamentais ou não governamentais no mundo todo. A reavaliação desses limites e o estabelecimento de novos têm sido alvo de pesquisa embora ainda não tenha chegado a um consenso comum para novas normas².

As diretrizes da *ICNIRP* são baseadas exclusivamente em efeitos térmicos na saúde, de caráter imediato, em curto prazo e não em longo prazo³. As diretrizes de segurança, baseadas apenas na consideração da *SAR*, não garantem proteção contra os efeitos não térmicos ou de baixa intensidade. Os cientistas da área do campo bioeletromagnetismo estão convencidos de que as interações aos *CEM* artificiais induzem correspondentes efeitos biológicos. A cada ano estão sendo realizados congressos, seminários e esclarecimentos para a comunidade, sobre os possíveis efeitos biológicos na saúde provenientes da exposição às radiações ligadas aos *CEM* de *RF*. Em resposta a uma base crescente de evidências científicas, a existência de efeitos biológicos e da saúde pública associados com a exposição a *CEM*, está se tornando mais largamente difundida e aceita.

Uma das mais completas referências sobre o assunto é o trabalho, intitulado “*International EMF- Project*”, um projeto de pesquisa estabelecido em 1996 pela Organização mundial da saúde (*World Health Organization- WHO*), com término previsto até o ano 2006. A comunidade científica mundial está ansiosa para conhecer os resultados na expectativa de que suas conclusões possam dar respostas às preocupações crescentes da sociedade, com relação aos riscos à saúde da tecnologia de telefonia celular.

Enquanto não existe um laudo conclusivo, vários países e Estados estão adotando o *Princípio de Precaução*, que determina se os riscos podem ser relevantes para uma grande parcela da população, devendo-se adotar medidas preventivas antes da confirmação dos resultados das pesquisas.

7.2 – UMA ABORDAGEM DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

Quando uma atividade levanta a possibilidade de nocividade à saúde humana ou ao meio ambiente, devem ser tomadas medidas preventivas, mesmo se alguma relação de causa e efeito não for completa e cientificamente estabelecida. O *Princípio da Precaução* é um novo modo de pensar sobre a proteção ambiental ou a proteção à saúde pública, e a permanência da exposição a situações e a agentes de risco em longo prazo. Ele nos desafia a fazer mudanças fundamentais no modo como permitimos e restringimos danos.

O *Princípio da Precaução* envolve as seguintes atitudes:

- Agir com precaução, antes que haja certeza científica de causa e efeito (isto previne danos).
- Encorajar o planejamento de metas bem definidas, em vez de prever um futuro incerto, apressando soluções inovadoras.
- Estabelecer alternativas possíveis para atingir metas reduzindo ou eliminando danos antecipadamente.
- Mudar o ônus da Prova
- Desenvolver métodos e critérios mais democráticos, com participação do público nas decisões tanto em atividades já existentes quanto nas emergentes.

Ficou evidente que para o caso do sistema celular, reconhece-se que a exposição não térmica ou de baixa intensidade pode ser detectada em tecido vivo e resulta em efeitos biológicos bem definidos como mudança na função da membrana da célula, mudança no metabolismo e na comunicação intercelular, quebra do *DNA*, produção aumentada de radicais livres, envelhecimento precoce, esgotamento da célula, mudança nas funções do cérebro, desordem no sono, redução na secreção da melatonina, entre outros.

Assim o uso de celular deveria ser minimizado e desencorajado. As instalações das *ERB's* deveriam ser pelo menos 150 m de distância de onde as pessoas vivem ou trabalham, bem como de escolas, hospitais, creches, asilos, e outros tipos de aglomerações públicas.

7.3 – RECOMENDAÇÕES GERAIS

Uma das mais importantes expressões do *Princípio da Precaução* internacionalmente é a Declaração do Rio da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1992, também conhecida como Agenda 21 ou ECO 92, que afirma: *Com fim de proteger o meio ambiente, os Estados devem aplicar amplamente o Princípio da Precaução, conforme as suas capacidades. Quando haja perigo de dano, grave ou irreversível, a falta de uma certeza absoluta não deverá ser utilizada para postergar-se a adoção de medidas eficazes em função do custo para impedir a degradação do meio ambiente*⁴.

Tendo em vista o acima declarado, sugere-se que as autoridades governamentais adotem o *Princípio da Precaução*, até que se disponha de informação científica mais evidente sobre o assunto, apresentando as providências a seguir: É importante que as autoridades governamentais adotem o *Princípio de Precaução*, criando:

- ❖ Uma infra-estrutura necessária para medições e monitoramento das *RNI's* associados aos *CEM* provenientes das estações de telecomunicação em geral.
- ❖ Assegurar o bem estar da população, esclarecendo-os sobre os níveis que as vizinhanças da *ERB* estão submetidos.

- ❖ Exigir redução da potência atingindo o limite mais baixo que a técnica permitir.
- ❖ Monitoramento da radiação emitida pelas antenas
- ❖ A instalação de antenas das *ERB's* não deve ser colocada nas vizinhanças das escolas, hospitais, creches etc...
- ❖ Sejam colocados folhetos explicativos ao público consumidor dos riscos e das precauções a serem adotadas.

7.4 – RECOMENDAÇÕES QUANTO AO USO DO CELULAR

Enquanto não conhecer o valor da *SAR*, para o seu celular, e até que seja adotada uma tecnologia com menos radiação, o usuário deve seguir algumas recomendações^{5, 6}:

- Falar o mínimo possível
- Manter o aparelho afastado do corpo
- Utilizar fones de ouvido
- Nunca falar com a antena a menos de 2cm da cabeça
- Procurar não falar ao telefone em elevadores, metrô, carro, ou seja, lugares fechados, devido a blindagem eletromagnética oferecida.
- Não usar o telefone quando está dirigindo
- Desestimular as crianças a falar nos celulares, pois os tecidos mais jovens são mais susceptíveis aos diversos efeitos.

7.5 – SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O modelo estudado neste trabalho fornece informações da interação dos campos eletromagnéticos com o material biológico, portanto seria necessário :

- ✓ Um estudo mais detalhado dos possíveis efeitos atérmicos prejudiciais à saúde humana, em relação ao sistema de telefonia celular.
- ✓ Avaliar situações mais complexas, para modelos de interação antena-cabeça humana.

- ✓ Comprovação de cálculos adicionais que envolvam às características ideais de cada camada de tecido.
- ✓ Cálculos, levando em consideração o *tilt* do telefone de mão em relação à cabeça.
- ✓ Implementação de laboratório computacionais que permitam tratar problemas das *RNI's* com técnicas numéricas apuradas, como o método das diferenças finitas e o método dos elementos finitos.

7.6 – ARTIGOS PUBLICADOS RELACIONADOS A ESTA DISSERTAÇÃO.

- [1] Scudeler, F. C .S. and Silveira, M. Um Estudo educativo dos efeitos de radiações dos sistemas celulares no corpo humano. IEEE WCETE 2004 – Word Congresso Engineering and Technology Education, Guarujá, Brasil.
- [2] Scudeler, F. C. S. R. and Silveira, M. Didactic concepts of bioeletrics beings and the interaction with radiations preceding from cellular systems. IEEE GCETE 2005 – Global Congress on Engineering and Technology Education, Bertioga, Brasil.

7.7 – ARTIGO SUBMETIDO

- [1] Scudeler, F. c. S. R. and Silveira, M. Procedimentos para estimar a densidade de potência e a intensidade de campo. IEEE WCCSETE 2006 – World Congress on Computer Science, Engineering and technology Education, Itanhaem, Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] SANT'ANA, L. F. Experiências em medições dos campos eletromagnéticos. Revista Engenharia, v. 59, n. 552, pp. 57-60, 2002.
- [2] SCUDELER, F. C. S. R.; FARIA, V. V.; SILVEIRA, M. Didactic concepts of bioelectrics beings and the interaction with radiations preceding from cellular systems. IEEE: GCETE 2005 – Global Congress on Engineering and Technology Education. Bertioga, Brasil.
- [3] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics, v.74, n. 4, apr. 1998. Disponível em < <http://www.icnirp.de/>>.
- [4] DOTE, A. C. Poluição ambiental e exposição humana a campos eletromagnéticos.2003, 175 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos Hídricos), escola de Engenharia, UFMG, BH, 2003.
- [5] ABRICEM- Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnéticas. Disponível em < www.abricem.com.br>. Acesso em: 2004.
- [6] SALLES, A. A. Biological effects of microwave and *RF*. Proceedings of the SBMO/IEEE MTT-S IMOC'99, RJ., 1999.

APÊNDICE A

A.1 – NÍVEL DE SINAL DE RECEPÇÃO

Este Apêndice fornece métodos, para estimar níveis de densidade de potência e intensidade de campo elétrico, que foram mencionados no Capítulo 5. A Figura A.1 ilustra o comportamento descrito para a propagação de uma onda eletromagnética. Salienta-se que a antena receptora enxerga a onda refletida no solo como se fosse uma imagem da antena transmissora localizada abaixo da superfície da terra.

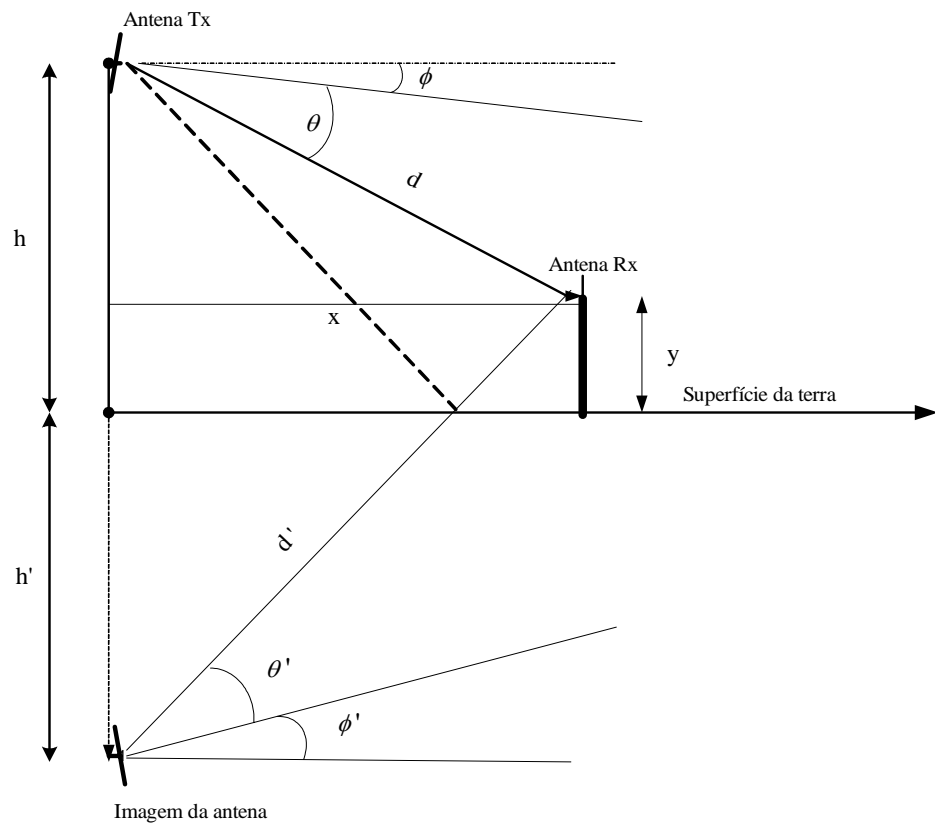


Figura A.1 – Definição do Ângulo Vertical.

A expressão utilizada para calcular a densidade de potência de uma onda, em região de campo distante no espaço livre, onde haja uma superfície plana e lisa entre

o transmissor e o receptor é dada pela Eq.(A.1), onde a análise será feita levando em conta o coeficiente de reflexão no solo. Desta forma, temos:

$$S(\theta, \phi, d) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{d} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{d'} \right]^2 \quad (A.1)$$

onde: $S(\theta, \phi, d)$ é a densidade de potência dada em W/m^2 , $f(\theta, \phi)$ é o diagrama de campo relativo da antena padrão, $EIRP$ é a potência equivalente irradiada isotropicamente - (*Equivalent Isotropic Radiation Power*), ρ é o módulo do coeficiente de reflexão da onda refletida no chão, d é a distância entre o ponto central da fonte radiada e a pessoa exposta, $f(\theta', \phi')$ é a imagem, do diagrama de campo relativo da antena e d' é a distância entre a imagem da antena de transmissão e a antena de recepção.

Para valores próximos da superfície da terra, as imagens com relação ao valor principal são iguais, o que acarreta $f(\theta', \phi') = f(\theta, \phi)$ e $d = d'$, impondo que $F(\theta, \phi) = f(\theta, \phi)^2$, a Eq.(A.1) fica reduzida a:

$$S(\theta, \phi, d) = (1 + \rho)^2 \times \frac{EIRP}{4\pi d^2} F(\theta, \phi) \quad (A.2)$$

onde $F(\theta, \phi)$ é o diagrama de potência de radiação da antena isotrópica padrão, ρ é o coeficiente de reflexão no solo, adotado com o valor de 0.6 pelo FCC¹ e recomendado pela ANATEL^{2, 3}. Como a densidade de potência é proporcional ao quadrado do módulo do campo, significa que a contribuição do sinal refletido sobre a densidade de potência no receptor deve prever a situação de valor máximo. Isto acontecerá quando os campos da onda direta e refletida estiverem em fase. Com isto, a densidade de potência ficará multiplicada por um fator $(1+0,6)^2 = 2.56$. Portanto reescrevemos a Eq. (A.2) por:

$$S(\theta, \phi, d) = 2.56 \times \frac{EIRP}{4\pi d^2} F(\theta, \phi) \quad (A.3)$$

Desta forma, o valor *rms* do campo elétrico pode ser calculado pela Eq. (A.4).

$$E_{ef} = \sqrt{S \times \eta} \quad (\text{A.4})$$

onde η é a impedância intrínseca do espaço livre e S é a densidade de potência, dadas em Ω e W/m^2 respectivamente.

A.2 – AVALIAÇÃO DE CEM

Neste parágrafo realizamos um exemplo de cálculo para avaliar a densidade de potência e a intensidade do campo eletromagnético, próximo ao nível da cabeça de um indivíduo, situado em pé ao nível do chão. Pela Figura A.2 e com a utilização dos conceitos da geometria podemos obter o ângulo de elevação desse ponto, logo temos:

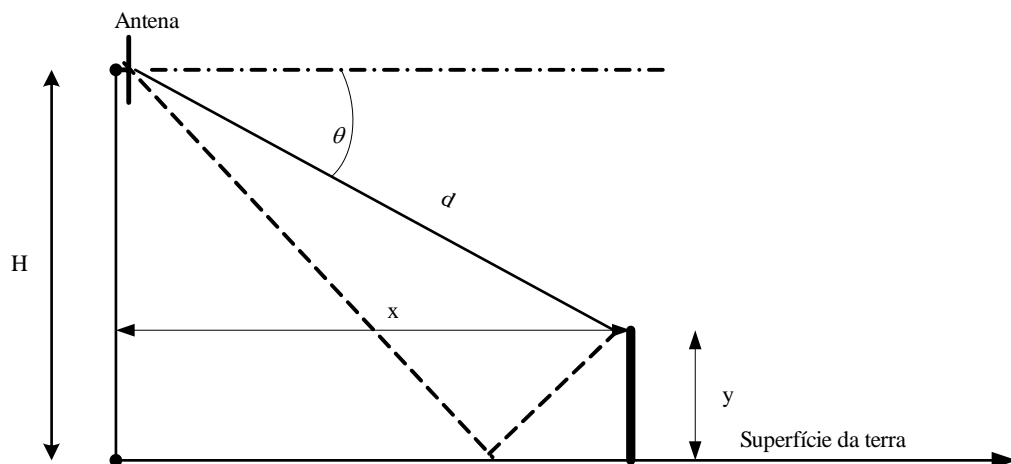


Figura A.2 – *Exposição de Usuário aos CEM.*

Para um indivíduo no chão com altura aproximada de 2 metros, exposto a radiação de CEM a uma distância x da torre:

$$d^2 = x^2 + h^2, \text{ sabendo-se que } h = H - y \quad (\text{A.5})$$

Portanto:

$$\theta = \arctan\left(\frac{h}{x}\right) \quad (\text{A.6})$$

A antena utilizada é um dipolo de meia onda que está instalada no centro da torre de altura H sobre o chão. Neste exemplo o lobo principal é paralelo ao chão, e o ganho da antena é simétrico radial onidirecional. Tendo o ângulo de elevação do ponto, podemos calcular seu diagrama de radiação, que é dado pela Eq. (A.5).

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \text{sen } \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \quad (\text{A.7})$$

E assim através da Eq. (A.3) podemos obter a densidade de potência, conseqüentemente a intensidade de sinal que atinge uma pessoa exposta.

Foi realizado no *Matlab* um programa que calcula esse nível em função de várias alturas e várias distâncias e conseqüentemente a intensidade de campo que atinge o indivíduo, exposto para valores determinado de $EIRP$ ^{4, 5, 6}. Nas Figuras A.3 e A.4 estão apresentados esses valores.

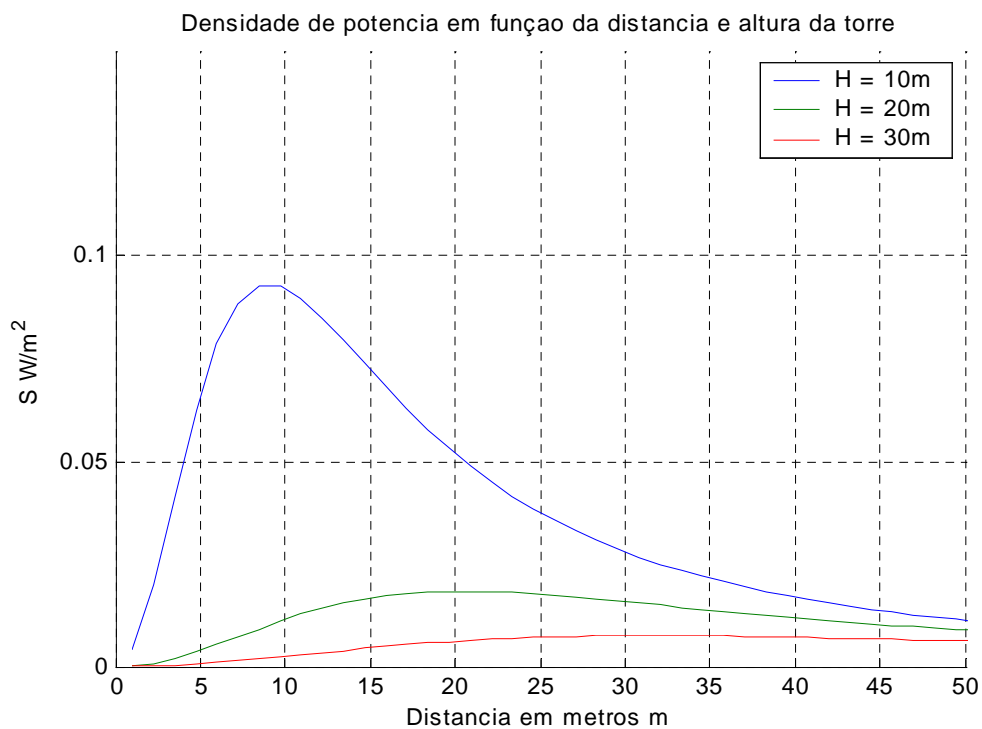


Figura A.3 –Densidade de potência, para as alturas dadas.

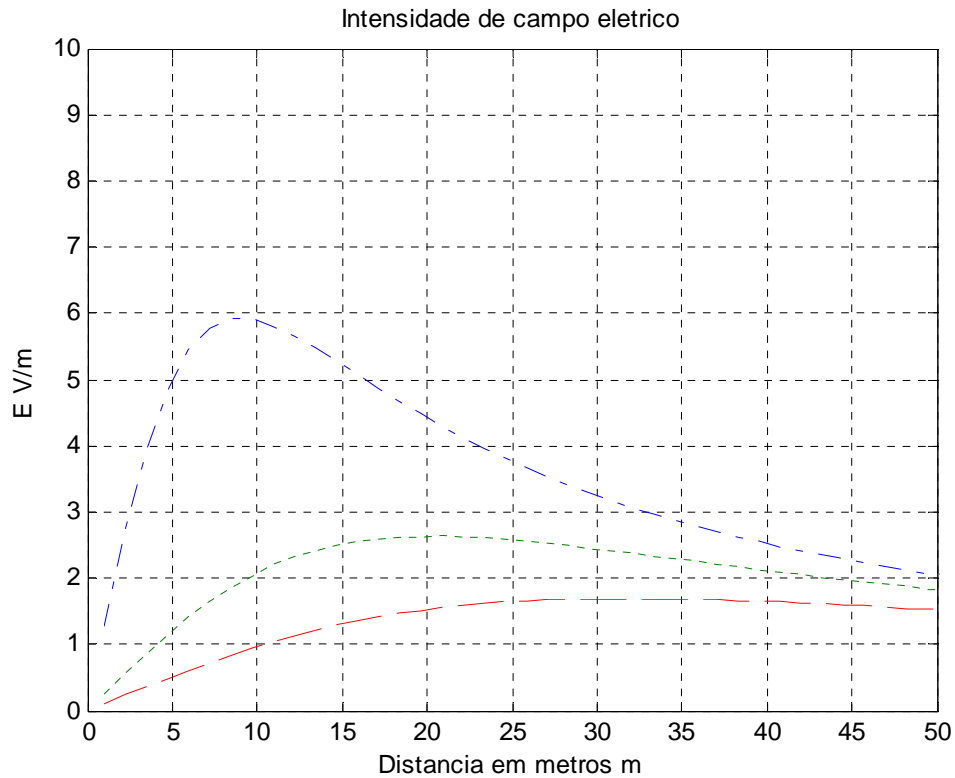


Figura A.4 – Intensidade do campo elétrico, para as alturas.

No programa elaborado foram considerados: três alturas de antenas de transmissão, fixadas em uma torre situada a partir do solo e um indivíduo de altura aproximada de $y = 2 \text{ m}$, estando este entre a torre e 50 metros. Considerando a potência de transmissão $P_t = 35 \text{ dBm}$ e uma antena de transmissão com ganho $G_t = 16,65 \text{ dBi}$. Ex. para uma distância de 30 metros da fonte esse indivíduo recebe um campo de $E = 3,25 \text{ V/m}$ para torre de altura 10 m ; $E = 2,44 \text{ V/m}$ para torre de altura 20 m e $E = 1,68$ para torre com altura de 30 m .

A.3 – CONCLUSÃO

Podemos observar que para alturas de torres maiores o nível de sinal de radiação recebido por um indivíduo sobre o solo a uma distância fixa da fonte é menor.

APÊNDICE B

CÁLCULO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA *ERB* – MORRO DO CRUZEIRO

A fórmula adotada pela ANATEL para calcular a densidade de potência de uma onda plana propagando no espaço livre, admitindo região de campo distante. é dada pela Eq.(B.1)⁴.

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \times 2.56 \quad (B.1)$$

Utilizamos essa equação para efetuarmos os cálculos de medições em campo da densidade de potência e o respectivo campo elétrico a uma distância da fonte. Os dados das características da *ERB* são apresentados na Tabela 5.3 do capítulo 5.

Tabela B.1 – Características da *ERB* Seleccionada e Distâncias Adotadas

d m	P_T dBm	L_c dB	G_T dBd
620	42	2,38	14,5
1005	42	2,38	14,5

onde P_T é a potencia de transmissão da *ERB*, L_c é a perda nos cabos e G_T é o ganho da antena de transmissão. Os ganhos das antenas foram referenciados ao dipolo de meia onda, sabendo que a relação entre *dBi* e *dBd* é dada por: $dBi = 2,15 + dBd$, obtemos o ganho da antena em *dBi*, para serem utilizados nos cálculos.

Tabela B.2 – Resultados dos Cálculos.

d m	S $\mu W / m^2$	E V / m
620	209,5	0,281
1005	31,15	0,108

A Tabela B.2 foi obtida, levando em consideração que a onda refletida contribui no sinal do resultado final. Faremos os cálculos seguintes não levando em

consideração o coeficiente de reflexão, ou seja, são consideradas às parcelas da onda refletida, tomando para cálculos somente o sinal direto chegando no receptor e os resultados estão na Tabela B.3.

Tabela B.3 – Densidade de potência e intensidade de campo

d m	S $\mu\text{W}/\text{m}^2$	E V/m	S' $\mu\text{W}/\text{m}^2$	E' V/m
620	209,5	0,281	81,85	0,175
1005	79,74	0,173	31,15	0,108

onde: d é a distância do ponto, S é a densidade de potência, levando em consideração um $\rho = 0,6$ da Eq.(A.2), E é o valor eficaz campo elétrico, S' é a densidade de potência sem levar em consideração o coeficiente de reflexão, e E' o campo elétrico.

A seguir foram estimadas as perdas no percurso nas distâncias distintas, usando a fórmula de *Friss*, Eq. (B.7). Admitindo que as antenas de transmissão e recepção tenham seus ganhos relacionados ao irradiador isotrópico, isto é; expressos em *dBi*,

$$P_L = 32,4 + 20 \log d + 20 \log f \quad (\text{B.7})$$

Os resultados estimados e medidos estão na Tabela B.4

Tabela B.4 – Densidade de potência estimada.

f MHz	P_L dBm	P_R dBm	PR dBm	P_r dBm	$S \mu\text{W} / \text{m}^2$	E V / m
879,69	86,84	-30,62	-25,00	-28,6	85,83	0,179
879,69	91,33	-35,06	-29,53	-33,13	31,15	0,112

onde P_L é a perda no percurso, d é a distância dada em *km*, f é a frequência em *MHz*, P_R é a potência de recepção estimada a partir da fórmula de *Friss* para o espaço livre e PR é potência de recepção calculada a partir das potências medidas P_r , S é a densidade de potência calculada a partir dos valores medidos e E é o campo elétrico calculado.

As medidas foram realizadas com o aparelho analisador de espectro Ms610-B da *Agilent* e foi encontrados o nível de sinal de $P_r = -28,6 \text{ dBm}$ para a distância de 620m da torre e $P_r = -33,13 \text{ dBm}$, para a distância de 1005m da torre. Tendo o nível do sinal medido, o ganho da antena de recepção de 6 dBi e a perda nos conectores e cabos de $3,6 \text{ dB}$, foram calculadas as potências de recepção na antena e conseqüentemente estimados as densidades de potencia e o campo elétrico, através das Eqs. (B.8) e (B.9).

$$S_R = \frac{P_R}{A_{ef}} \quad (\text{B.8})$$

$$A_{ef} = G_r \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (\text{B.9})$$

onde: S_R é a densidade de potência, P_R é a potência de recepção na antena receptora, A_{ef} é a área efetiva da antena, G_r é o ganho da antena receptora, λ é o comprimento da onda para a frequência especificada. Assim obtivemos os valores, demonstrados na Tabela B.4.

APÊNDICE C

CÁLCULO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA *ERB* ESPLANADA

Os cálculos para este caso foram realizados de modo semelhante aqueles do apêndice B, para os respectivos pontos da *ERB* Esplanada apresentados na Tabela 5.8 do capítulo 5 e os resultados estão contido na Tabela C.1.

Tabela C.1 – Resultados dos cálculos da *ERB* Esplanada.

Setor	f MHz	d m	P_L dBm	P_R dBm	P_T dBm	S μ W/m ²	E V/m
X	878,40	180	76,42	-23,57	42,60	473,4	0,422
X	891,00	310	81,26	-28,42	42,60	159,60	0,245
X	876,51	360	82,42	-29,57	42,60	118,41	0,211
X	891,00	430	84,10	-31,25	42,60	82,96	0,176
X	891,00	590	86,85	-34,00	42,60	44,06	0,128
Z	879,30	240	78,92	-26,77	41,40	226,72	0,292
Z	879,30	270	79,95	-27,80	41,40	179,12	0,260
Y	877,98	970	91,04	-38,89	39,40	13,88	0,072
Y	877,35	1560	95,16	-43,01	39,40	3,54	0,036
Y	877,35	1920	96,97	-44,82	39,40	5,36	0,044

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [¹] FCC, 96-326. Guidelines for evaluating the environmental effects of radiofrequency radiation, 1999.
- [²] ANSI/IEEE C95.3. Recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields – Rf and Microwave, 2001.
- [³] ANATEL, Anexo à Resolução nº 303 de 02/06/2002. Disponível em <<http://www.anatel.gov/>>. Acesso dez. 2004.
- [⁴] IEEE C63.2. Standard electromagnetic noise and field strengths instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – Specifications, 2000.
- [⁵] IEEE 291. Standard methods for measuring electromagnetic field strengths of sinusoidal continuous waves, 30 Hz to 30 GHz. 1999.
- [⁶] OET Bulletin 65. Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. 1998.

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DA ESTAÇÃO RÁDIO-BASE DA TELEMIG CELULAR, SITUADA EM NOVA LIMA – BH¹.

¹ Cedido pela Empresa Telemig Celular para uso acadêmico, exclusivamente para essa dissertação.



MORRO DO CHAPÉU NOVA LIMA

Localidade:	MORRO DO CHAPÉU	Data Acionamento:	Data Ativação:	20/10/1999
-------------	-----------------	-------------------	----------------	------------

Endereço:	Rua Espatódea, nº 890 - Condomínio Morro do Chapéu, Nova Lima			
Nome da ERB:	MORRO DO CHAPÉU NOVA LIMA	Status:	Ativado	
Coord.:	Lat.: 20° 5' 52,81"	Long.: 43° 56' ,99"	Altitude (m):	1384
			Sigla:	NLM
			ERB:	477

ICP:	23	Carrier:	3	CCC:	HGA1	MSA:	0	SID:	193
------	----	----------	---	------	------	------	---	------	-----

Tipo de Equipamento:	MACRO	Configuração:	SETORIZADA	Altura da Estrutura (m):	40,0
----------------------	-------	---------------	------------	--------------------------	------

SETORES		X			Y			Z		
GRUPO DE FREQUÊNCIAS / REUSO		E1, S1		N31	E2, S2		N31	E3, S3		N31
INTERLIGAÇÃO		TX/RX	TX	RX	TX/RX	TX	RX	TX/RX	TX	RX
A	ALTURA (m)	2	0	0	2	0	0	2	0	0
N	TIPO	DIRETIVA			DIRETIVA			DIRETIVA		
T	MODELO	DB874H83			DB874H83			DB874H83		
E	GANHO (dBd)	12,0			12,0			12,0		
N	RELAÇÃO F/C	20,0			20,0			20,0		
A	ABERTURA HORIZ. / VERTICAL	83,0 °		14,0 °	83,0 °		14,0 °	83,0 °		14,0 °
S	AZIMUTE (°MV)	35 °			155 °			275 °		
	TILT ELÉTRICO / MECÂNICO	0 ° E		13 ° M	0 ° E		5 ° M	0 ° E		5 ° M
	POLARIZAÇÃO	VERTICAL			VERTICAL			VERTICAL		

C	TIPO	1/2"	7/8"	1 5/8"	1/2"	7/8"	1 5/8"	1/2"	7/8"	1 5/8"
A	COMPRIMENTO (m)	61,0			61,0			61,0		
B	PERDA (dB/m)	0,073			0,073			0,073		
S	CONECT. RABICHOS E CENTELH.(dB)	1,13			1,13			1,13		
A	SPLITLER (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	PERDA TOTAL (dB)	5,60			5,60			5,60		

MARCA			
MODELO			
GANHO			
TIPO			

YSAC / DCSAC / ACSAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
POTÊNCIA DE SAÍDA NO DUPLEXER	14,0	▼	41,46	dBm	14,0	▼	41,46	dBm	14,0	▼	41,46	dBm
POTÊNCIA TX - ERP (dBm)	47,87				47,87				47,87			

RAIO DA ÁREA DE ATUAÇÃO (Km)	20,0		20,0		20,0		
TIPO DO RECEIVER:	STEP	RX1:	RX2:	RX1:	RX2:	RX1:	RX2:
Nº DE FEIXES DE 2Mb	1						

CLLI ANALÓGICO	MDCUNLM1X_A	MDCUNLM1Y_A	MDCUNLM1Z_A
ADNUM	725	727	729
CLLI DIGITAL	MDCUNLM1X_D	MDCUNLM1Y_D	MDCUNLM1Z_D
ADNUM	726	728	730

OBSERVAÇÕES:	PROJETISTA:
	MODIFICADO POR: Wagner Tavares
	ATUALIZADO EM: 25/8/2003

Table 2-3
ERMC attenuator loss settings

Range of total cable loss (dB)	Step attenuator setting (dB)	Minicell only Range of total cable loss (dB)
≥6.51	0	≥9.01
6.25 to 6.50	0	8.75 to 9.00
5.75 to 6.24	0.5	8.25 to 8.74
5.25 to 5.74	1.0	7.75 to 8.24
4.75 to 5.24	1.5	7.25 to 7.74
4.25 to 4.74	2.0	6.75 to 7.24
3.75 to 4.24	2.5	6.25 to 6.74
3.25 to 3.74	3.0	5.75 to 6.24
2.74 to 3.24	3.5	5.25 to 5.74
2.25 to 2.74	4.0	4.75 to 5.24
1.75 to 2.24	4.5	4.25 to 4.74
1.25 to 1.74	5.0	3.75 to 4.24
0.75 to 1.24	5.5	3.25 to 3.74
0.25 to 0.74	6.0	2.75 to 3.24
0.0 to 0.24	6.5	2.25 to 2.74
	7.0 ^a	1.75 to 2.24
	7.5	0.0 to 1.74

ANEXO II

CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DA ESTAÇÃO RÁDIO-BASE DA TELEMIG CELULAR, SITUADA EM SANTA RITA DO SAPUCAÍ – MG.²

² Cedida pela Empresa Telemig Celular para fins acadêmico, exclusivamente para essa dissertação.



SANTA RITA DO SAPUCAI

Localidade: SANTA RITA DO SAPUCAI	Data Acionamento: 12/5/2004	Data Ativação:
--	------------------------------------	-----------------------

Endereço: Morro do Cruzeiro s/n.		
Nome da ERB: SANTA RITA DO SAPUCAI		Status: Ativado
Coord.: Lat.: 22° 14' 37,90"	Long.: 45° 41' 52,20"	Altitude (m): 1020
Sigla: MCE	ERB: 18	

ICP: 9	Carrier: 1 3	CCC: VGA1	MSA: 74	SID: 235
---------------	---------------------	------------------	----------------	-----------------

Tipo de Equipamento: MACRO	Configuração: SETORIZADA	Altura da Estrutura (m): 70,0
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

SETORES		X			Y			Z		
GRUPO DE FREQUÊNCIAS / REUSO		C2		N21	C3		N21	C1		N21
	INTERLIGAÇÃO	TX/RX	TX	RX	TX/RX	TX	RX	TX/RX	TX	RX
A	ALTURA (m)	1	0	1	1	0	1	1	0	1
N	TIPO	DIRETIVA			SETORIZADA			SETORIZADA		
T	MODELO	DB810K-XC			DB878H105-XY			DB848F65E-XY		
E	GANHO (dBA)	10,0			14,5			16,0		
N	RELAÇÃO F/C	0,0						40,0		
A	ABERTURA HORIZ. / VERTICAL	360,0 °		5,0 °	105,0 °		7,0 °	65,0 °		7,5 °
S	AZIMUTE (°MV)	°			190 °			260 °		
	TILT ELÉTRICO / MECÂNICO	° E			° E			0 ° E		
	POLARIZAÇÃO	VERTICAL			VERTICAL			VERTICAL		

C	TIPO	1/2"	7/8"	1 5/8"	1/2"	7/8"	1 5/8"	1/2"	7/8"	1 5/8"
A	COMPRIMENTO (m)			80,0			55,0			55,0
B	PERDA (dB/m)			0,025			0,025			0,025
O	CONECT. RABICHOS E CENTELH.(dB)			1,13			1,13			1,13
S	SPLITLER (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	PERDA TOTAL (dB)			3,15			2,52			2,52

MARCA			
MODELO			
GANHO			
TIPO			

VSAC / DCSAC / ACSAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
POTÊNCIA DE SAÍDA NO DUPLEXER	18,0	▼	42,55	dBm	18,0	▼	42,55	dBm	18,0	▼	42,55	dBm
POTÊNCIA TX - ERP (dBm)	49,41				54,54				56,04			

RAIO DA ÁREA DE ATUAÇÃO (Km)	20,0			20,0			20,0		
TIPO DO RECEIVER: ERMIC STEP	RX1: 3	RX2: 3		RX1: 3	RX2: 3		RX1: 3	RX2: 3	
Nº DE FEIXES DE 2Mb	2								

CLLI ANALÓGICO	SRS_MCE1X_A	SRS_MCE1Y_A	SRS_MCE1Z_A
ADNUM	72	73	
CLLI DIGITAL	SRS_MCE1X_D	SRS_MCE1Y_D	SRS_MCE1Z_D
ADNUM	120	121	

OBSERVAÇÕES:	PROJETISTA: Arnaldo Alves
	MODIFICADO POR: Arnaldo Alves
	ATUALIZADO EM: 4/6/2004

Table 2-3
ERMC attenuator loss settings

Range of total cable loss (dB)	Step attenuator setting (dB)	Minicell only Range of total cable loss (dB)
>6.51	0	>9.01
6.25 to 6.50	0	8.75 to 9.00
5.75 to 6.24	0.5	8.25 to 8.74
5.25 to 5.74	1.0	7.75 to 8.24
4.75 to 5.24	1.5	7.25 to 7.74
4.25 to 4.74	2.0	6.75 to 7.24
3.75 to 4.24	2.5	6.25 to 6.74
3.25 to 3.74	3.0	5.75 to 6.24
2.74 to 3.24	3.5	5.25 to 5.74
2.25 to 2.74	4.0	4.75 to 5.24
1.75 to 2.24	4.5	4.25 to 4.74
1.25 to 1.74	5.0	3.75 to 4.24
0.75 to 1.24	5.5	3.25 to 3.74
0.25 to 0.74	6.0	2.75 to 3.24
0.0 to 0.24	6.5	2.25 to 2.74
	7.0 ^a	1.75 to 2.24
	7.5	0.0 to 1.74

S_RITA_SAPUCAL_M / ICRM 18 / ICP / SRS_MCE1X_A

- RF-4
- RF-3
- RF-2
- RF-1
- CE
- RF-5
- RF-6

RF16 3 - SETOR												
RFP												
DUPLER												
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2
DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
45	46	47	48	49	50	51	52					
87	108	129	150	171	192	213	234					
403	511	620	729	838	947	1056	1165					
ATC												
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
TRU2	TRU2	TRU1	TRU3	TRU3	TRU3	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2
COH	LCR	TLR	DCOH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	44				
2	2	9	9	9	41	42	43	44				
316			1005	3	24	45	66					

RF16 2 - SETOR												
RFP												
DUPLER												
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TRU2	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1
DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
25	26	27	28	29	30	31	32					
164	195	206	227	80	101	122	143					
113	213	200	512									
ATC												
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1	TRU1
COH	LCR	TLR	CCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
1	1	8	8	21	22	23	24					
332			988	1019	17	38	59					
			132	020	030	001	011					

RF16 1 - SETOR												
RFP												
DUPLER												
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2	TRU2
DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
5	6	7	8	9	10	11	12					
73	94	115	136	157	178	199	220					
403												
ATC												
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TRU2	TRU2	TRU1	TRU1	TRU1	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU2
COH	LCR	TLR	CCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
0	0	7	7	1	1	2	3	4				
325			901	1012	10	31	52					
			122	000	310	111	123					

RF8 4 - EXP SETOR												
RFP												
DUPLER												
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3
DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
68	69	70	71	72	73	74	75					
246	269											
220	DEL											
ATC												
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3	TRU3
DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH	DVCH
60	61	62	63									
311	368	689	710									
021	031	002	101									

N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	5	8	5	8	2	5	8	5	4	5	4	7	0											
0	0	7	0	7	0	8	7	0	8	0	7	0	7											
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9														

ANEXO III

CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DA ESTAÇÃO RÁDIO-BASE DA TELEMIG CELULAR, SITUADA EM POUSO ALEGRE – MG.³

³ Cedido pela empresa Telemig Celular, para fins acadêmicos, exclusivamente para essa dissertação.



Localidade:	POUSO ALEGRE	Data:	10/6/1999
--------------------	--------------	--------------	-----------

Endereço:	Rua Paraisópolis, s/n		
Nome da ERB:	Esplanada	Sigla:	PSA_ESP
Coordenadas:	Lat.: 22 13 06,0 S	Long.: 45 56 18,0 W	ERB: 19
		Altitude (m):	905

ICP:	0	Feixes:	4	5	9	CCC:	VGA	MSA:	71	SID:	237
CLI:	PSA_ESP1X_A					ADNUM:	56				
CLI:	PSA_ESP1X_D					ADNUM:	81				

Tipo de torre:	Auto-sustentavel triangular	Altura (m):	100
-----------------------	-----------------------------	--------------------	-----

Configuração:	Setorizada	Sector:	X
----------------------	------------	----------------	---

Antena	Modelo	Altura (m)	Ganho (dBd)	Azimute MV	E-Tilt	M-Tilt
TX1/RX1	DB812K-XC	102,00	12,00			
TX2/RX2	DB812K-XC	102,00	12,00			

CABOS DE RF	Perda (dB/m)	Comprimento (m)	Perda (dB)
CABO DE 1/2" (LDF)	0,0732	0,00	0,00
LDF5-50A (7/8")	0,0421	0,00	0,00
CABO 1 5/8" (LDF)	0,0252	110,00	2,77
PERDA NOS CONECTORES, JUMPERS E CENTELHADORES			1,13
PERDA DEVIDO AO SPLITTER			
PERDA TOTAL DA LINHA DE TRANSMISSÃO			3,90
PERDA NO DUPLEXER + PERDA NO COMBINER			4,90

	ERP		Potência no duplexer		Potência no PA	
	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)
CH CONTROLE	50,70	117,49	42,60	18,21	47,50	56,26
CH VOZ	50,70	117,49	42,60	18,21	47,50	56,26

Nº BASTIDORES:	2	DCCH:	1	TRUW:	1	TLR:	1	TRUW:	1	CCH:	1	TRUW:	1	LCR:	1	TRUW:	1
QUANTIDADE DE RÁDIOS DE VOZ																	
P3:	10	DRUI:	15	DRUII:	3	AVCH:	25	DTCH:	11								

DESIGNAÇÃO DE CANAIS NOS BASTIDORES DE RF									
POS.	RF1	F1	RF2	F2					
1	VCH 13	6	CCH 0	328					
2	VCH 14	27	LCR 0	-					
3	VCH 15	48	TLR 7	-					
4	VCH 16	69	DCCH 7	994					
5	VCH 17	90	DVCH 1	1015					
6	VCH 18	111	DVCH 2	13					
7	VCH 19	132	DVCH 3	34					
8	VCH 20	153	VCH 4	55					
9	VCH 21	174	VCH 5	76					
10	VCH 22	195	VCH 6	97					
11	VCH 23	216	VCH 7	118					
12	VCH 24	237	VCH 8	139					
13	VCH 25	258	VCH 9	160					
14	VCH 26	279	VCH 10	181					
15	VCH 27	300	VCH 11	202					
16	VCH 28	678	VCH 12	223					

DCC:	0
SAT:	0

CMAC:	0
VMAC:	0

DPCDATA:	FIXED
CSAC:	0
VSAC:	0

DVCC:	19
DVCCBASE:	26
SDCC2:	0
SDCC1:	0

D2AHOTL:	-95dBm
DMIRSSI:	100 dBm

VERSÃO DO DOCUMENTO:	A1
ATUALIZADO EM:	24/1/2001
POR:	STAEI

OBSERVAÇÕES:
MPI



Localidade: **POUSO ALEGRE** Data: **10/6/1999**

Endereço: **Rua Paraisópolis, s/n**
 Nome da ERB: **Esplanada** Sigla: **PSA ESP** ERB: **19**
 Coordenadas: Lat.: **22 13 06,0 S** Long.: **45 56 18,0 W** Altitude (m): **905**

ICP: **0** Feixes: **4 5 9** CCC: **VGA** MSA: **71** SID: **237**
 CLLI: **PSA_ESPY_A** ADNUM: **76**
 CLLI: **PSA_ESPY_D** ADNUM: **95**

Tipo de torre: **Auto-sustentavel triangular** Altura (m): **100**

Configuração: **Setorizada** Setor: **Y**

Antena	Modelo	Altura (m)	Ganho (dBd)	Azimute MV	E-Tilt	M-Tilt
TX3/RX3	DB678H105	102,00	14,50	80,00		3,0
TX5/RX5	DB678H105	102,00	14,50	80,00		3,0

CABOS DE RF	Perda (dB/m)	Comprimento (m)	Perda (dB)
CABO DE 1/2" (LDF)	0,0732	0,00	0,00
LDF5-50A (7/8")	0,0421	0,00	0,00
CABO 1 5/8" (LDF)	0,0252	110,00	2,77
PERDA NOS CONECTORES, JUMPERS E CENTELHADORES			1,13
PERDA DEVIDO AO SPLITTER			
PERDA TOTAL DA LINHA DE TRANSMISSÃO			3,90
PERDA NO DUPLEXER + PERDA NO COMBINER			4,90

	ERP		Potência no duplexer		Potência no PA	
	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)
CH CONTROLE	53,40	218,78	42,80	19,00	47,70	58,88
CH VOZ	53,40	218,78	42,80	19,00	47,70	58,88

Nº BASTIDORES: **2** DCCH: **1** TRU1: **1** TLR: **1** TRU1: **1** CCH: **1** TRU1: **1** LCR: **1** TRU1: **1**
 QUANTIDADE DE RÁDIOS DE VOZ QUANTIDADE DE TRONCOS
 P3: DRU1: **8** DRU1: **2** DRU1: **6** AVCH: **9** DTCH: **23**

DESIGNAÇÃO DE CANAIS NOS BASTIDORES DE RF									
POS.	RF3	F3	RF6	B3					
1	CCH 1	314							
2	LCR 1	-							
3	TLR 8	-							
4	DCCH 8	1001							
5	DVCH 41	1022							
6	DVCH 42	20							
7	DVCH 43	41							
8	DVCH 44	62							
9	DVCH 45	83							
10	DVCH 46	104							
11	DVCH 47	125	VCH 55	205					
12	VCH 48	146	VCH 56	226					
13	VCH 49	167	VCH 57	247					
14	VCH 50	188	VCH 58	268					
15	VCH 51	209							
16	VCH 52	230							

DCC: **0**
 SAT: **0**

CMAC: **2**
 VMAC: **2**

DPCDATA: **FIXED**
 CSAC: **1**
 VSAC: **0**

DVCC: **19**
 DVCCBASE: **26**
 SDCC2: **0** SDCC1: **0**

D2AHOTL: **-98dBm**
 DMIRSSI: **-105dBm**

VERSÃO DO DOCUMENTO: **A2**
 ATUALIZADO EM: **5/3/2002**
 POR: **GUTENBERGUE**

OBSERVAÇÕES:



Localidade: POUSO ALEGRE Data: 10/6/1999

Endereço: Rua Paraísopolis, s/n
 Nome da ERB: Esplanada Sigla: PSA ESP ERB: 19
 Coordenadas: Lat.: 22 13 06,0 S Long.: 45 56 18,0 W Altitude (m): 905

ICP: 0 Feixes: 4 5 9 CCC: VGA MSA: 71 SID: 237
 CLLI: PSA_ESP1Z_A ADNUM: 77
 CLLI: PSA_ESP1Z_D ADNUM: 96

Tipo de torre: Auto-sustentavel triangular Altura (m): 100

Configuração: Setorizada Setor: Z

Antena	Modelo	Altura (m)	Ganho (dBd)	Azimute NV	E-Tilt	M-Tilt
TX4/RX4	DB874H83	102,00	12,50	210,00		7,0
TX5/RX5	DB874H83	102,00	12,50	210,00		7,0

CABOS DE RF	Perda (dB/m)	Comprimento (m)	Perda (dB)
CABO DE 1/2" (LDF)	0,0732	0,00	0,00
LDF5-50A (7/8")	0,0421	0,00	0,00
CABO 1 5/8" (LDF)	0,0252	110,00	2,77
PERDA NOS CONECTORES, JUMPERS E CENTELHADORES			1,13
PERDA DEVIDO AO SPLITTER			
PERDA TOTAL DA LINHA DE TRANSMISSÃO			3,90
PERDA NO DUPLEXER + PERDA NO COMBINER			4,90

	ERP		Potência no duplexer		Potência no PA	
	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)	(dBm)	(W)
CH CONTROLE	50,00	100,00	41,40	13,81	46,30	42,68
CH VOZ	50,00	100,00	41,40	13,81	46,30	42,68

Nº BASTIDORES: 2 DCCH: 1 TRUII: 1 TLRI: 1 TRUII: 1 CCH: 1 TRUII: 1 LCR: 1 TRUII: 1
 QUANTIDADE DE RÁDIOS DE VOZ
 P3: 7 DRUII: 4 DRUII: 4 DRUII: 12 AVCH: 12 DTCH: 47

DESIGNAÇÃO DE CANAIS NOS BASTIDORES DE RF							
POS.	RF4	B1	RF5	B2			
1	CCH 2	317	DVCH 83	9			
2	LCR 2	-	DVCH 84	30			
3	TLR 9	-	DVCH 85	51			
4	DCCH 9	1004	DVCH 86	72			
5	DVCH 71	2	VCH 87	93			
6	DVCH 72	23	VCH 88	114			
7	DVCH 73	44	VCH 89	135			
8	DVCH 74	65	VCH 90	156			
9	DVCH 75	86	VCH 91	177			
10	DVCH 76	107	VCH 92	198			
11	DVCH 77	128	VCH 93	219			
12	DVCH 78	149	VCH 94	240			
13	DVCH 79	170	VCH 95	261			
14	DVCH 80	191	VCH 96	282			
15	DVCH 81	212	VCH 97	303			
16	VCH 82	233					

OBSERVAÇÕES:
 Canais colocados como MPI por motivo de interferência

DCC: 0
 SAT: 0

CMAC: 2
 VMAC: 2

DPCDATA: FIXED
 CSAC: 1
 VSAC: 0

DVCC: 19
 DVCCBASE: 8
 SDCC2: 0 SDCC1: 0

D2AHOTL: -98dBm
 DMIRSSI: -105dBm

VERSÃO DO DOCUMENTO: A1
 ATUALIZADO EM: 24/1/2001
 POR: STAEL

ANEXO IV

CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO RÁDIO-BASE “CHÁCARA DO CASTELO”, DA OPERADORA VIVO, SITUADA EM SÃO PAULO – SP.⁴

⁴ Cedido pela Empresa Vivo, para fins acadêmicos, exclusivamente para essa dissertação.

CCC: BRA	Sigla: CCCA	Sist: CDMA	Nº: 8
ERB:	SÃO PAULO - CHÁCARA DO CASTELO		
Endereço: RUA LAURINDO RABELO, 164			
Bairro: JARDIM DA GLÓRIA		CEP: 01546-040	
Município: <u>SÃO PAULO</u> (SP)		DDD: 11	CNL: 11000
Área Terciária: SÃO PAULO		Situação: ATIVO	
Altitude: 780m	Latitude: 23-34-50	Longitude: 46- 37-20 N.Port: 4	
Local: -	Centro de Custo: TC99990150		
Ativação: 15/11/98	Telesupervisão: NÃO POSSUI		
Fabricante: NEC	Modelo: MB5G2A3-1A		
Observações: -			
<u>Roteamento</u>			
Estrutura: TORRE	Altura: 30m		
Imóvel: <u>TERRENO</u>	Id Fin: 3188		
Negociação: LOCAÇÃO	Construção: <u>CASA</u>		
Licença do Equipamento (ERB):		DNFI: <u>021598- AAC0192</u>	
Sitar: <u>641193599</u>	Classe: FB	Data: 11/03/03	Validade: 05/08/08
Tipo: Definitiva			
RNI:	Medido:	Teórico: <u>Certificado Laudo</u>	
Carta / Ofício:			
Licença do Rádio Enlace Associado:			
Sitar: <u>641185910</u>	Data: 01/04/03	Validade: 05/08/08	
Carta / Ofício:			

SETOR A							
<i>Parametros Gerais</i>							
QVOZ	AZIM	TILTM	TILTE	TANT	GANT	ALTURA	MOD ANTENA
0	96°	10°	9°	60	14,6 dBi	20m	<u>DB894H60T9SX</u>
POTX	QAN	QTX	QRX	PCABO	ERP	CSAC	TRÁFEGO
1,523W	T 2	1	1	1,58dB	50,3W	-	-Erl
<i>Parametros CDMA</i>							
PN	TTDROP	TCOM	SOFT	TADD	TDROP	SWI	
68	1,5	P 2,5	-	12	16	N -	

SETOR B							
<i>Parametros Gerais</i>							
QVOZ	AZIM	TILTM	TILTE	TANT	GANT	ALTURA	MOD ANTENA
0	216°	4°	9°	60	14,6 dBi	25m	<u>DB894H60T9SX</u>
POTX	QANT	QTX	QRX	PCABO	ERP	CSAC	TRÁFEGO
1,523W	2	1	1	1,98dB	49,7W	-	-Erl
<i>Parametros CDMA</i>							
PN	TTDROP	TCOM	SOFT	TADD	TDROP	SWI	
244	1,5	P 2,5	-	12	16	N -	

SETOR C							
<i>Parametros Gerais</i>							
QVOZ	AZIM	TILT	TILTE	TANT	GANT	ALTURA	MOD ANTENA
0	350°	M 0°	9°	60	14,6 dBi	25m	<u>DB894H60T9SX</u>
POTX	QANT	QTX	QRX	PCABO	ERP	CSAC	TRÁFEGO
1,523W	2	1	1	1,98dB	49,7W	-	-Erl
<i>Parametros CDMA</i>							
PN	TTDROP	TCOM	SOFT	TADD	TDROP	SWI	
420	1,5	P 2,5	-	12	16	N -	

CCC: TPE2	Sigla: XCCA	Sist: CDMA-1XRTT	Nº: 18
ERB:	SÃO PAULO - CHÁCARA DO CASTELO		
Endereço: RUA LAURINDO RABELO, 164			
Bairro: JARDIM DA GLÓRIA		CEP: 01546-040	
Município: <u>SÃO PAULO</u> (SP)		DDD: 11	CNL: 11000
Área Terciária: SÃO PAULO		Situação: ATIVO	
Altitude: 780m	Latitude: 23-34-50	Longitude: 46-37- 20	N.Port: 1
Local: -	Centro de Custo: TC99990280		
Ativação: 04/12/01	Telesupervisão: NÃO POSSUI		
Fabricante: LUCENT	Modelo: FLEXENT MODCELL 1.0		
Observações: EQUIPAMENTO 1XRTT			
<u>Roteamento</u>			
Estrutura: TORRE	Altura: 30m		
Imóvel: <u>TERRENO</u>	Id Fin: 3188		
Negociação: LOCAÇÃO	Construção: <u>CASA</u>		
Licença do Equipamento (ERB):		DNFI: <u>175000- XXX0811</u>	
Sitar: <u>641193599</u>	Classe: FB	Data: 11/03/03	Validade: 05/08/08
Tipo: Definitiva			
RNI:	Medido:	Teórico: <u>Certificado Laudo</u>	
Carta / Ofício:			
Licença do Rádio Enlace Associado:			
Sitar: <u>641185910</u>	Data: 01/04/03	Validade: 05/08/08	
Carta / Ofício:			

SETOR A							
· Parametros Gerais							
QVOZ 0	AZIM 110°	TILTM 8°	TILTE 9°	TANT 60	GANT 14,6 dBi	ALTURA 21,7m	MOD ANTENA <u>DB894H60T9SX</u>
POTX 20W	QANT 2	QTX 1	QRX 1	PCABO 1,71dB	ERP -W	CSAC -	TRÁFEGO -Erl
· Parametros CDMA							
PN 68	TTDROP -15	TCOM P 2,5	SOFT -	TADD -13	TDROP -15	SWI N 7	
SETOR B							
· Parametros Gerais							
QVOZ 0	AZIM 230°	TILTM 6°	TILTE 9°	TANT 60	GANT 14,6 dBi	ALTURA 27m	MOD ANTENA <u>DB894H60T9SX</u>
POTX 20W	QANT 2	QTX 1	QRX 1	PCABO 2,13dB	ERP -W	CSAC -	TRÁFEGO -Erl
· Parametros CDMA							
PN 244	TTDROP -15	TCOMP 2,5	SOFT -	TADD -13	TDROP -15	SWIN 7	
SETOR C							
· Parametros Gerais							
QVOZ 0	AZIM 350°	TILT M 0°	TILTE 9°	TANT 60	GANT 14,6 dBi	ALTURA 27m	MOD ANTENA <u>DB894H60T9SX</u>
POTX 20W	QANT 2	QTX 1	QRX 1	PCABO 2,13dB	ERP -W	CSAC -	TRÁFEGO -Erl
· Parametros CDMA							
PN 420	TTDROP -15	TCOM P 2,5	SOFT -	TADD -13	TDROP -15	SWIN 7	

ANEXO V

Listagem dos Programas

1º Programa “*película*”

Programa para verificar a profundidade de penetração do campo incidente no tecido biológico em função da condutividade e da frequência.

```
%pelicula
%Profundidade de penetração em função da frequência e da
%condutividade
sigma = input(' Entre com o valor de sigma = ');
f=300*10^6:100*10^6:1*10^9; % para valores de frequência entre 300 MHz a 1GHz,
mi=4*pi*10^-7;
profundidade= (1./sqrt(f.*pi.*sigma.*mi));
figure (1)
plot(f/10^6,abs(profundidade))
grid;
xlabel('Frequencia em MHz');
ylabel('Profundidade de Penetracao m ');
title('Profundidade de Penetracao X Frequencia ');
```

2º Programa “*nosolo*”

Este programa permite realizar os cálculos da exposição a *CEM*, a uma distancia da fonte.

```
% Calculo de exposição que um individuo recebe;
% ao nível do chao
EIRP=146.2;%input(' Entre com o valor da EIRP em Watts = ');
H=[10 20 30];%input('Entre com a altura da antena em metros = ');
dist=linspace(1,621,500);
h1=H(1)-2;
teta21=atan(h1./(dist+eps));
Fteta1=((cos((pi/2).*(sin(teta21)))./cos(teta21))).^2;
S1=((2.56/(4*pi)).*(Fteta1).*(EIRP./((dist.^2)+(h1^2))));
E1=sqrt(S1*377);
h2=H(2)-2;
teta22=atan(h2./(dist+eps));
Fteta2=((cos((pi/2).*(sin(teta22)))./cos(teta22))).^2;
S2=((2.56/(4*pi)).*(Fteta2).*(EIRP./((dist.^2)+(h2^2))));
E2=sqrt(S2*377);
h3=H(3)-2;
teta23=atan(h3./(dist+eps));
Fteta3=((cos((pi/2).*(sin(teta23)))./cos(teta23))).^2;
S3=((2.56/(4*pi)).*(Fteta3).*(EIRP./((dist.^2)+(h3^2))));
E3=sqrt(S3*377);
hold on
plot(dist,S1,'-',dist,S2,'-',dist,S3,'-')
axis([0 50 0 0.15]);legend('H = 10m','H = 20m','H = 30m')
title('Densidade de potencia em função da distancia e altura da torre');
```

```

ylabel('S W/m^2');
xlabel('Distancia em metros m');
grid
figure(2)
plot(dist,E1,'-',dist,E2,'-',dist,E3,'--')
axis([0 50 0 10])
title('Intensidade de campo eletrico');
ylabel('E V/m');
xlabel('Distancia em metros m');
grid

```

3° Programa “hipofise”

Este programa nos permite calcular o campo induzido nas camadas dos tecidos e a taxa de absorção específica em cada camada de um modelo proposto.

```

% Programa- Hipófise,
%Calculo do campo elétrico induzido na Hipófise
%E=hipófise(f,pot,m)
% A frequência e dada em MHz;
%A frequência 'e escolhida de 800 a 900
% a potencia e dada em watts W
%Os valores de m são as espessuras das camadas dos tecidos
% o modelo e composto por cinco camadas
%Sendo pele,gordura,crânio,Tec cerebral e hipófise.

clear all;
clc;
f = 870;%input( 'Entre com um dos seguintes valores para frequência: 800 a 900 f = '); %freq; %frequência
pot = .6;%input( 'Entre com a potencia em watts pot = ');%potencia em watts
d2 = 2;%input( 'Entre com a espessura da pele d2 = ');%Esp_pele; %Espessura da Pele
d3 = 4;%input( 'Entre com a espessura da gordura d3 = ');%Esp_Gordura; % Espessura da Camada de
Gordura
d4 = 10;%input( 'Entre com a espessura do crânio d4 = ');%Esp_Musc; % Espessura do crânio
d5 = 100;%input( 'Entre com a espessura da massa cerebral d5 = ');%Esp_Tec_Cer % Espessura do tecido
cerebral
d6 = 2;%input( 'Entre com a espessura da hipófise d6 = '); % Esp_hipofise % Espessura da hipófise

u0=4*pi*10^-7;
e0=8.842*10^-12;
f=f*10^6;
n1=377;
n11=377;
t=f/10^6;
d7=d5;
d8=d4;
d9=d3;
d10=d2;

if t >=800 | t <= 900 % Restrição para frequência = 800 a 900 Mhz.

m2=[41.4 0.87 d2];% caract. da pele
m10=m2;
m3=[11.3 .11 d3];% caract. da gordura

```

```

m9=m3;
m4=[17.3 0.25 d4];% caract. do crânio
m8=m4;
m5=[49.6 1.03 d5];% caract. do tecido cerebral
m7=m5;
m6=[45 .92 d6];% caract. da hipófise

end;
n2=sqrt(i*2*pi*f*u0/(m2(2)+2*pi*f*e0*m2(1)));
n10=n2;
n3=sqrt(i*2*pi*f*u0/(m3(2)+2*pi*f*e0*m3(1)));
n9=n3;
n4=sqrt(i*2*pi*f*u0/(m4(2)+2*pi*f*e0*m4(1)));
n8=n4;
n5=sqrt(i*2*pi*f*u0/(m5(2)+2*pi*f*e0*m5(1)));
n7=n5;
n6=sqrt(i*2*pi*f*u0/(m6(2)+2*pi*f*e0*m6(1)));

g1=i*2*pi*f*u0/n1;
g11=g1;
g2=i*2*pi*f*u0/n2;
g10=g2;
g3=i*2*pi*f*u0/n3;
g9=g3;
g4=i*2*pi*f*u0/n4;
g8=g4;
g5=i*2*pi*f*u0/n5;
g7=g5;
g6=i*2*pi*f*u0/n6;

z19=n10*(n11+n10*tanh(g10*.001*m10(3)))/(n10+n11*tanh(g10*.001*m10(3)));
z18=n9*(z19+n9*tanh(g9*.001*m9(3)))/(n9+z19*tanh(g9*.001*m9(3)));
z17=n8*(z18+n8*tanh(g8*.001*m8(3)))/(n8+z18*tanh(g8*.001*m8(3)));
z16=n7*(z17+n7*tanh(g7*.001*m7(3)))/(n7+z17*tanh(g7*.001*m7(3)));
z15=n6*(z16+n6*tanh(g6*.001*m6(3)))/(n6+z16*tanh(g6*.001*m6(3)));
z14=n5*(z15+n5*tanh(g5*.001*m5(3)))/(n5+z15*tanh(g5*.001*m5(3)));
z13=n4*(z14+n4*tanh(g4*.001*m4(3)))/(n4+z14*tanh(g4*.001*m4(3)));
z12=n3*(z13+n3*tanh(g3*.001*m3(3)))/(n3+z13*tanh(g3*.001*m3(3)));
z11=n2*(z12+n2*tanh(g2*.001*m2(3)))/(n2+z12*tanh(g2*.001*m2(3)));

r1=(z11-n1)/(z11+n1);
r2=(z12-n2)/(z12+n2);
r3=(z13-n3)/(z13+n3);
r4=(z14-n4)/(z14+n4);
r5=(z15-n5)/(z15+n5);
r6=(z16-n6)/(z16+n6);
r7=(z17-n7)/(z17+n7);
r8=(z18-n8)/(z18+n8);
r9=(z19-n9)/(z19+n9);
r10=(z19-n10)/(z19+n10);

t1=1+r1;
t2=1+r2;
t3=1+r3;
t4=1+r4;
t5=1+r5;

```

```

t6=1+r6;
t7=1+r7;
t8=1+r8;
t9=1+r9;
t10=1+r10;

r2d2=r2*exp(g2*-2*d2*.001);
r3d3=r3*exp(g3*-2*d3*.001);
r4d4=r4*exp(g4*-2*d4*.001);
r5d5=r5*exp(g5*-2*d5*.001);
r6d6=r6*exp(g6*-2*d6*.001);
r7d7=r7*exp(g7*-2*d7*.001);
r8d8=r8*exp(g8*-2*d8*.001);
r9d9=r9*exp(g9*-2*d9*.001);
r10d10=r10*exp(g10*-2*d10*.001);

t2d2=1+r2d2;
t3d3=1+r3d3;
t4d4=1+r4d4;
t5d5=1+r5d5;
t6d6=1+r6d6;
t7d7=1+r7d7;
t8d8=1+r8d8;
t9d9=1+r9d9;
t10d10=1+r10d10;

for n = 1:(d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + 1);
    z = (n - 1) * 0.001;
    M(n) = z; % em metros

    Y=M;
    Ei=sqrt(pot*30)/0.03; % considerando como limite para campo distante de 3 cm
    if n <= d2+1; % Variação da espessura da pele.
        E(n) = (Ei*t1/t2d2) * exp(g2 * -1 * z) + (Ei * t1 * r2d2 / t2d2) * exp(g2 * z);
        Ed(n) = (Ei * t1 / t2d2) * exp(g2 * -1 * z);
        Er = abs(E(n));
        X(n) = Er;
        SAR = m2(2) * ((Er ^ 2) / (2 * 1010));
        K(n) = SAR;
        subplot(2,1,1);
        drawnow;
        figure(1);
        plot(Y,abs(X),'r');
        grid on
        xlabel ('Dimensão em m' )
        ylabel ( 'E V/m' )
        title ( ' Campo Elétrico na Pele' )
        subplot (2,1,2);
        drawnow
        figure(1)
        plot(Y,K,'r')
        %plot(Y,abs(K),'r')
        grid on
        xlabel ('Dimensão em m')
        ylabel ('SAR W/kg')
    end
end

```

```

if (n > d2+1 & n <= d2+d3+1) % Variação da espessura da gordura
z = ((n - 1) - d2) * 0.001;
Ei = Ed(d2+1);
E(n) = (Ei * t2 / t3d3) * exp(g3 * -1 * z) + (Ei * t2 * r3d3 / t3d3) * exp (g3 * z);
Ed(n) = (Ei * t2 / t3d3) * exp(g3 * -1 * z);3
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m3(2) * Er ^ 2 / (2 * 940);
K(n) = SAR;

subplot(2,1,1)
drawnow
figure(2)
plot(Y,abs(X),'b')
grid on
xlabel ('Dimensão em (m)')
ylabel ('E V/m')
title (' Campo Elétrico na Gordura ')
subplot (2,1,2)
drawnow
figure(2)
plot(Y,abs(K),'b')
grid on
xlabel ('Dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg')
end

```

```

if (n > d2 + d3 + 1 & n <= d4 + d3 + d2 + 1);%osso do crânio
z = ((n - 1) - (d2 + d3)) * 0.001;
Ei = Ed(d2 + d3);
E(n) = (Ei * t3 / t4d4) * exp(g4 * -1 * z) + (Ei * t3 * r4d4 / t4d4) * exp (g4 * z);
Ed(n) = (Ei * t3 / t4d4) * exp(g4 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m4(2) * Er ^ 2 / (2 * 1200);
K(n) = SAR;
subplot(2,1,1)
drawnow
figure(3)
plot(Y,abs(X),'r')
grid on
xlabel ('Dimensão em m')
ylabel ('E V/m')
title (' Campo Elétrico no Crânio ')
subplot (2,1,2)
drawnow
figure(3)
plot(Y,abs(K),'r')
grid on
xlabel ('Dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg')

end
if (n > d4 + d3 + d2 + 1 & n <= d5 + d4 + d3 + d2+1 );%tecido cerebral

```



```

z = ((n - 1) - (d4 + d3 + d2)) * 0.001;
Ei = Ed(d2 + d3 + d4);
E(n) = (Ei * t4 / t5d5) * exp(g5 * -1 * z) + (Ei * t4 * r5d5 / t5d5) * exp (g5 * z);
Ed(n) = (Ei * t4 / t5d5) * exp(g5 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m5(2) * Er ^ 2 / (2 * 1060);
K(n) = SAR;
subplot(2,1,1)
drawnow
figure(4)
plot(Y,abs(X),'b')
grid on
xlabel ('Dimensão em m' )
ylabel ( 'E V/m' )
title ( ' Campo Elétrico no Cérebro' )
subplot (2,1,2)
drawnow
figure(4)
plot(Y,abs(K),'b')
grid on
xlabel ('Dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg')
%title ('SAR ')
end
if (n > d5 + d4 + d3 + d2+1 & n <= d6 + d5 + d4 + d3 + d2 +1);% Variação da hipófise
z = ((n - 1) - (d5 + d4 + d3 + d2))* 0.001;
Ei = Ed(d2 + d3 + d4 + d5);
E(n) = (Ei * t5 / t6d6) * exp(g6 * -1 * z) + (Ei * t5 * r6d6 / t6d6) * exp (g6 * z);
Ed(n) = (Ei * t5 / t6d6) * exp(g6 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m6(2) * Er ^ 2 / (2 * 1040);
K(n) = SAR;
subplot(2,1,1);
drawnow
figure(5)
plot(Y,abs(X),'r')
grid on
xlabel ('Dimensão em m' )
ylabel ( 'E V/m' )
title ( ' Campo Elétrico na Hipófise' )
subplot (2,1,2)
drawnow
figure(5)
plot(Y,abs(K),'r')
grid on
xlabel ('Dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg')
end

end % fim do "if"
end % fim do "for"

```

4º Programa “*humor*”

Este programa permite calcular a distribuição da SAR no modelo proposto com quatro camadas representando o olho.

```
% programa olho
% Este programa permite o cálculo da distribuição de SAR no interior do olho,
% com base no modelo criado.
% Os dados para entrada para o modelo são: frequência, potência na cabeça e a espessura
% das primeiras quatro camadas do modelo.
% A frequência f é dada em MHz.
% A potencia incidente é dada em W.
% Os valores dos meios m, são suas espessura, dados em mm para cada 4 camadas sendo:
% córnea, humor(iris), cristalino e retina.
% Dissertação 2005

clear all;
clc;
f = input( 'Entre com um dos seguintes valores de frequência: 800 a 900 f = ' ); %freq; % frequência
pot = input( 'Entre com a potencia do celular em watts pot = ' ); %potencia do celular;
d2 = input( 'Entre com a espessura da córnea d2 = ' ); %Esp_cornea;
d3 = input( 'Entre com a espessura da iris d3 = ' ); %Esp_iris;
d4 = input( 'Entre com a espessura do cristalino d4 = ' ); %Esp_cristalino;
d5 = input( 'Entre com a espessura da retina d5 = ' ); %Esp_retina

u0 = 4 * pi * 10 ^ -7; % u0
e0 = 8.842 * 10 ^ -12; % Eo
f = f * 10 ^ 6; % frequência em Mhz
n1 = 377; % impedância
n9 = 377;
t = f / 10 ^ 6;
d6 = d4;
d7 = d3;
d8 = d2;
if t >= 800 | t <= 900 % Restrição para frequência = 800 a 900 Mhz.
    m2 = [54.90 1.17 d2];
    m8 = m2;
    m3 = [67.90 1.68 d3];
    m7 = m3;
    m4 = [36.59 0.51 d4];
    m6 = m4;
    m5 = [33.40 0.62 d5];
end
n2 = sqrt( i * 2 * pi * f * u0 / (m2(2) + 2*i * pi * f * e0 * m2(1)));
n8 = n2;
n3 = sqrt( i * 2 * pi * f * u0 / (m3(2) + 2*i * pi * f * e0 * m3(1)));
n7 = n3;
n4 = sqrt( i * 2 * pi * f * u0 / (m4(2) + 2*i * pi * f * e0 * m4(1)));
n6 = n4;
n5 = sqrt( i * 2 * pi * f * u0 / (m5(2) + 2*i * pi * f * e0 * m5(1)));

g1 = i * 2 * pi * f * u0 / n1;
g9 = g1;
g2 = i * 2 * pi * f * u0 / n2;
g8 = g2;
```

```

g3 = i * 2 * pi * f * u0 / n3;
g7 = g3;
g4 = i * 2 * pi * f * u0 / n4;
g6 = g4;
g5 = i * 2 * pi * f * u0 / n5;

```

```

ZL7 = n8 * (n9 + n8 * tanh(g8 * 0.001 * m8(3))) / (n8 + n9 * tanh(g8 * 0.001 * m8(3)));
ZL6 = n7 * (ZL7 + n7 * tanh(g7 * 0.001 * m7(3))) / (n7 + ZL7 * tanh(g7 * 0.001 * m7(3)));
ZL5 = n6 * (ZL6 + n6 * tanh(g6 * 0.001 * m6(3))) / (n6 + ZL6 * tanh(g6 * 0.001 * m6(3)));
ZL4 = n5 * (ZL5 + n5 * tanh(g5 * 0.001 * m5(3))) / (n5 + ZL5 * tanh(g5 * 0.001 * m5(3)));
ZL3 = n4 * (ZL4 + n4 * tanh(g4 * 0.001 * m4(3))) / (n4 + ZL4 * tanh(g4 * 0.001 * m4(3)));
ZL2 = n3 * (ZL3 + n3 * tanh(g3 * 0.001 * m3(3))) / (n3 + ZL3 * tanh(g3 * 0.001 * m3(3)));
ZL1 = n2 * (ZL2 + n2 * tanh(g2 * 0.001 * m2(3))) / (n2 + ZL2 * tanh(g2 * 0.001 * m2(3)));

```

```

r1 = (ZL1 - n1) / (ZL1 + n1);
r2 = (ZL2 - n2) / (ZL2 + n2);
r3 = (ZL3 - n3) / (ZL3 + n3);
r4 = (ZL4 - n4) / (ZL4 + n4);
r5 = (ZL5 - n5) / (ZL5 + n5);
r6 = (ZL6 - n6) / (ZL6 + n6);
r7 = (ZL7 - n7) / (ZL7 + n7);
r8 = (n1 - n8) / (n1 + n8);

```

```

t1 = 1 + r1;
t2 = 1 + r2;
t3 = 1 + r3;
t4 = 1 + r4;
t5 = 1 + r5;
t6 = 1 + r6;
t7 = 1 + r7;
t8 = 1 + r8;

```

```

r2d2 = r2 * exp(g2 * -2 * d2 * 0.001);
r3d3 = r3 * exp(g3 * -2 * d3 * 0.001);
r4d4 = r4 * exp(g4 * -2 * d4 * 0.001);
r5d5 = r5 * exp(g5 * -2 * d5 * 0.001);
r6d6 = r6 * exp(g6 * -2 * d6 * 0.001);
r7d7 = r7 * exp(g7 * -2 * d7 * 0.001);
r8d8 = r8 * exp(g8 * -2 * d8 * 0.001);

```

```

t2d2 = 1 + r2d2;
t3d3 = 1 + r3d3;
t4d4 = 1 + r4d4;
t5d5 = 1 + r5d5;
t6d6 = 1 + r6d6;
t7d7 = 1 + r7d7;
t8d8 = 1 + r8d8;

```

```

for n = 1:(d2 + d3 + d4 + d5 + 1)

```

```

    z = (n - 1) * 0.001;

```

```

    M(n) = z;

```

```

    P = M % * 1000;

```

```

    Ei=sqrt(pot*30)/.03 % considerando como limite de distancia 3 cm

```

```

    if n <= d2+1 % cornea

```

```

E(n) = (Ei * t1 / t2d2) * exp(g2 * -1 * z) + (Ei * t1 * r2d2 / t2d2) * exp (g2 * z);
Ed(n) = (Ei * t1 / t2d2) * exp(g2 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m2(2) * Er ^ 2 / (2 * 1170);
K(n) = SAR;

figure (1)
plot (P,abs(K),'g')
grid on
xlabel ('dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg');
title('Distribuição da SAR na córnea')% Titulo do Gráfico

end
if (n > (d2 + 1)) & (n <= (d2 + d3 + 1))% iris
z = ((n -1) - d2+1) * 0.001;
Ei = Ed(d2+1);
E(n) = (Ei * t2 / t3d3) * exp(g3 * -1 * z) + (Ei * t2 * r3d3 / t3d3) * exp (g3 * z);
Ed(n) = (Ei * t2 / t3d3) * exp(g3 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m3(2) * Er ^ 2 / (2 * 1010);
K(n) = SAR;

figure (2)
plot (P,abs(K),'g')
grid
xlabel ('dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg');
title('Distribuição da SAR na iris')% Titulo do Gráfico

end
if (n > (d2 + d3+1 )) & (n <= (d4 + d3 + d2+1 )) % cristalino
z = ((n -1) - (d2 + d3+1)) * 0.001;
Ei = Ed(d2 + d3+1);
E(n) = (Ei * t3 / t4d4) * exp(g4 * -1 * z) + (Ei * t3 * r4d4 / t4d4) * exp (g4 * z);
Ed(n) = (Ei * t3 / t4d4) * exp(g4 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;
SAR = m4(2) * Er ^ 2 / (2 * 1100);
K(n) = SAR;

figure (3)
plot (P,abs(K),'g')
grid
xlabel ('dimensão em m')
ylabel ('SAR W/kg');
title('Distribuição da SAR no cristalino')% Titulo do Gráfico

end
if (n > (d4 + d3 + d2 +1)) & (n <= (d5 + d4 + d3 + d2+1 )) % retina
z = ((n -1) - (d4 + d3 + d2+1)) * 0.001;
Ei = Ed(d2 + d3 + d4+1);
E(n) = (Ei * t4 / t5d5) * exp(g5 * -1 * z) + (Ei * t4 * r5d5 / t5d5) * exp (g5 * z);
Ed(n) = (Ei * t4 / t5d5) * exp(g5 * -1 * z);
Er = abs(E(n));
X(n) = Er;

```

```
SAR = m5(2) * Er ^ 2 / (2 * 1040);
K(n) = SAR;

figure(4)
plot(P,abs(K),'m');
grid
xlabel('dimensão em m')% titulo do eixo x
ylabel('SAR W/kg')% titulo do eixo y
title('Distribuição da SAR na Retina')% Titulo do Gráfico

end
end
end
```