



# Radiações Não-Ionizantes Conceitos, Riscos, e Normas.

## 1. - INTRODUÇÃO:

Radiações não ionizantes, como o nome diz, são as que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia capaz de produzir emissão de elétrons de átomos ou moléculas com quais interagem. De modo geral estas radiações podem ser divididas em sônicas (vibrações, ultra-som, etc.) e eletromagnéticas. Neste trabalho, serão consideradas somente as radiações eletromagnéticas, que podem ser subdivididas em ionizantes e não ionizantes.

Radiações ionizantes, são aquelas que se caracterizam pela sua habilidade de ionizar átomos da matéria com qual interagem. A habilidade de ionizar, ( retirar elétrons) depende da energia dos fótons e do material com qual a radiação interage. A energia necessária para fazer com que um elétron de valência escape de sua orbita num átomo, varia de 2,5 a 25 eV ( 1 eV =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Joule ) dependendo do elemento.

De modo geral, as radiações eletromagnéticas que possuam energias menores que 10 eV, são chamadas de **Radiações Não-Ionizantes**. As radiações eletromagnéticas, com comprimento de onda  $\lambda$  maiores que 200 nm são consideradas não ionizantes, visto que comprimentos de ondas menores, já fazem parte do ultravioleta remoto, ou raios x moles, (dependendo da natureza da radiação). Estas radiações compreendem entre outras a radiação ultravioleta, luz visível, infravermelho, microondas, radiofrequências, etc.

Neste trabalho será devotado atenção especial às radiações eletromagnéticas que vão desde às de frequência muito baixas ( FMB < 300 kHz) até algumas centenas de gigahertz (300 GHz). Em especial será abordado os efeitos das radiações emitidas por campos de alta tensão na região dos 60 Hz, (FMB), típicos das linhas de transmissão, e em seguida os efeitos dos campos das radiofrequências, (RF) e microondas, que abrangem o espectro de 300 kHz a 300 GHz, representados pelos aparelhos de microondas, e telefonia celular, etc.

Este trabalho também abordará as principais Normas e Regulamentos referentes às densidades de potência, de acordo com as legislações atualmente em voga, tanto nos Estados Unidos como na Europa, e em fase de adaptação na Legislação Brasileira.

## 2. - TEORIA ELETROMAGNÉTICA

### 2.1 - Conceitos Básicos

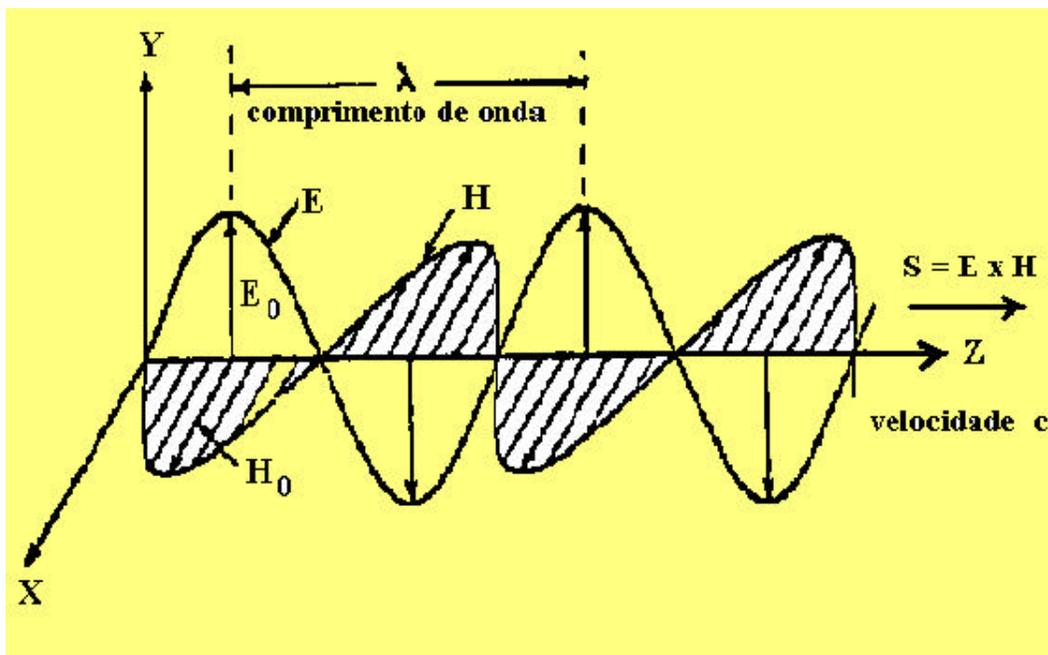
Para se estudar efeitos biológicos e possíveis danos das radiações eletromagnéticas, alguns aspectos da física básica das ondas eletromagnéticas deve ser revisto. Na Figura 2.1, é mostrado esquematicamente que as radiações eletromagnéticas são compostas de ondas transversais, que se propagam perpendicularmente às direções de oscilação dos campos Elétrico e Magnético. Estas radiações podem ser caracterizadas pela energia de seus fótons,

pelo seu comprimento de onda  $\lambda$  ou por sua frequência  $f = c/\lambda$  ( $c = 300.000$  km/s é a velocidade da luz no vácuo ).

O campo elétrico  $\mathbf{E}$  é especificado em unidades de volts/m [V/m] e o campo magnético  $\mathbf{H}$  em ampères/m [A/m], respectivamente. As relações entre  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$  nos materiais ou no vácuo, são descritas pelas Equações de Maxwell [1],[26]. Num meio homogêneo qualquer, a razão entre os campos elétrico e magnético chama-se **Impedância do Característica do Meio**,  $Z$ , e é dada por:

$$Z = |\mathbf{E}|/|\mathbf{H}| = (\mu/\epsilon)^{1/2} \quad (2.1)$$

onde  $\mu$  é a permeabilidade magnética e  $\epsilon$  é a permissividade elétrica do meio. No vácuo tem-se:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Henry/metro e  $\epsilon_0 = (36\pi)^{-1} \cdot 10^9$  ou  $8.854 \cdot 10^{-12}$  Farad/m e  $Z_0 = 377 \Omega$ .



**Figura 2.1** Esboço de uma onda eletromagnética plana monocromática, onde os vetores  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$  estão em fase, sendo  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ , na direção de propagação.

A propagação das ondas é perpendicular aos campos  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$ , e é descrita pelo vetor de Poynting:  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ . Esta grandeza de fundamental importância representa a densidade de potência, medida em watts/m<sup>2</sup> [W/m<sup>2</sup>], no sistema SI, e é dada por :

$$|\mathbf{S}| = |\mathbf{E}|^2 / Z \quad \text{ou} \quad S = |\mathbf{H}|^2 Z. \quad (2.2)$$

Essa mesma grandeza é chamada de irradiância, em estudos de luminosidade, em outra parte do espectro eletromagnético.

A descrição de onda eletromagnética plana, não é válida em interações próximas a fontes de emissão, como transmissores, telefones celulares, etc. Neste caso, a densidade de potência  $S$ , é muito variável e complexa, indicando o chamado Campo Próximo. Da mesma forma em todos os casos em que ocorrem fenômenos de interferência, difração de ondas, ou ondas estacionárias, esta descrição é incompleta.

É importante para qualquer medida de densidade de potência (fluxo de energia), saber-se que a própria sonda pode seriamente perturbar os resultados das medidas. O grau da interação depende do tamanho, frequência, forma, orientação, características elétricas da sonda, e da proximidade de superfícies refletoras.

Em geral a densidade de potência em campos próximos, **não** é um bom indicador para determinar riscos destas radiações, pois cálculos baseados nesta grandeza subestimam a intensidade dos campos [2].

## 2.2 - Espectro Eletromagnético

Tecnologias envolvendo o uso de ondas eletromagnéticas, resultaram em imensos benefícios para a humanidade, modificando a comunicação, a medicina, os negócios, a manufatura de bens, etc. só para citar alguns mais importantes.

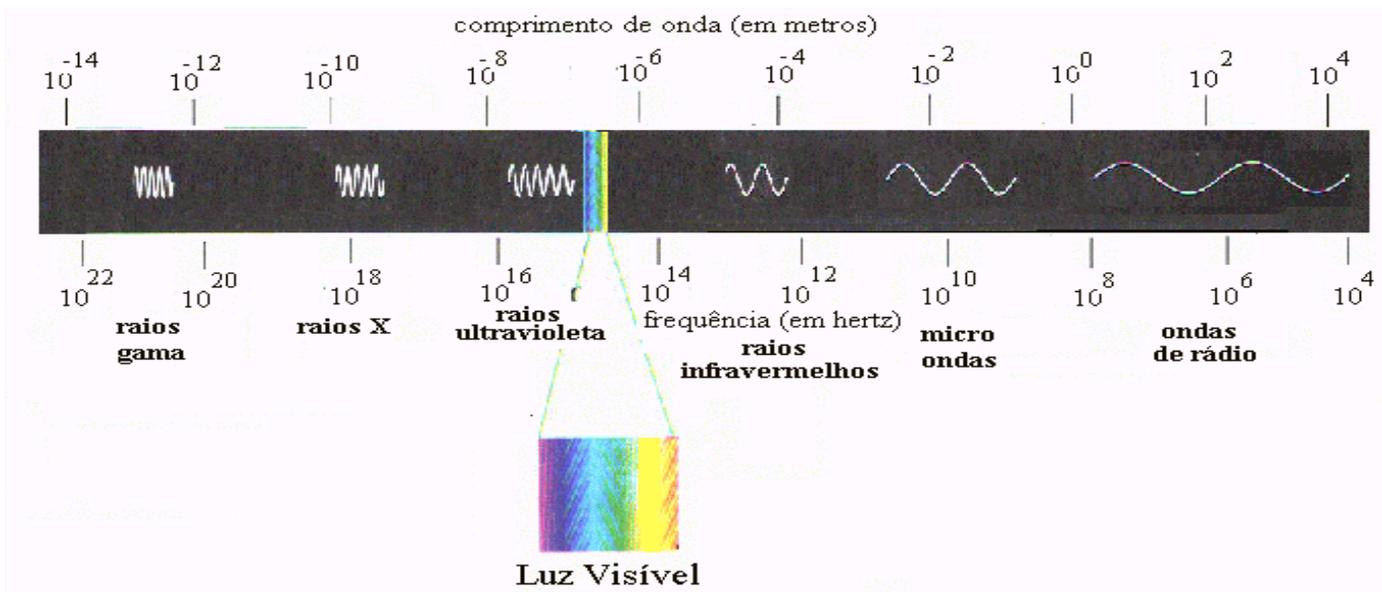


Figura 2 - Espectro Eletromagnético

Enquanto parte do espectro eletromagnético foi extensivamente estudado sob o ponto de vista dos possíveis efeitos à saúde das pessoas expostas, outra parte deste espectro, com frequências muito menores, foram menos pesquisadas, com resultados ainda em parte controversos.

As **radiações não-ionizantes**, assinalado na Figura 2.2 (2) iniciam no ultravioleta ( $\lambda \sim 200$  nm) , passam pelo visível e infravermelho ( $\lambda \sim 100$   $\mu$ m), para terminarem na zona de frequências muito baixas, como a da rede elétrica ( $\lambda = 5000$  km).

Como se pode ver na Figura 2.2 (1) a luz branca é composta de diversos comprimentos de onda que vão desde o violeta até o vermelho e compõem a luz visível (3) , que é apenas uma pequena porção do espectro eletromagnético.

As **radiações não-ionizantes**, assinalado na Figura 2.2 (2) iniciam no ultravioleta ( $\lambda \sim 200$  nm) , passam pelo visível e infravermelho ( $\lambda \sim 100$   $\mu$ m), para terminarem na zona de frequências muito baixas, como a da rede elétrica ( $\lambda = 5000$  km).

## 2.3 - Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria

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

### 2.3.1 - Materiais Dielétricos

Um material dielétrico não contém cargas livres capazes de se moverem sob a ação de um campo elétrico externo aplicado. No entanto as cargas positivas e negativas em moléculas dielétricas podem ser separadas pela ação do campo, e se isso ocorre dizemos que o material ficou polarizado. A relação entre a intensidade do campo elétrico  $\mathbf{E}$ , em um material dielétrico é dado por:

$$\epsilon_0 \mathbf{E} = \mathbf{D} - \mathbf{P} \quad (2.3)$$

onde  $\epsilon_0$ , é a permissividade do vácuo,  $\mathbf{D}$  o vetor deslocamento, associado com cargas livres e  $\mathbf{P}$  o vetor polarização, associado com as cargas de polarização.

Nos dielétricos de classe A, onde o material é isotrópico e homogêneo,  $\mathbf{P}$  é paralelo a  $\mathbf{E}$ , onde  $\mathbf{P} = \chi \epsilon_0 \mathbf{E}$  sendo  $\chi$  a suscetibilidade elétrica. Dessa forma vem que:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0(1+\chi) \mathbf{E} \text{ ou seja } \mathbf{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (2.4)$$

onde  $\epsilon_r$  é a **constante dielétrica relativa**, ou coeficiente dielétrico. O valor de  $\epsilon_r$  varia com a frequência, a temperatura, e com o material.

Uma equação similar descreve a relação entre a indução magnética  $\mathbf{B}$ , num meio isotrópico, com o campo magnético externo  $\mathbf{H}$ , onde:

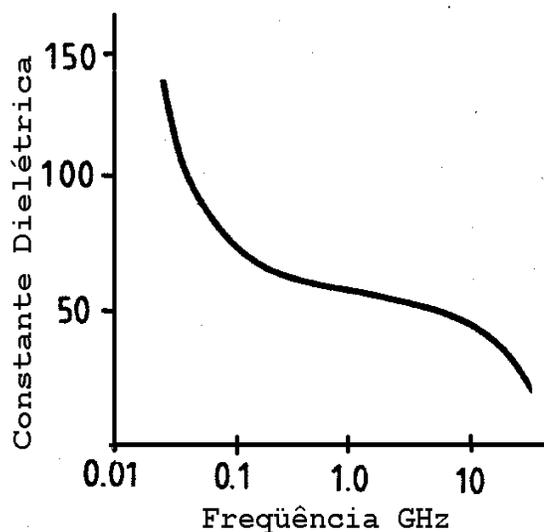
$$\mathbf{B} = K_m \mu_0 \mathbf{H} \quad (2.5)$$

onde  $K_m$  e  $\mu_0$  são a permeabilidade magnética relativa e a do vácuo respectivamente.

### 2.3.2 - Constante Dielétrica nos Tecidos

O valor das constantes dielétricas de diferentes tecidos, depende da constituição 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 81 para baixas frequências e cai com o aumento da frequência, devido a inércia rotacional dos dipolos elétricos com o campo externo [2].

A constante dielétrica relativa do sangue é mostrada na Figura 2.3 em função da frequência. Nesta figura vemos três regiões com diferentes mecanismos responsáveis por cada região.



**Figura 2.3** - Constante dielétrica relativa do sangue em função da frequência [2].

Para frequências de 10 kHz a 100 MHz, a constante dielétrica é afetada pela polarização das membranas; acima de 100 MHz, as membranas perdem sua influência, e se comportam como curto circuito; acima de 10 GHz a constante dielétrica reflete o conteúdo de água no sangue.

Nos tecidos gordurosos, a constante dielétrica é baixa, assim por exemplo a 900 MHz, um tecido adiposo com 10% de água possui  $\epsilon_r = 4$  enquanto com 50% de água o mesmo tecido possui  $\epsilon_r = 12$ . Devido a esta variação com a concentração de água é difícil

prever o comportamento dielétrico dos tecidos *in vivo*. A dependência com a temperatura é da ordem de 2% /°C.

### 2.3.3 - Condutividade Específica de Tecidos

A condutividade dos tecidos varia de forma significativa com a frequência para valores acima de 1 GHz, como se vê na Figura 2.4 para o sangue. Este gráfico de modo geral, tipifica o comportamento de tecidos com alto conteúdo de água.

Em tecidos gordurosos, existe uma dependência linear entre o conteúdo de água e a condutividade. Assim por exemplo a 900 MHz, um tecido com 6% de água possui uma condutividade de 4 mS/cm enquanto para outro com 60% de água a condutividade é 40 mS/cm, valores estes que sempre variam com a frequência.

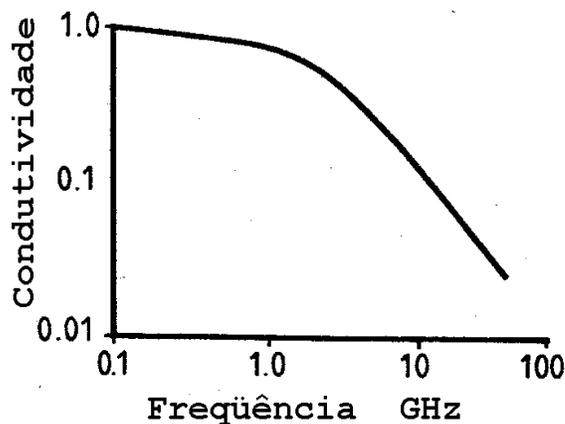


Figura 2.4 - Condutividade específica do sangue em função da frequência.

A potência absorvida por unidade de volume  $P_a$  por uma onda incidente com campo elétrico  $E$  em um tecido de condutividade  $\sigma$ , é dado pela seguinte expressão:

$$P_a = \sigma |E|^2 / 2 \quad (2.6)$$

Por exemplo, nos tecidos com 6 % de água, à frequência de 900 MHz, a condutividade é  $\sigma = 4$  mS/cm, com 60% de conteúdo de água temos  $\sigma = 40$  mS/cm. Desta forma para a mesma intensidade da onda incidente, a potência absorvida é 10 vezes maior para os tecidos com maior concentração de água.

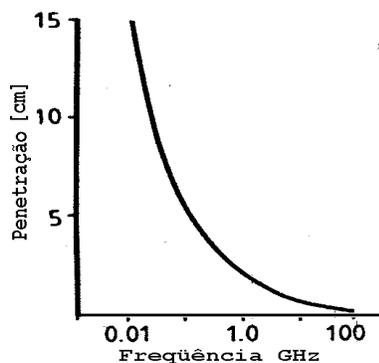
### 2.3.4 - Profundidade de Penetração ( Efeito Skin )

“Efeito Skin”, também chamado de **efeito pelicular** da radiação em uma substância, é definido como sendo a profundidade numa substância na qual a amplitude da radiação é reduzida em 1/e ( 37%) do valor incidente, e a densidade de potência, em  $1/e^2$  ou seja a 13,5 % ; portanto 86,5% da energia é dissipada na película de espessura  $\delta$ .

Essa profundidade é função da substância e da frequência da radiação incidente. A Figura 2.5 mostra a dependência típica para os tecidos vivos, mostrando que  $\delta$  diminui com o aumento da frequência. A relação entre a profundidade de penetração  $\delta$ , com a frequência é dada por:

$$\delta = (\rho / \pi f \mu)^{1/2} \quad (2.7)$$

onde  $\rho$  a é resistividade em ohm-metro [ $\Omega.m$ ], e  $\mu$  é a permeabilidade magnética do tecido respectivamente.



**Figura 2.5** - Variação da profundidade de penetração em tecidos com a frequência.

### 2.3.5 - Taxa de Absorção Específica (SAR)

Uma das grandezas físicas de maior interesse na quantificação de **limites básicos** de exposição às radiações eletromagnéticas é a taxa de absorção específica, ou em inglês *Specific Absorption Rate* - **SAR**.

Essa grandeza representa a taxa de potência absorvida por unidade de massa, e é dado em watt por quilo [W/kg], usado em medidas ou cálculos de corpo-presente. Ela representa a média espacial sobre toda a massa exposta à radiações de frequências **maiores** que 10 MHz, porque para frequências menores o conceito de SAR perde o significado, visto que os efeitos biológicos resultantes da exposição humana, são melhor correlacionados com as densidades de corrente resultantes no corpo [3].

A SAR é também considerada como sendo a variação no tempo do aumento da energia absorvida,  $dW$  num elemento de volume  $dV$  de massa  $dm$ , e densidade  $\rho$ , e é dado por:

$$SAR = d/dt (dW/dm) = d/dt (dW/\rho dV) \quad \text{ou} \quad SAR = (\sigma / 2\rho) |E|^2 \quad (2.8)$$

onde  $\sigma$  é a condutividade da massa do corpo onde é absorvida a radiação.

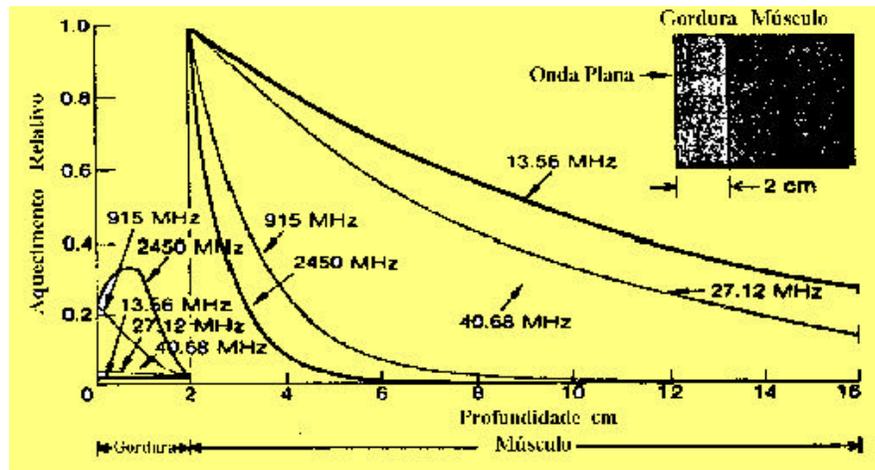
Observa-se que a SAR é diretamente proporcional ao aumento local de temperatura, responsável pelos efeitos térmicos, ou seja:

$$dT/dt = (1/C_p) SAR \quad [^\circ\text{C/s}] \quad (3.1)$$

onde  $T$  é a temperatura e  $C_p$  é o calor específico do tecido [J/Kg. $^{\circ}$ C].

Para exposição do corpo inteiro por exemplo, pode-se considerar a SAR média, que será então, a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa.

Na Figura 2.6 vemos que o aquecimento relativo, devido a SAR, é menor no tecido gorduroso do que nos músculos, devido a diferença do conteúdo de água, e portanto o aquecimento no músculo decai exponencialmente com a penetração, sendo a constante maior para frequências menores.



**Figura 2.6** - Aquecimento relativo dos músculos e gordura em função da frequência[2].

A dependência da frequência do SAR pode ser dividido em três partes. Na região de mais baixa frequência, abaixo de 30 MHz, a energia de absorção diminui rapidamente com a diminuição da frequência. Os efeitos não-térmicos são predominantes na região principalmente de frequências muito baixas (< 300 kHz).

Na região de ressonância, entre ( 30 e 400 MHz), o tamanho do corpo e o comprimento de onda são da mesma ordem de grandeza e por isso a absorção da radiação é maior e os efeitos térmicos predominam.

Nas regiões de maior frequência, > 300 MHz,  $\lambda$  é menor, a penetração de radiação é menor, e pode ocorrer a produção de locais sobre-aquecidos em regiões do corpo, como por exemplo, na cabeça.

### 3- EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES ELETRO-MAGNÉTICAS NÃO-IONIZANTES

Os principais efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas não-ionizantes podem genericamente ser divididos em dois grupos, o de **Efeitos Térmicos** e o de **Efeitos Não-**

**Térmicos.** Destes, o efeito térmico possui uma aceitabilidade universal, enquanto que parte dos efeitos não-térmicos, são ainda muito controversos [9].

### 3.1.1 - Efeitos Térmicos

Genericamente, todos os efeitos que produzem um aumento de temperatura nos tecidos são chamados efeitos térmicos. Estes efeitos tem sido estudados há muitas décadas [7], [8], e os resultados da absorção dos campos eletromagnéticos por diferentes tipos de tecidos são relativamente bem conhecidos.

De modo geral, estes efeitos são causados por um aquecimento direto dos tecidos biológicos como resultado da absorção da energia eletromagnética num meio dissipativo, como são os tecidos vivos.

Ao contrário das radiações com comprimento de onda menores, como por exemplo, o infravermelho, as radiações das microondas e RF, não são somente absorvidas pela pele, mas também, dependendo da frequência, são absorvidas em camadas mais profundas de tecidos. Uma vez que os sensores de temperatura do corpo humano estão localizados somente na pele, efeitos prejudiciais aos tecidos podem ocorrer devido a aquecimentos excessivos em regiões mais profundas, sem serem percebidos pelas pessoas.

- **Aquecimento**

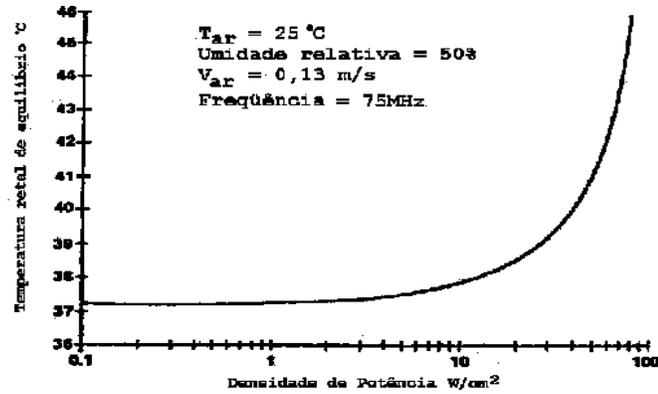
A magnitude do SAR é maior para adultos em frequências próximas de 80 MHz. Na figura 3.1 verifica-se o abrupto aumento de temperatura já próximo a 60 mW/cm<sup>2</sup>. A resposta térmica em pessoas ou animais depende do SAR, das condições fisiológicas, vascularização e da habilidade de dissipar o calor.

Para frequências abaixo de 30 MHz, a absorção relativa de potência  $S$  diminui com a frequência. Para uma esfera de raio  $a$  condutividade  $\sigma$ , permitividade  $\epsilon$ , Schwan [15], obteve a seguinte expressão:

$$S = 100\pi a\sigma \left[ \frac{9}{(\epsilon^2 + (\sigma/2\pi f\epsilon_0)^2)} + 0,4(\pi a c/f)^2 \right] \quad (3.2)$$

onde  $f$  é a frequência incidente externa, e  $c$  a velocidade da luz. Esta expressão mostra a dependência de  $S$  com  $f^{-2}$  no interior da esfera.

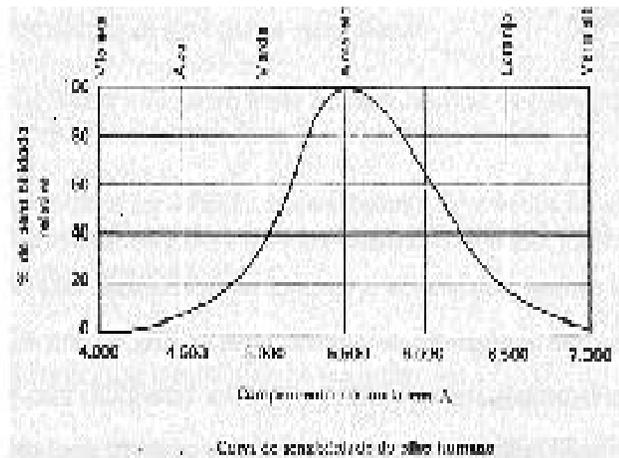
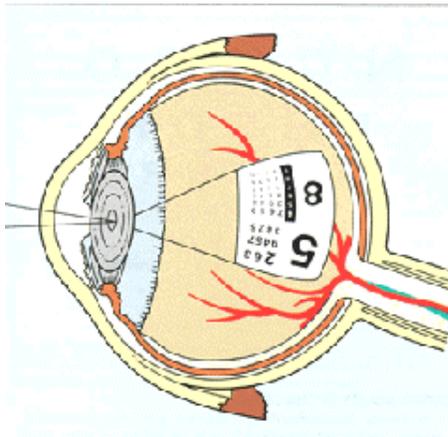
Um estudo de simulação do aumento de temperatura retal, em um homem, sob influência de um campo radiante de 75 MHz foi realizado por Tell e Harlen em 1979 [15] e [2] é mostrado na Figura 3.1



**Figura 3.1** - Temperatura retal de equilíbrio em um homem adulto, em função da densidade de potência a 75 MHz.

- **Catarata**

Na base de modelos matemáticos Kritikos e Schwan [16] mostraram que no intervalo de 500 a 2000 MHz há pontos quentes, com elevações de temperatura de 0,5 °C na cabeça humana já com níveis de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup>. Os maiores riscos são nas áreas de baixa vascularidade, e o órgão mais atingido é a lente dos olhos (cristalino). A figura 3.2 mostra detalhes anatômicos do olho humano.



a)

b)

**Figura 3.2** - a) Diagrama do olho humano, com alguns detalhes anatômicos.  
b) Sensibilidade espectral do olho humano.

Entre os efeitos térmicos mais importantes, está a **Catarata**, que é a opacidade da lente dos olhos, e que geralmente é irreversível. A lente é um complexo de epitélio no qual o maior constituinte é o cristalino, que é uma proteína similar a albumina (clara) dos ovos. Da mesma forma que a albumina, quando o ovo é aquecido, a albumina fica leitosa e opaca. Assim, com um mecanismo semelhante o aquecimento do olho provoca catarata.

A maioria dos trabalhos experimentais foram realizados com coelhos [8], mostrando que com densidades de potência maiores que  $100 \text{ mW/cm}^2$  inicia o processo de opacidade. Além disso o humor vítreo, que possui alto teor de água, também absorve radiações, e aquece, contribuindo para a formação das cataratas.

Diversos estudos com modelos matemáticos predizem aquecimento no olho com aparelhos de telefone celular, transmissores **walkie-talkie**, cujas potências relativamente altas, e antenas próximas do olho, resultam em aquecimentos nem sempre desprezíveis.

### 3.2 Efeitos Não-Térmicos

Os efeitos não-térmicos são efeitos bioquímicos ou eletrofísicos causados pelos campos eletromagnéticos induzidos, e não indiretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura. Alguns efeitos não-térmicos reportados na literatura incluem efeitos nos sistemas nervoso, cardiovascular e imunológico, bem como no metabolismo e em fatores hereditários [9].

Entretanto, nestas áreas os resultados ainda são polêmicos, não existindo via de regra conclusões definitivas, o que poderá ainda demorar muitos anos em pesquisas. Alguns resultados são mesmo conflitantes, especialmente devido a técnicas experimentais não muito confiáveis. Por exemplo, os métodos utilizados para caracterizar os sintomas em estudos epidemiológicos; dosimetria em RF e microondas, especialmente em campo próximo.

Entre os principais efeitos não-térmicos descritos na literatura, citaremos o fluxo de íons, a barreira cérebro-sangue, e o sistema Imunológico, além da literatura pertinente.

- **Fluxo de Íons**

Efeitos que foram claramente demonstrados incluem a alteração no fluxo de íons através das membranas das células (afetando particularmente as propriedades eletrofisiológicas das células nervosas, alteração na mobilidade dos íons de cálcio (particularmente nos tecidos do cérebro), alterações na síntese de DNA e na transcrição de RNA e efeitos na resposta de células normais a moléculas sinalizantes (incluindo hormônios, neurotransmissores e fatores de crescimento) [2].

- **Barreira Cérebro-Sangue**

Uma barreira funcional que existe entre o compartimento vascular e o tecido que regula a passagem de substâncias para dentro e para fora do cérebro, é chamada de barreira cérebro-sangue (*blood-brain barrier*). A integridade dessa barreira é essencial a atividade normal do cérebro. Alterações no fluxo de cálcio em células, na barreira entre o sangue e o cérebro devido à microondas sugerem um possível efeito não-térmico.

Estudos em ratos, expostos 20 min a pulsos de  $10 \mu\text{s}$  numa repetição de 5 pulsos por segundo, (densidade média de potência:  $30 \mu\text{W/cm}^2$ ) indicaram significativa alteração no estado da barreira cérebro-sangue [2].

- **Sistema Imunológico**

Efeitos no sistema imunológicos foram constatados em cobaias quando a SAR era maior que 0,4 mW/g, as células nervosas eram influenciadas quando os valores de SAR eram superiores a 2 mW/g e exposição a SAR entre 2 e 3 mW/g promoveu a ocorrência de câncer ou carcinomas em ratos [12]. Além disso, alterações no sistema endócrino e na química sanguínea foram relatados quando a SAR é maior que 1 mW/g e alterações nos sistemas hematológicos e imunológicos ocorrem quando a SAR é igual ou maior que 0,5 mW/g para exposições prolongadas. Alguns autores resumem os dados experimentais em cobaias sugerindo que os efeitos aparecem em SAR médias entre 1 a 4 mW/g, e isto tem sido um critério adotado nas normas mais recentes .

- **Câncer**

Revedo a literatura, observa-se que, à medida que as pesquisas avançam e novos resultados aparecem, as normas são atualizadas e novos limites mais restritivos são sugeridos [13]. Entre as muitas dúvidas que ainda estão por ser esclarecidas é possível ressaltar-se por exemplo, como o campo eletromagnético atua em determinadas estruturas, como: nos cromossomas ou nas moléculas de DNA que constituem os gens, e (b) na alteração da mobilidade dos ions (p.ex., de cálcio), particularmente em tecidos do cérebro e nas propriedades eletrofisiológicas das células nervosas [10].

## **4. RISCOS DEVIDO ÀS RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS**

O aceite da sociedade dos riscos associados com as radiações é condicionado aos benefícios a serem obtidos do uso destas radiações. No entanto, os riscos devem ser restritos e a sociedade deve se proteger dos mesmos aplicando padrões de segurança. Assim o conceito de risco está intimamente ligado ao de segurança. De fato, uma atividade é tanto mais segura quanto menor for o risco associado à ela.

Em qualquer processo de tomada de decisão em que a segurança, e portanto o risco é um fator importante, as idéias qualitativas não são suficientes, sendo necessário o estabelecimento de critérios quantitativos que permitam uma comparação mais objetiva dos níveis de risco das diversas atividades.

### **4.1 - Significado de “Risco”**

Estimativas de risco para radiações começaram a ser usados pela comunidade científica no início dos anos 50, principalmente no estudo das radiações ionizantes.

“**Risco**” é uma palavra comum, que pode significar coisas diferentes à pessoas diferentes. Desta forma, com o propósito de fazer-se comparações entre diferentes tipos de

riscos, riscos associados a diferentes eventos específicos, etc. é conveniente definir-se “**risco**” como sendo a **conseqüência de um dado evento por unidade de tempo** [18].

Assim por exemplo, houve 50.000 mortes (**conseqüência**) por acidente de carro (**evento**) nos EUA em um ano (**tempo**). Como nessa época havia 200 milhões de habitantes, o risco médio individual é definido como sendo:

$$\text{Risco} = ( 5 \cdot 10^4 \text{mortes/ano} ) / ( 200 \cdot 10^6 \text{pessoas} ) = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{mortes/pessoa.ano}$$

Aparentemente o público desenvolveu uma atitude consciente com os riscos mais familiares, sendo que um risco da ordem de  $10^{-4}/(\text{pessoa.ano})$  é considerado problemático, enquanto riscos altos como  $10^{-3}/(\text{pessoa.ano})$  são inaceitáveis. Riscos da ordem ou menores do que  $10^{-6}/(\text{pessoa.ano})$ , parecem ser ignorados pela maioria da população, e são vistos como “atos de Deus” ou azar. Um catálogo de riscos relativos (RR) de danos à saúde é dado por Cohen e Lee [19].

## 4.2 - Risco das Radiações Eletromagnéticas Não-Ionizantes

É impossível imaginar nossas vidas sem eletricidade, mas desde a publicação de Wertheimer e Leeper [10] que reportou uma associação entre as linhas de transmissão de alta tensão e câncer infantil, os riscos à saúde ligados às radiações eletromagnéticas (REM) em geral, são universalmente debatidos. Todos os estudos, tanto de laboratório como epidemiológicos, são ainda hoje controversos [12]. Uma lista de referências bibliográficas sobre este assunto é apresentado na bibliografia complementar deste trabalho.

Particularmente importante são os campos de radiofrequência entre 300kHz a 300 GHz e os de frequências muito baixas ( $< 300\text{kHz}$ ) tal como, por exemplo, as de uma linha de alta tensão (60 Hz).

### 4.2.1 - Exposição à Campos de Linhas de Alta Tensão

Os campos de frequências, como a da rede elétrica, de 60Hz, são extremamente ineficientes como fontes de radiação, visto que uma fonte de radiação para ser eficiente deve possuir uma antena (fonte) cujo tamanho seja compatível com o comprimento de onda da radiação emitida, e que no caso é de 5000 km.

Cálculos mostram que a potência irradiada dessas linhas é tipicamente da ordem de  $0,001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , muito menor do que a radiação emitida por uma lua cheia numa noite clara, que é da ordem de  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  [5].

Os mecanismos de interação das radiações eletromagnéticas de frequências muito baixas, com os tecidos biológicos, de ação direta são devido à ação dos campos eletromagnéticos. Os campos elétricos associados com as linhas elétricas (redes de alta-tensão) dependem da tensão, independente da corrente que circula. Ainda assim, possuem uma ação muito pequena, pois a energia dos fótons desses campos é da ordem de  $10^{-10}$  vezes

menor do que o necessário para romper uma ligação química numa célula. Assim somente por mecanismos indiretos de interação celular, pode ser possível a formação de danos à saúde.

Os campos magnéticos, por sua vez, são mais difíceis de blindar, e facilmente penetram em prédios ou pessoas, e por isso é “geralmente considerado” que qualquer efeito biológico ou dano seja causado da exposição rotineira à componente magnética do campo. Isso no entanto é extremamente improvável, pois os tecidos são não-magnéticos, e portanto essas forças são muito pequenas, menores que as devido a agitação térmica, e qualquer efeito necessita de campos magnéticos muito maiores, inexistentes em redes de potência [5].

Outro mecanismo é a indução elétrica, que pode provocar correntes peri-celulares, formação de radicais livres, magneto-osmose, excitação nervosa, e outros efeitos não-térmicos nos tecidos [11]. Todavia para frequências muito baixas, o corpo humano é muito fracamente acoplado a campos externos, e a corrente induzida é pequena, comparada às existentes no corpo humano. Campos da ordem de 500  $\mu$ Tesla são necessários para induzir correntes da ordem de grandeza das naturalmente existentes no corpo de uma pessoa.

Os campos de uma linha de transmissão de alta tensão, com por exemplo, 765 kV são da ordem de 10  $\mu$ Tesla e 1 kV/m. Nas linhas de 11 - 15 kV ( mais comuns) os campos são 0,2 a 1  $\mu$ Tesla e 2 a 20 V/m, bem abaixo dos 500  $\mu$ Tesla presentes no corpo humano.

Nos utensílios domésticos os campos magnéticos maiores são dos aparelhos que necessitam maior corrente, como torradeiras, travesseiros ou cobertores elétricos, etc. ou aparelhos com motores elétricos. A exposição às radiações desses aparelhos, é insignificante, e dificilmente correlacionáveis à um dano como câncer, leucemia, ou anomalias genéticas.

- **Riscos de Contrair Câncer**

Uma pergunta muito freqüente é: **Qual é o risco de contrair câncer associado às pessoas que vivem próximas a uma linha de alta tensão?**

De acordo com [5], o excesso de casos de câncer, encontrados em estudos epidemiológicos, é quantificado pelo risco relativo (RR). Este é o risco de uma pessoa exposta contrair um câncer, dividido pelo risco de uma pessoa não exposta contrair câncer. Como atualmente quase todos estão expostos à radiação eletromagnética, a comparação deve ser entre “maior exposição” e “menor exposição”. RR=1 significa sem efeito. RR < 1 significa menor risco ao grupo exposto. RR > 1 significa um risco aumentado ao segmento exposto.

Num intervalo de confiança de 95% o estudo epidemiológico mostra a impossibilidade de uma conclusão definitiva, não só porque há múltiplos tipos de câncer, e registros de exposição muito diferentes entre si. Mesmo em estudos de laboratório, as evidências mostram que somente para campos EM com intensidades muito maiores que os encontrados em residências, ou em situações ocupacionais, não revelam de forma clara evidências carcinogênicas.

De acordo com [11], as investigações mais recentes reconhecem que pode haver um certo número de pessoas, que são “hipersensíveis” à ondas eletromagnéticas mostrando

reações compatíveis com **respostas alérgicas**. Também é importante salientar que muitos trabalhos enfatizam mais os resultados positivos, associados ao câncer e à radiação eletromagnética, que os negativos ou inconclusos.

A conclusão do Conselho Nacional de Pesquisas dos Estados Unidos, (NRC - USA, 1996 ) sobre possíveis efeitos à saúde da exposição à campos elétricos e magnéticos residenciais, [6] mostra que não há evidência de ligações com os danos acima citados. Os estudos mostraram que somente exposições de campos 1000 a 100.000 vezes maiores que os de uso doméstico, induzem alterações celulares.

#### **4.2.2 - Exposição aos Monitores de Vídeo**

O desenvolvimento de microcomputadores, mudou sensivelmente a forma de trabalho, negócios, e vida da sociedade moderna. Como a TV os monitores de vídeo (MV) usam um tubo de raios catódicos, no qual elétrons são acelerados contra a tela, e durante a projeção, na formação da imagem, estes elétrons são defletidos por campos magnéticos e elétricos que desviam o feixe da esquerda para a direita e de cima para baixo. Assim, dependendo do qualidade do vídeo, gera-se de 500 a 1000 linhas, numa taxa de 15000 por segundo. Como mais e mais usuários cada ano utilizam monitores, é natural perguntar-se dos efeitos à saúde, advindo das radiações não-ionizantes no mesmo.

Em 1991, março, o conceituado “ The New England Journal of Medicine” reportou um estudo epidemiológico, com o artigo: “Video Display Terminals and the Risk of Spontaneous Abortion” [14] , e chegou a seguinte conclusão: O uso de MV não são responsáveis pelo aumento de casos de aborto espontâneo, e a radiação a que o artigo se refere é radiação eletromagnética de frequências muito baixas.

As radiações ionizantes, fora do escopo deste trabalho, possuem fótons de baixa energia  $< 35 \text{ keV}$ , que são blindadas pela espessura do vidro frontal do monitor.

As frequências dos osciladores e do transformador de fly-back pode atingir 120 kHz, com um campo elétrico da ordem de 2-3 V/m e campo magnético da ordem de 12 - 25 mGauss, valores bem abaixo do Limite de Exposição Permissível do IEEE C95.1 - [13], que é de 0,614 kV/m para o campo elétrico e 2 Gauss para o campo magnético, nessa faixa de frequência.

As emissões de RF ocorrem geralmente em duas bandas, a mais baixa, é de 60 Hz, já analisada, e a outra de frequência mais alta, é gerada pelos osciladores, e transformador de fly-back.

A questão: **Os monitores de vídeo apresentam riscos à saúde?** é geralmente relacionada ao desconforto visual, ergonomia, e emissões eletromagnéticas. Este último item, inclui os raios x, luz visível, e ondas de rádio. A maioria das questões é respondida no relatório NIOSH de março 1991, que conclui que não há base científica para estabelecer causa com efeito entre monitores de vídeo e problemas com abortos espontâneos. Mesmo assim, considerável pesquisa continua nesta área. (Ver bibliografia complementar específica no fim deste trabalho.)

### 4.2.3 - Exposição à Campos de Radiofrequência entre 300 kHz a 300 GHz

Como vimos a radiação eletromagnética não-ionizante pode produzir danos entre os quais o efeito térmico é o mais significativo. Como já foi mencionado, quando uma radiação de radiofrequência (RF) ou microonda, é absorvida pelo corpo, é gerado calor. Em circunstâncias normais, os vasos sanguíneos dilatam, e o calor é removido pelo suprimento de sangue.

Assim, o estudo dos danos devido à exposição à campos de radiofrequências com frequências entre 300 kHz e 300 GHz, são por isso muito importantes, pois nesta faixa de frequência encontramos equipamentos de larga utilização nas mais diversas áreas. Os equipamentos mais comuns são: Fornos de Microondas ( 2,45 GHz ), Telefones Celulares (850 MHz), Radares (~ 1 - 170 GHz ), Radioterapia e Aquecimentos Industriais ( 13,6 MHz - 27 MHz ) , Transmissores de Rádio ( ~ 500 kHz - 200 MHz ) e de TV ( ~ 300 MHz), aparelhos de Ressonância Magnética ( 2 - 30 MHz e campos magnéticos de 0,5 a 2 Tesla ), Aceleradores Lineares ( 3 a 6 GHz ), etc.

Nesta faixa de frequência diversos efeitos da RF e Microonda foram estudados em animais, e um resumo é dado pela tabela 4.1. Nesta tabela, encontram-se estudos de dos efeitos da radiação sobre os órgãos formadores de sangue (hematopoese), onde o stress térmico é predominante.

Cobaia	Frequência GHz	Dens. Potência mW/cm <sup>2</sup>	Duração	Efeito
Ratos	24	20	7h	Alteração nos Leucócitos
Coelhos	3,0	3,5	3h/dia, 90 dia	Contagem alta de Linfócitos
	2,45	5, 10, 25	2h	Variações signif. do sangue
Ratos	2,4	5	1h/dia, 90 dia	Nenhum efeito
	2,73	24,4	5d/sem, 7 semanas	Redução nos Leucócitos
	0,915	5	8h/dia, 5dias/sempor 16 semanas	Nenhum efeito significante Alterações no sangue em diversos parâmetros.

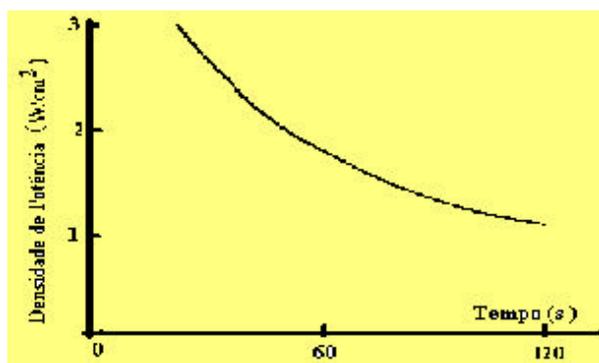
**Tabela 4.1** Efeitos das microondas e radiofrequências em cobaias [1].

Extrapolação de resultados de pequenos mamíferos para seres humanos não é evidente, devido a diferenças geométricas, peso, anatômicas, e biológicas. Mas no entanto as experiências servem para mostrar efeitos destas radiações e tentar correlaciona-los com o homem.

Se a temperatura intraescrotal não for mantida ao menos 1°C abaixo de temperatura do corpo, há uma redução de espermatozoides. Grande parte desse estudo foi realizado por Saunders e Kowalczuk [16], em ratos expostos à 10 mW/cm<sup>2</sup> por 260 min, o que equivaleria a um nível de exposição de 1/3 dia de trabalho nas normas dos EUA.

#### • Percepção Cutânea

As radiações de microondas e RF são percebidas pelos nossos sensores térmicos na pele. Michaelson em 1982, [17] revisou as implicações à saúde nas exposições à microondas e RF determinando limiares de sensação térmica, e de dor.



**Figura 4.1** - Limiar de dor para exposição normal à pele na frequência de 3 GHz, em função de densidade de potência e tempo de exposição.

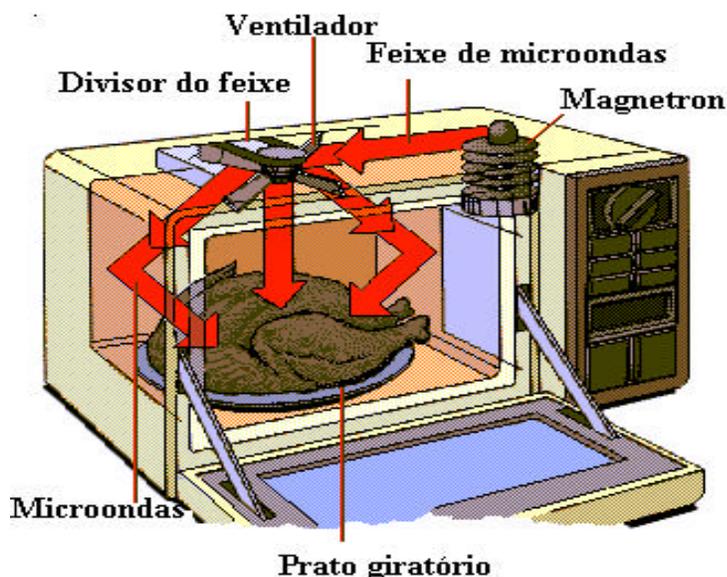
Da mesma forma foi estudado o limiar de dor na pele (sensação de queimadura) devido a RF de 3GHz. A Figura 4.1 mostra a relação entre a densidade de potência e o tempo necessário para produzir dor.

Como podemos observar na figura 4.1, para 1 minuto, o limiar de dor necessita de aproximadamente 2 W/cm<sup>2</sup> na região de frequência do forno de microondas.

#### 4.2.4 - Exposição aos Fornos de Microondas:

Fornos de microondas são sem dúvida uma forma conveniente de cozinhar, e reaquecer comidas. Sua facilidade de operação e popularidade aumentam a cada dia, e apesar de não se discutir sua conveniência, é importante considerar aspectos de segurança aos usuários e ao alimento.

Devido a fobias que muitas vezes atormentam certas pessoas, é importante frisar que comidas cozidas em fornos de microondas **não apresentam risco de ficarem com radiação. As microondas**



**cessam de existir tão logo que o forno é desligado, não permanecendo no alimento, nem no forno!**

Nas últimas décadas as pessoas estavam mais preocupadas com os danos e riscos oriundos dos fornos de microondas, tanto que em 1976, na Inglaterra, foi estabelecido um nível máximo de fugas de fornos de microondas limitando a 5 mW/cm<sup>2</sup> a 5 cm de distância. Estes fornos operam a 2,45 GHz, desenvolvendo um complexo de trajetórias no interior do aparelho, e com geração de diversas harmônicas, sendo que as energias geradas por essas harmônicas, não são significativas sob o ponto de vista da segurança.

Densidade de Potência mW/cm <sup>2</sup>	Número de fornos de Microondas – Porta Fechada –				
	< 0,2	22	32	42	44
0,2 – 2,0	24	24	21	29	44
2,1 – 5,0	3	6	6	3	2
5,1 – 10,0	0	3	0	0	0
> 10,0	0	0	1	0	0
TOTAL	49	65	69	76	99

**Tabela 4.3** - Estatística de medidas realizadas com fornos de microondas com a porta fechada [2].

A percentagem de fornos de microondas que emitem radiações acima de 2mW/cm<sup>2</sup> quando a porta está fechada, foi 6% em 1980, 14% em 1981, 10% em 1982 e 4% em 1983.

Medidas de fuga de radiação em fornos de microondas, em alguns hospitais da Escócia, entre 1980 e 1984, medidos pelo Departamento de Física Clínica e Bio-Engenharia da Universidade da Escócia, podem ser vistas na Tabela 4.3.

Atualmente é tecnicamente factível fabricar fornos de microondas com fugas muito baixas, inclusive abaixo de 0,2 mW/cm<sup>2</sup>. As fugas são mais suscetíveis, em aparelhos em que as portas ou não fecham direito, ou são de alguma forma apresentam sinais de corrosão.

As portas de fornos de microondas possuem um interruptor que sempre deve desligar o gerador de microondas ( magnetron) imediatamente, ao serem abertas. Um forno em boas condições de uso é praticamente não possui fugas de radiação.

Uma consideração importante que existia à respeito das fugas em fornos de microondas trata de receios de pessoas que possuem **marcapassos cardíacos**, no sentido da radiação eletromagnética emitida pelo microondas alterar seu funcionamento. A maioria dos marcapassos é blindado contra interferência elétrica sendo que as fugas se existirem, praticamente não interagem com os mesmos. Os marcapassos são testados para não atuarem sob campos de até 10 mW/cm<sup>2</sup>, valores bem acima do máximo de fuga permitida nos aparelhos de microondas, que é de 5 mW/cm<sup>2</sup>.

Normas atualmente mais aceitas, (FDA, IEEE, OSHA, etc.) limitam a fuga das radiações eletromagnéticas em fornos de microondas à 5mW/cm<sup>2</sup> a 5cm da superfície da porta.

#### 4.2.5 - Exposição ao Telefone Celular

Estudos de riscos da telefonia celular, foram pesquisados por inúmeros autores, sendo que este trabalho baseia-se, em Salles [9], onde são descritos os mais importantes efeitos biológicos dos telefones celulares, realizados simulações numéricas e apresentados conclusões e sugestões sobre precauções para usuários, no sentido de reduzir os riscos à saúde.



Para ter-se uma idéia sobre esta questão, é importante frisar que no Brasil, até o final de 1997 mais de 5 milhões de celulares estarão em operação. No mundo esse número deve ficar em torno de 70 milhões de aparelhos. Por isso ocorre uma contínua alteração nas normas, visto que há uma significativa defasagem entre a popularização dos celulares e os progressos nas pesquisas, mostrando a rápida evolução tecnológica, sem um bom conhecimento das conseqüências biológicas para os usuários.

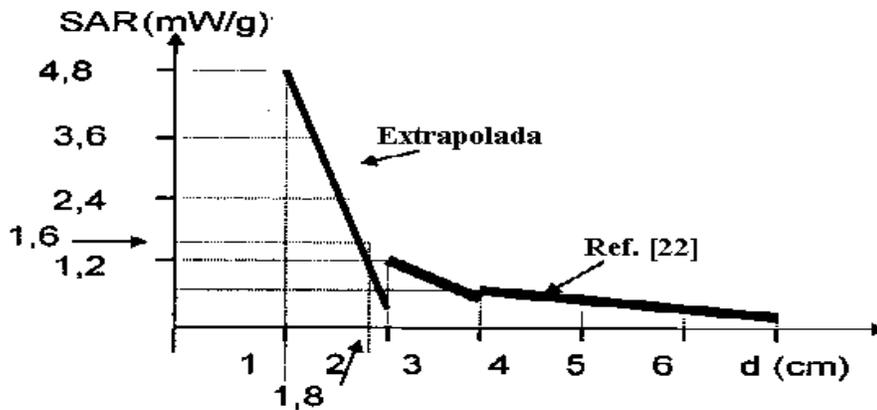
Os telefones celulares no Brasil utilizam o padrão desenvolvido pela Bell Labs, chamado de **AMPS** ( **A**dvanced **M**obile **P**hone **S**ystem), onde os transmissores dos celulares emitem no máximo 600 mW, numa faixa de 825 a 845 MHz. As antenas são tipicamente monopolos de meia onda, um quarto de onda ou menores. Os aparelhos ainda dispõem de um microprocessador que ajusta o nível de potência emitida, dependendo da atenuação até a antena com a qual está se comunicando. Esta antena pertence à Radio Base, e que por sua vez opera a com frequências entre 870 e 890 MHz.

##### • Simulações Numéricas

Como descrito em [9] diversos autores, entre eles [20], usaram o método das diferenças finitas para simular numericamente o comportamento das ondas eletromagnéticas em geometria 3D com meio complexo e não homogêneo.

Tecido	Permissividade Relativa	Condutividade em S/m	Massa Específica em g/m <sup>3</sup>
Ossos	8	0,105	1,85
Pele	34,5	0,60	1,10
Músculo	58,5	1,21	1,04
Cérebro	55,0	1,23	1,03
Líquor	73,0	1,97	1,01
Cristalino	44,5	0,80	1,05
Córnea	52,0	1,85	1,02

**Tabela 4.4** Características dos tecidos da cabeça usadas nas simulações [22].



**Figura 4.2** - Variação da taxa de Absorção Específica com a distância “d” entre a antena e a cabeça do usuário, para P = 600 mW.

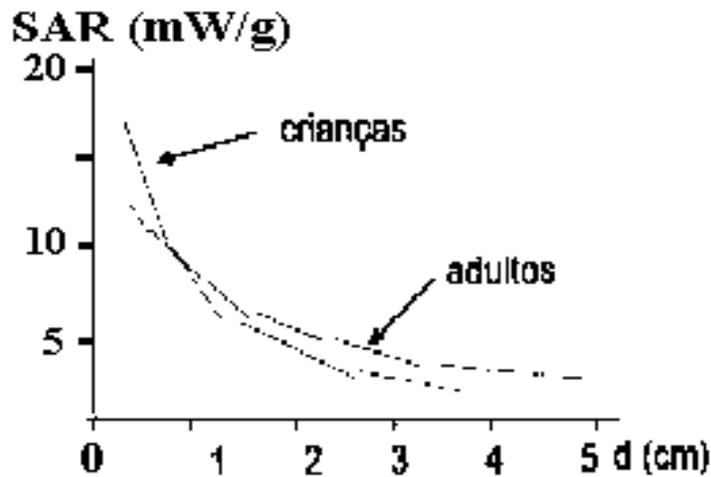
Para a simulação numérica usou-se [11] um modelo com células cúbicas de 5 mm de lado, perfazendo um total de 141.680 células, representando a cabeça e a mão do operador.

Utilizando dados obtidos por meio de ressonância magnética, e outras técnicas, foram obtidos [22] os seguintes dados para a cabeça humana mostrados na Tabela 4.4 .

Os resultados das simulações são apresentados em SAR ( mW/g), e em alguns casos normalizados para 1 W de potência emitida. Na figura 4.2 estão os resultados obtidos com os dados da Tabela 4.4, para uma potência emitida de 600 mW.

Observa-se na Figura 4.2 que a SAR é praticamente proporcional ao inverso do quadrado da distância “d” entre a cabeça e a antena. Para d =1cm a SAR é da ordem de 4,8 mW/g, o que é exatamente três vezes o limite de 1,6 mW/g estabelecido pela norma IEEE/ANSI C.95.1 -1992 [13]. Continuada a proporcionalidade, para d = 0,5 cm teríamos SAR = 19,2 mW/g o que corresponde a 12 vezes o limite da norma.

**Uma elevada percentagem de usuários utilizam o telefone celular praticamente encostado na cabeça, de forma que o limite estabelecido pela norma é ultrapassado em dezenas de vezes.**



**Figura 4.3** - SAR médio no olho em função da distância da antena, para 900 MHz e potência emitida de 1 W.

Resultados de simulação do SAR médio no olho devido a aproximação da antena tanto para adulto como para crianças, é mostrado na figura 4.3. Como vimos anteriormente o olho é muito suscetível a efeitos de aquecimento, pelo fato de possuir poucos vasos capilares em seus tecidos.

Na Figura 4.3, vemos que no olho, para uma aproximação de 2 cm, o SAR médio é de 3,6 mW/g enquanto para 1 cm temos SAR = 5 mW/g, o que ultrapassa a norma [13] em 2 a 3 vezes o limite de 1,6 mW/g.

#### •Comentários Adicionais

Os resultados das simulações descritas em [9], e mostrados nas figuras 4.2 e 4.3 mostram que a norma [13] não é respeitada no que se refere à taxa de absorção específica SAR na cabeça e nos olhos. Como a grande maioria dos usuários fala com a antena mais próxima que 1 cm a norma é excedida por um fator elevado e muito preocupante. O tempo médio de conversa no telefone celular no Brasil é maior que nos EU por exemplo, e por isso os níveis de irradiação aqui são bem maiores.

Nunca houve na história da humanidade densidade de potência eletromagnética absorvida em níveis tão elevados, por tanto tempo, numa região específica do corpo humano ( a cabeça) tão importante. No Brasil o risco ainda é maior, visto que a densidade de Radios-Base, ainda é relativamente pequena, e por isso as potências médias dos celulares durante as conversas são maiores. Com a modificação da tecnologia para novas técnicas de modulação essas potências devem diminuir.

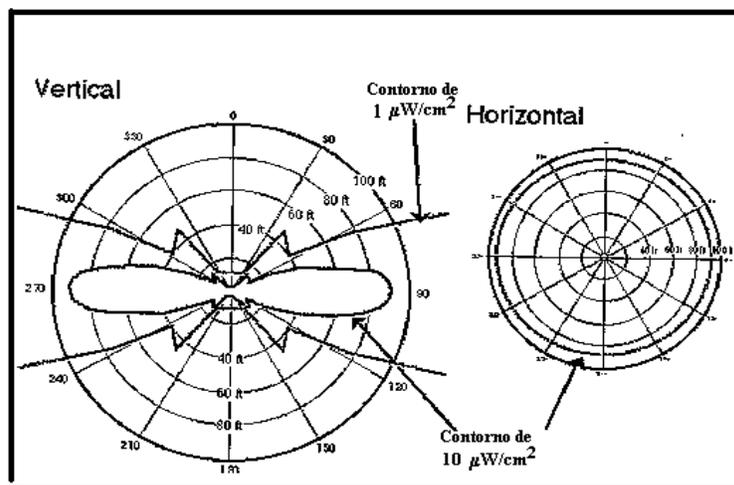
É interessante questionar quantas pessoas poderão sofrer conseqüências prejudiciais à saúde? **O que pode ser feito para reduzir os riscos?** De modo geral, pode-se considerar as seguintes sugestões [9]:

1. Falar sempre com a antena afastada no mínimo 2 a 3 cm da cabeça, posicionada o mais para trás possível.
2. Nunca falar com a antena recolhida, e procurar não falar de dentro de automóveis, pois são situações em que o celular emite maior potência
3. Falar sempre o menor tempo possível, e se a conversa for maior trocar o aparelho de lado a cada minuto ou dois.
4. Quando disponível, usar um elemento protetor ( p.ex., um refletor metálico colocado entre a antena e a cabeça do usuário); este protetor sendo adequadamente dimensionado, poderia otimizar alguns parâmetros como a diretividade, o ganho e a eficiência de irradiação, garantindo condições de operação dentro dos limites das normas. (Talvez venha a ser incorporado nos celulares no futuro!.)



#### 4.2.6 - Exposição à Estações de Rádios Base

Outro item de preocupação para trabalhadores com radiações eletromagnéticas não ionizantes, é a emissão de **Estações de Rádios Base**, que aumentaram dramaticamente nos últimos anos, para fazer frente à demanda dos telefones celulares. Estas estações transmitem com frequências entre 870 a 890 MHz , e são geralmente montadas em torres, ou no alto de edifícios, e possuem potências até 500 W por canal de transmissão. Nas grandes cidades, as estações são menores, possuindo potências entre 10 W e 100 W por canal.



**Figura 4.4** - Distribuição de potência de uma Estação de Radio-Base para telefonia celular.

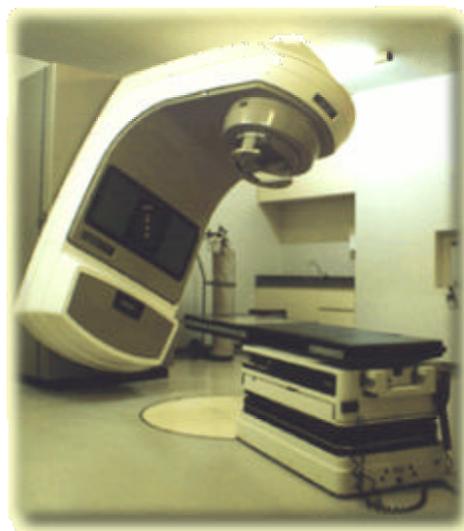
Os valores medidos à 20 m de distância de uma estação de 100 W à 45 m de altura, em nível de solo é menor que 0,0002 mW/cm<sup>2</sup>, sendo que no feixe principal a 3 m da antena é 1 mW/cm<sup>2</sup> [23].

A distribuição típica da potência de uma estação de Radio-Base é visto na figura 4.4. Nela vê-se os lóbulos de distribuição horizontal e vertical, bem como os contornos de  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  à aproximadamente 3 km da estação.

Como as antenas possuem uma potência total, que depende do número de canais autorizados, (tipicamente 16 canais), a potência total permitida pela FCC (Federal Communications Commission - USA) é no máximo de 500 Watts por canal, dependendo da área a altura da torre. Vemos que a distribuição da densidade de potência é praticamente uniforme no sentido horizontal, e já a 3,3 km (100 ft) da fonte, possui valores perfeitamente compatíveis com os níveis do público em geral.

#### 4.2.7 - Equipamentos Médico-Hospitalares

Diversos equipamentos médico-hospitalares utilizam de altas frequências para tratamentos à pacientes, entre os quais destacam-se os sistemas de aquecimento por Radioterapia (27,2 MHz), Hipertermia (13,6 MHz), Aceleradores Lineares e os Aparelhos de Ressonância Magnética.



- **Aceleradores Lineares**

Os Aceleradores Lineares, são de vital importância no tratamento de câncer, gerando elétrons de altas energias ( 1 a 10 MeV ). Nestes equipamentos os campos eletromagnéticos gerados aceleram os elétrons até 0,99 vezes a velocidade da luz. A frequência usada é geralmente a banda S, com 3 GHz. Pequena fração da energia da radiação é espalhada, visto a proteção metálica em torno do equipamento, e medidas em alguns aparelhos como os da Siemens ( MEVATRON V1 ) e Varian ( CLINAC 600 C – Figura ao lado ) mostraram valores menores que  $5\text{mW}/\text{cm}^2$ , bem abaixo do nível que causaria problemas em marcapassos, por exemplo.

As blindagens metálicas protegem os operadores, que podem estar presentes durante a operação do magnetron ( que gera a alta frequência ). Durante a manutenção os trabalhadores, podem ser expostos a radiações não ionizantes da ordem de  $60 \text{mW}/\text{cm}^2$ , como foi medido em um aparelho Philips Dynaray 6, ou em um Siemens 75/20 [2]. Isso mostra que somente durante a manutenção, sem as blindagens metálicas há uma exposição mais significativa à radiações não-ionizantes, nestes aparelhos.

- **Ressonância Magnética Nuclear**

Os aparelhos de ressonância magnética nuclear RMN de corpo inteiro, estão sendo cada vez mais usados, devido a sua grande capacidade de geração de imagens, para fins de

diagnóstico. Estes aparelhos geram um colossal campo magnético **estático**, que vai de 0,5 a 5 Tesla. Para comparação o campo magnético da terra é de aproximadamente 50  $\mu$ T.

O princípio de funcionamento destes aparelhos se baseia em inverter os spins de prótons alinhados com o campo magnético principal, usando radiofrequências entre 2 a 30 MHz, dependendo do campo magnético usado.

A maior parte dos riscos conhecidos nestes aparelhos, resultam dos efeitos nos objetos ferromagnéticos na vizinhança do ímã principal. Pacientes com marcapassos, implantes metálicos, cliques de aneurismas, válvulas cardíacas, etc. não devem ser examinados por técnicas de RMN, sob o risco de injúria severa, hemorragias e perda da capacidade funcional do implante. Da mesma forma a taxa de variação do campo magnético nunca deve exceder o limite de 6 T/s, de acordo com o IRPA (1991) [27]



A energia de alta frequência absorvida no corpo durante um exame de RMN é em grande parte transformada em calor e distribuído sobre todo o corpo pelo fluxo sanguíneo, e é muito improvável que ocorra um aumento de mais de 1°C, com exceção para crianças, cujo peso é menor.

## **5. -NORMAS DE EXPOSIÇÕES À RADIAÇÕES ELETRO-MAGNÉTICAS NÃO-IONIZANTES.**

### **5.1 - Introdução**

O objetivo de todas as Normas e Regulamentos, é estabelecer limites e procedimentos, que se usados, reduzem os riscos de efeitos deletérios na população a níveis aceitáveis. Dessa forma o primeiro passo dos diversos órgãos reguladores é estabelecer limites de exposição à população em geral ou a grupos particulares desta população.

O público em geral, compreende de indivíduos de todas as idades, e de diferentes condições de saúde, que em princípio podem estar expostos 24 horas por dia, ao longo de toda a vida, enquanto que o grupo ocupacionalmente exposto, consiste de adultos, expostos sob condições controladas, que são treinados a assumirem um risco, tomando precauções adequadas para tal. A duração da exposição ocupacional, é limitada à duração do trabalho diário durante toda a vida ativa de trabalhador. Não pode ser esperado que o público em geral, tome qualquer precaução em relação a sua exposição às radiações, e por isso devem

ser adotados **Limites de Exposição** mais baixos para este público do que para os grupos de indivíduos ocupacionalmente expostos.

Baseado nesse fato, serão discutidos primeiro os limites de exposição ocupacional e para o público em geral.

### **No Brasil:**

#### **NR – 15 ANEXO 7 - RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES**

- Para efeitos desta norma, são radiações não-ionizantes as microondas, ultravioletas e laser;
- As operações ou atividades que exponham os trabalhadores às radiações não-ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres, em decorrência da laudo de inspeção realizada no local de trabalho;
- As atividades ou operações que exponham os trabalhadores às radiações ultravioletas da luz negra ( 420-320 nanômetros), não serão consideradas insalubres.

### **Nos Estados Unidos:**

Nos Estados Unidos, duas agências importantes, a American National Standard Institute (ANSI) e a American Conference on Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), estabeleceram os primeiros Padrões de Proteção às Radiações Não-Ionizantes, em vigor desde 1966. A ANSI adotou 10 mW/cm<sup>2</sup> para o Limite em operações contínuas de 8h com radiações de alta frequência em 1966, e a ACGIH em 1971 [13].

Quase toda a comunidade científica internacional considerou este nível como seguro. Este nível foi baseado em considerações aos efeitos térmicos e continha uma boa margem de segurança. Os russos possuíam um nível de 10μW/cm<sup>2</sup>, baseado em efeitos comportamentais e estimulativos do sistema nervoso central. Este padrão não foi aceito pelo ocidente, sob a alegação de que esses efeitos são reversíveis e por isso não necessitam ser considerados. Gradualmente ao longo dos anos as evidências das pesquisas aumentou o conhecimento e compreensão desses efeitos, mas apesar disso ainda há muita controvérsia.

De acordo com a IRPA - 1990, os Limites de exposição para 50 / 60 Hz são vistos na tabela 5.1

<b>Tipo de Exposição</b>	<b>Intensidade do Campo Elétrico kV/m (rms)</b>	<b>Densidade de Fluxo Magnético mT (rms)</b>
<b>Ocupacional</b>		
Todo o dia de trabalho	10	0,5
Curto período (2h max)	30	5
<b>Público em Geral</b>		
24 h por dia	5	0,1
Curto período (2h max)	10	1

**Tabela 5.1** - Limites de Exposição à Campos Eletromagnéticos de 50 / 60 Hz, de Linhas de Transmissão de Energia.

Desde 1981, o Comitê Internacional de Radiações Não-Ionizantes, International Non-Ionizing Radiation Comitee - INIRC ligado à Associação Internacional de Proteção Radiológica - IRPA , em cooperação com a Organização Mundial da Saúde WHO, e a Divisão de Saúde Ambiental, assumiram a responsabilidade de estabelecer um programa para desenvolver critérios e normas relativos às radiações não-ionizantes.

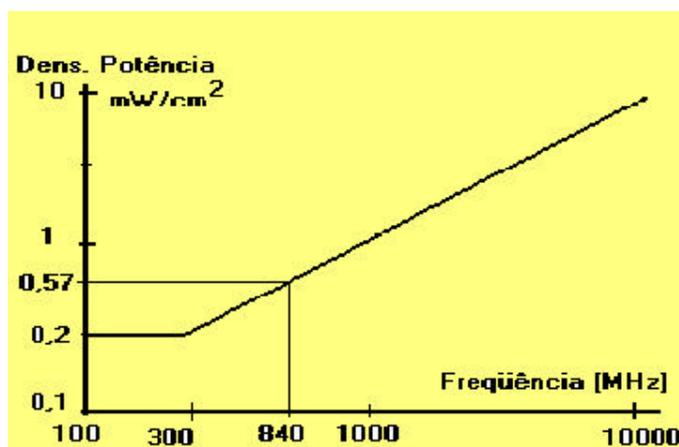
No campo das muito baixas freqüências, os comprimentos de onda são quilométricos, e os sistemas biológicos são extremamente pequenos, comparados com estes comprimentos de onda, de forma que todos os acoplamentos elétricos e magnéticos são muito fracos, e acoplam de forma independente entre si.[ 9 ].

Nas linhas de alta tensão os campos oscilam de forma sinusoidal, e por isso os valores efetivos ( rms ) são os considerados. Para fins de quantificar os efeitos biológicos nessas freqüências, o conceito de “dose” é representado pelas intensidades dos respectivos campos.

O documento intitulado “Enviromental Health Criteria 16, - Radiofrequency and Microwaves” [24], foi publicado pela (WHO/IRPA) em 1981, fazendo uma revisão dos efeitos biológicos devido à radiofreqüência (RF) e microondas (MO) , e serviu de base para os trabalhos futuros.

Todos os estabelecimentos de limites e normas envolvem grande quantidade de pesquisa científica, onde diversas considerações sobre os efeitos das radiações não ionizantes em animais são extrapoladas aos seres humanos. Análises de **Custo-Benefício** são necessárias, incluindo o impacto econômico dos controles. Desta forma os limites atualmente em vigor, devem estabelecer critérios de segurança para os trabalhadores e a população em geral.

A Norma largamente utilizada foi elaborada pelo IEEE dos USA, denominada IEEE C-95.1.1991, que em 1992 foi adotada pelo ANSI- American National Standards Institute, e que em 1993 foi recomendada pelo FCC dos USA [24].



**Figura 5.1** - Norma IEEE “C 95.1 - 1991” Limites de Exposição à Radiações

## Eletrornagnéticas.

Esta norma foi resultado de oito anos de estudos realizados por 125 engenheiros, médicos, bioquímicos, biofísicos, biólogos, etc, e estabelece limites para dois tipos de ambientes: os “controlados” nos quais o indivíduo tem conhecimento dos níveis de exposição (p.ex., técnicos de laboratórios usando equipamentos especiais) e (b) os ambientes “não controlados”, nos quais as pessoas não tem conhecimento dos níveis de exposição (usualmente envolvendo o público em geral; é este o caso de aparelhos como os telefones celulares portáteis e os fornos de microondas domésticos).

### 5.2 - Padrões Ocupacionais:

A Figura 5.1 mostra os níveis de densidade de potência em função da frequência atualmente aceitos por entidades responsáveis pela padronização americana.

A razão para esta redução é que o corpo humano age como um sistema de antenas ressonante de forma mais efetiva para essas frequências. Na obtenção do padrão ANSI foi considerado o campo-distante, portanto suas considerações não são válidas para o campo próximo.

Conforme mostram algumas publicações, [20-21] os telefones celulares, na pior situação ( por exemplo com a antena tipo monopolo irradiando muito próximo da cabeça do usuário), não respeitam as normas estabelecidas nos EUA e na Europa [13].

Na figura 5.1 correspondente à Norma ANSI/IEEE C-95.1, o limite para ambientes não controlados foi estabelecido em cinco vezes menor que o limite em ambientes controlados. Observa-se que para 840 MHz, frequência padrão usada em telefonia celular no Brasil (sistema AMPS), o limite corresponde a 0,57 mW/cm<sup>2</sup>. Acima de 10 GHz, o limite estabelecido por esta Norma é de **10 mW/cm<sup>2</sup>** .

Frequência MHz	Campo Elétrico V/m	Campo Magnético H/m	Dens. Potência W/m <sup>2</sup>
0,1 - 1	614	1,6/ f	---
>1 - 10	614/ f	1,6 / f	---
>10 -400	61	0,16	10
>400-2000	3 f <sup>1/2</sup>	0,008 f <sup>1/2</sup>	f / 40
>2000-300000	137	0,36	50

**Tabela 5.2** - Limites Ocupacionais para campos eletromagnéticos de RF, tal como aceito pela Norma ANSI [25].

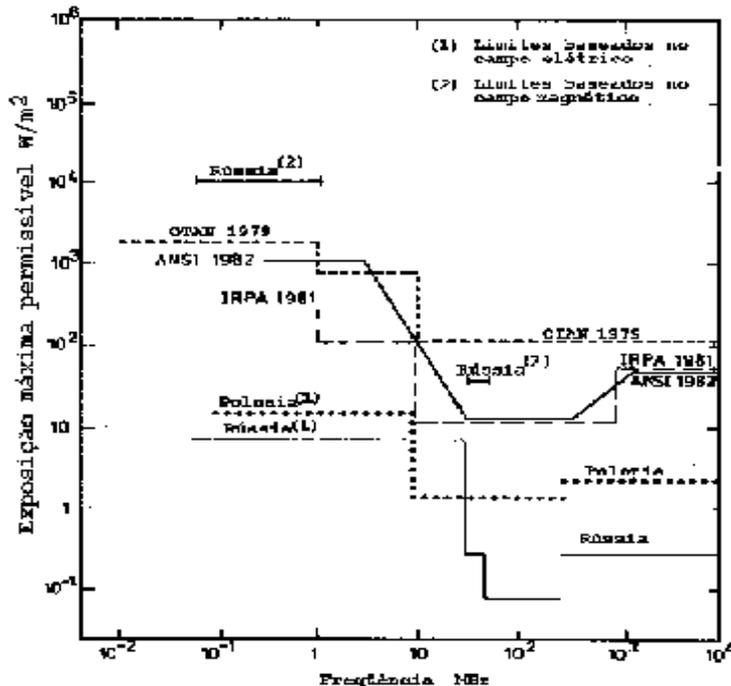
Em taxa de absorção específica (SAR), a norma ANSI/IEEE C-95.1 para o público em geral limita em 0,08 mW/g para a SAR média no corpo inteiro da pessoa, e em 1,6 mW/g para o valor máximo da SAR entregue a qualquer 1 grama de tecido, num período de 30 minutos ou mais (12). Já a norma européia CENELEC CLC/TC211-B estabelece para o

público em geral o limite de 2mW/g para o valor máximo da SAR, avaliado num volume equivalente a 10 gramas de tecido num período de 06 minutos [13].

Anteriormente, o FCC não exigia dos fabricantes resultados de teste pa5ra verificação de respeito às normas ANSI/IEEE C.95.1, de novos equipamentos que transmitissem menos que 0,74 W (considerados “low power”, ou seja, baixa potência), que é o caso dos aparelhos celulares portáteis com modulação analógica convencional (sistema AMPS) emitindo no máximo 600 mW(1). Isto foi corrigido em agosto de 1996, quando então o FCC determinou que também estes aparelhos não deveriam ser excluídos do respeito aquelas normas, uma vez que para a antena à uma distância menor que 2,5 cm, os níveis de SAR absorvidos na cabeça do usuário excedem os limites estabelecidos por aquelas normas [24].

### Padrão Canadense:

O padrão canadense, é 1 mW/cm<sup>2</sup> para frequências abaixo de 1 GHz e 5 mW/cm<sup>2</sup> para frequências acima, sendo assim ainda similar em certos aspectos ao ANSI, como se vê na figura mencionada. O limite de 1 mW/cm<sup>2</sup> é mantido até 10 MHz ao invés de 30 como dado pela Norma ANSI. Normas de diversos países pode ser visto no gráfico da Figura 5.2.



**Figura 5.2** Exposição máxima permissível para um período de 8 h, de acordo com várias normas internacionais [1].

### Padrão Britânico:

O padrão britânico BS4743 é relacionado com equipamentos eletrônicos, e especifica 1 mW/cm<sup>2</sup>. O padrão BS5175 trata de fornos de microndas, permite 5 mW/cm<sup>2</sup> para 5 cm do forno. O Medical Research Council (MRC) especifica densidades de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup> na faixa de 30 MHz até 30 GHz. Para ondas pulsadas ou intermitentes, o documento recomenda como limite na mesma faixa de frequência, densidades de energia de 1 mW.h/cm<sup>2</sup> durante qualquer período de 0,1 horas. Na Inglaterra, as recomendações do MRC são geralmente aceitas, a menos que se trabalhe especificamente com fornos de microndas.

**Padrões Internacionais:**

<b>Padrões Internacionais de exposição Ocupacional à Microndas</b>			
<b>Densidade de Potencia mW/cm<sup>2</sup></b>	<b>País</b>	<b>Intervalo de Frquência MHz</b>	<b>Comentários</b>
0,01	Rússia	>300	
	Polônia	300 - 300000	campos contínuos
0,1	Rússia	0,1 > 300	2 horas/dia
	Polônia	300 - 300000	Campos não-contínuos
1,0	Rússia	> 300	20 min/dia
	Polônia	300-300000	20 min campos contínuos
	Alemanha	300 - 300000	campos contínuos
	Suécia	300 - 300000	campos contínuos
5,0	Suécia	10 - 300	campos contínuos
10,0	Polônia	300- 300000	11,5s campo contínuo
	Alemanha	30 - 30000	1 hora
	Reino Unido	30 - 30000	média contínua 0,1 h
	USA	10 - 100000	média contínua 0,1 h
	Europa Oriental	300 - 300000	média contínua 0,1 h
25	USA	100 - 100000	10 min a cada 8 h
30	USA	100 - 100000	<1 mWh/cm <sup>2</sup> - 0,1 h
	Europa Oriental	300 - 300000	2 min durante 0,1 h

**Tabela 5.3** - Padrão Internacional de Exposição à Microondas[13].

Os padrões de segurança para RF (Radio Frequência) se discute há anos. Até hoje não foi estabelecido um valor conclusivo, e por isso o padrão adotado nos Estados Unidos é o mesmo do Canadá, de 1 mW/cm<sup>2</sup> para frequências menores que 30 MHz e o padrão MRC de 10 mW/cm<sup>2</sup> de 30 MHz a 300 GHz. Todavia nos Estados Unidos, na frequência de 27 MHz, a absorção pode ser 10 vezes mais baixa no campo próximo (padrão ANSI) que no campo distante.

O estágio de incerteza nos assuntos ligados aos efeitos biológicos das radiações, levam a frases tipicamente encontradas no final de diversos artigos que são por exemplo: “Apesar dos grandes esforços, é provável que no futuro próximo ainda não se tenha

respostas a questões essenciais” ; ou “Tendo em vista o crescimento inexorável em popularidade das comunicações pessoais, parece justificada a necessidade de investigações científicas e abertas ao público sobre os efeitos biológicos dos das emissões de sistemas de comunicações móveis atuais e futuros” ; também, “Os níveis dos campos eletromagnéticos na cabeça são importantes para a avaliação de possíveis danos não térmicos, o que está ainda sob discussão” ou ainda, “A questão se o desenvolvimento dos tumores é ou não estimulado pelos campos eletromagnéticos produzidos pelos telefones celulares, ou seja, se eles são ou não “promotores de câncer”, ainda permanece não respondida”[10].

### 5.3 - Padrões para o Público

Medidas protetoras contra o excesso ou contra radiações desnecessárias de RF ou microondas podem ser tomadas com pessoal ocupacional.

Com o público em geral, somente medidas não complicadas ou de fácil compreensão poderiam ser tomadas, como por exemplo sinalização ou limitação de acesso à fontes, para garantir limites adequados.

A tabela 5.3 fornece os **Limites para o Público**, para não **trabalhador com radiação eletromagnética não ionizante**, para as diferentes faixas de frequência , de acordo com a **IRPA** (International Radiation Protection Agency) e ANSI.

Frequência MHz	Campo Elétrico V/m	Campo Magnético A/m	Dens. Potência W/m <sup>2</sup>
0,1 - 1	614	1,6/ f	---
>1 - 10	614/ f	1,6 / f	---
>10 -400	61	0,16	10
>400-2000	3 f <sup>1/2</sup>	0,008 f <sup>1/2</sup>	f / 40
>2000-300.000	137	0,36	50

**Tabela 5.4** - Limites do Público para campos eletromagnéticos de RF, tal como aceito pela Norma IRPA [25].

A exposição ao público em geral às ondas de RF não devem exceder aos níveis da Tabela 5.4, visto que queimaduras de RF com campos acima dos limites, são considerados à parte. O “dosímetro” para frequências maiores que 10 MHz é o SAR. Os limites dados na Tabela 5.4 para frequências entre 10 MHz e 300 GHz, foram derivados do fato que o SAR de 0,08 W/kg não deve ser excedido. Isso representa uma aproximação prática de uma onda plana interagindo com o corpo inteiro.

Em vista aos limitados conhecimentos dos efeitos e seus limiares para o ser humano, todas as exposições desnecessárias devem ser evitadas, ou minimizadas. As medidas das exposições devem ser realizadas sempre no lugar normalmente ocupado pela pessoa em questão [25].

Nas situações de exposições de múltiplas fontes, simultaneamente, os limites para frequências acima de 10 MHz, deverão ser de 0,4 W/kg para trabalhadores ocupacionalmente expostos, e 0,08 W/kg para indivíduos do público. Estes limites protegem contra os danos térmicos. Se todas as fontes operarem em frequências abaixo de 10 MHz, as exposições devem ser medidas para cada frequência e expressas como fração dos limites de intensidade dos campos magnético e elétrico respectivamente. [26].

**NORMAS PRELIMINARES: CENELEC 50166 - IRPA – Para exposição humana a campos eletromagnéticos de Alta Frequência ( 3 kHz a 300 GHz )**

**TRABALHADORES:**

<b>27 MHz</b>	<b>433MHz</b>	<b>2,,45 GHz</b>
61,4 V/m	63,0 V/m	137 V/m
0,16 V/m	0,17 V/m	0,36 V/m
10 W/m <sup>2</sup>	11 W/m <sup>2</sup>	50 W/m <sup>2</sup>

**ÁREAS PÚBLICAS:**

<b>27 MHz</b>	<b>433 MHz</b>	<b>2,45 GHz</b>
27,5 V/m	28 V/m	61,4 V/m
0,07 V/m	0,08 V/m	0,16 V/m
2 W/m <sup>2</sup>	2,2 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>

**6. - CONCLUSÕES**

Neste trabalho foram analisados diversos aspectos da interação das radiações eletromagnéticas não ionizantes, com sistemas biológicos. Foi enfatizado que a frequência das radiações é um dos fatores predominantes da interação destas com a matéria. Assim para frequências muito baixas, como a da rede elétrica, (50 / 60 Hz) o comprimento de onda é tão grande que as absorções diretas não ocorrem, e que em termos de riscos à saúde, é difícil correlacionar causa com efeito. Inclusive nesta faixa de frequência, a interação com os campos é desacoplada, e o campo magnético parece ser o maior responsável por efeitos não-térmicos. Mesmo com campos magnéticos relativamente intensos de 5 mT a 50 Hz, e 4 h de exposição, voluntários humanos não apresentaram sintomas relevantes.

Os estudos epidemiológicos, apenas sugerem que crianças expostas a campos magnéticos acima de 0,2 µT a 50 Hz, poderiam apresentar uma aumento de câncer, mas sem provas conclusivas. Devido aos estudos apresentados limitou-se os campos magnéticos para exposições continuadas ao grande público ao valor de 0,5 mT, limite este fácil de ser obedecido.

Para campos eletromagnéticos de médias para altas frequências, como acima de 10 MHz, a SAR é usada para comparar efeitos de exposição. Neste intervalo de frequência a SAR é considerada como uma “taxa de dose” que é proporcional ao quadrado da

intensidade do campo elétrico local. O valor médio da SAR pode ser determinado inclusive por medidas calorimétricas, e sua distribuição medida por ponteiras no local em questão.

Diversos efeitos biológicos observáveis dependem da taxa de deposição de energia, onde por exemplo foi mostrado a relação entre aumento de temperatura retal e a energia absorvida. Também é importante salientar que a distribuição de energia não é uniforme e quantidades significantes de energia pode se depositar em regiões específicas, causando por exemplo efeitos cataratogênicos no olho, e por isso o estabelecimento de limites é muito importante.

Outros efeitos biológicos apresentam relações mais complexas, onde aparentemente não há relação entre dose-resposta. Entre estes efeitos o mais significativo é relacionado com o sistema imunológico, e o fluxo de íons de cálcio no cérebro. Efeitos mais difíceis de observar são os de longo termo, e não-térmicos, como os que podem ocorrer no sistema nervoso, na barreira Cérebro-Sangue, etc. O estado atual das pesquisas não é conclusivo para demonstrar a relação entre estes últimos efeitos e a SAR.

Por estes motivos, diversos órgãos em todo o mundo, preocupam-se em estabelecer normas e limites às radiações não-ionizantes. Para o público em geral, e exposições à frequências menores que 10 MHz, os limites devem ser menores que os para RF. Como os dados são de certa forma inconclusivos para baixas frequências, os limites adotados são conservadores. Isso reforça a necessidade de pesquisa adicional para se entender como as radiações eletromagnéticas interagem com o sistema biológico vivo, e principalmente quais são os efeitos “fracos” (não-térmicos) no ser humano.

Devido a complexidade do assunto, foi acrescentado uma revisão bibliográfica detalhada com informações adicionais sobre efeitos estáticos, de baixa e alta frequência da interação das radiações não ionizantes em animais e seres humanos.

## **7. - BIBLIOGRAFIA CITADA NO TEXTO**

- [1] -Mosely,H. - “Non-Ionising Radiation” Medical Physics Handbook 18, Adam Hilger, 1988.
- [2] -Hospital Physicists’ Association - “Practical Aspects of Non-Ionising Radiation Protection” - Conference Report Series - 36, 1982
- [3] Ramo,S. Whinnery,J. & Duzer,T. “Fields and Waves in Communication Electronics” John Wiley Inc. - 1969.
- [4] -Durney, C.H.- “Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques” Proc. IEEE 68, 33, 1980)
- [5] -Moulder, J. “Powerlines and Cancer FAQs“ <http://www.mcw.edu/gcrc/..> Versão Junho 1997.
- [6] -NRC - USA “Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields” 10, (1996).

- [7] -Michaelson,S.M.- “Human Exposure to Nonionising Radiant Energy - Potential Hazards and Safety Standards” Proc. IEEE vol. 60, 4, 389-421 (1972)
- [8]- Bernhardt,J.H.- “Non-ionising Radiation Safety: RF Radiation,Electric and Magnetic Fields” Physics on Medicine and Biology, vol 37,4,807-844, (1992)
- [9] -Salles, A.A “Riscos à Saúde Provocados pelos Telefones Celulares” EGATEA, Revista da Escola de Engenharia UFRGS, vol.24, num. 1, pp7-16 (1997)
- [10]- Wertheimer,N e Leeper,E. “Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer” Am. J. Epidemiol. 109,273-284 (1979).
- [11]-Verschaeve,L. -“Can Non Ionizing Radiation Induce Cancer?” “ The Cancer Journal, vol. 8, 1-21 (1994).
- [12]- Bronzino, J.D.(ed.) -“The Biomedical Engineering Handbook” CRC Press & IEEE Press, 1995, Section IX.
- [13]- IEEE/ANSI C95.1 -1992 “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz” IEEE Inc. N.Y. 1992.
- [14]- Schnorr, T.M. “Video Display Terminals and the Risk of Spontaneous Abortion” The New England Journal of Medicine, Vol. 324, pp 727-733, (1991).
- [15] -Kritikos H. e Schwan H.P. “Potential Temperature Rise Induced by Electromagnetic Field in Brain Tissues” IEEE Trans. Biomed. Eng. **12**, p.593 (1978).
- [16] -Saunders R.D. , Kowalczuk C.I. “The Effect of Acute Far Field Exposure at 2,45 GHz on the Mouse Testis” Int. Jour. Radiat. Biol. Vol.39, 587, (1981).
- [17]- Michaelson, S.M. “Health Implications of Exposure to Radiofrequency microwave Energies” Br. Jour. Industr. Med. **39**, 105, (1982).
- [18] - Lamarsch J.R. “Introduction to Nuclear Engineering” Addison Wesley, (1975)
- [19] - Cohen,B.L. Lee I.S. “Catalogue of Risks Extended and Updates” Health Physics, Vol. 61 Sept. (1991).
- [20] - Martens,L. et al. “Calculation of the electromagnetic fields induced in the head of an operator of a cordless telephone” Radio Science, vol. 30, n° 1 (1995).
- [21] - Toftgard,J. et al, “Effects on Portable Antennas at the presence of a Person”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.41 n°6 (1993)
- [22] - Jensen,M.A. et al. “EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications. Proc. IEEE vol. 81 n° 1, pp7-17 (1995)
- [23] - Tell,R.A. et al. “Population Exposure to VHF and UHF Broadcast Radiation in the USA” Proc. Of the IEEE 68(1):6-12 (1980)
- [24] - United Nations Environmental Programme / WHO/IRPA “Environmental Health Criteria 16. Radiofrequency and Microwaves.” WHO - Genebra 1981
- [25] - IRPA Guidelines “Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz” Health Physics, Vol. 54, N°1, pp 115-121, 1988.
- [26] ] - IRPA Guidelines “Guidelines on Limits of Exposure to 50 / 60 Hz Electric and Magnetic Fields”. Health Physics, Vol. 58, N°1, pp 113-122, 1990
- [27] - IRPA - 1991 “Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination” Health Physics. 58,113-122,(1991).