

MICROONDAS

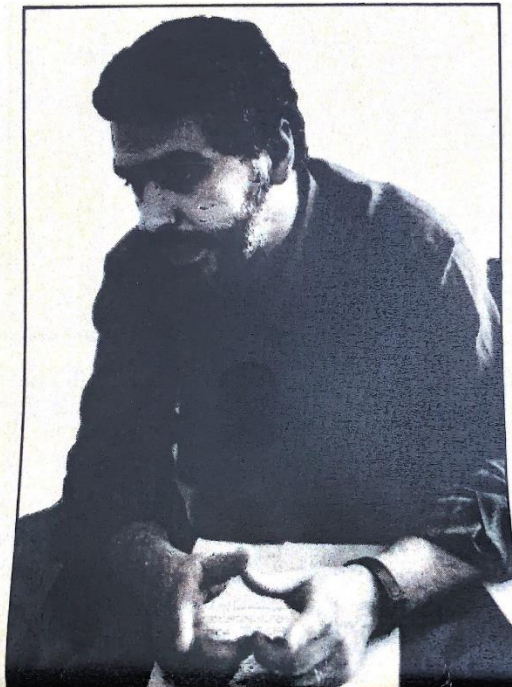
Os efeitos biológicos da radiação

Polêmico tema sobre irradiação é analisado neste artigo, escrito especialmente para o IPESI, revelando a preocupação de países como União Soviética e a posição oficial do IEEE.

*Wilton Fleming**

Nos últimos anos tem havido muita discussão a respeito dos efeitos da radiação de micro-ondas em seres humanos. O principal motivo de toda a polêmica é a falta de concordância entre os vários pesquisadores e instituições na definição do nível de segurança para exposição a esse tipo de radiação. A divulgação de pesquisas na União Soviética e Europa Oriental, definindo níveis de proteção da ordem de 1000 vezes menores do que aqueles adotados inicialmente nos Estados Unidos (os níveis russos para proteção da população são menores que 1 microW/cm^2), contribuiu para aumentar a preocupação, e a fobia, em tudo que se relacionasse à micro-ondas.

Em meados da década de 70 a controvérsia tornou-se de domínio público quando Paul Brodeur, um jornalista, publicou o livro "Zapping of America: Microwaves, their deadly risk and Cover up".



(*) Wilton Fleming

técnico pela Escola de Eletrônica de Santa Rita do Sapucal (MG),

engenheiro eletrônico pela Fundação Vale Paraibana de Ensino de São José dos Campos (SP) e mestrado em eletromagnetismo pelo Instituto de Pesquisas Especiais (Inpe). É atualmente chefe do Departamento de Engenharia de Microondas e RF da Divisão de Radar e Microondas da Tecnasa Eletrônica Profissional, de São José dos Campos.

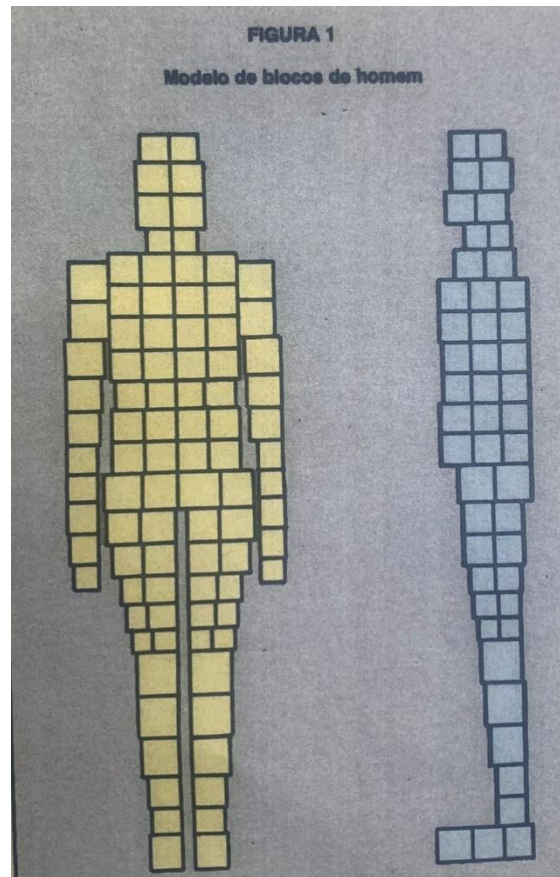
Segundo o Sr. Brodeur, cada homem, mulher e criança dos Estados Unidos estava exposto a algum tipo de malefício causado pelas radiações de micro-ondas. O sensacionalismo de tal trabalho é exemplificado pela seguinte frase : “...nós estamos vivendo sob uma espada de Damocles eletrônica, e não temos nenhuma idéia de como tal radiação pode nos afetar ou afetar as próximas gerações (Paul Bro-deur, Zapping of America, W. W. Norton Co, 1977). Em 1982 o IEEE se manifestou posicionando-se com respeito ao perigo da exposição pública à radiação de micro-ondas. Segundo o IEEE, "não existe causa para preocupação com relação aos níveis ambientais de radiação de Micro-ondas aos quais a população em geral está exposta (IEEE Position Paper, Human Exposure to Microwave and others Radiofrequency Eletromagnetics Fields, adopted 1n 1982).

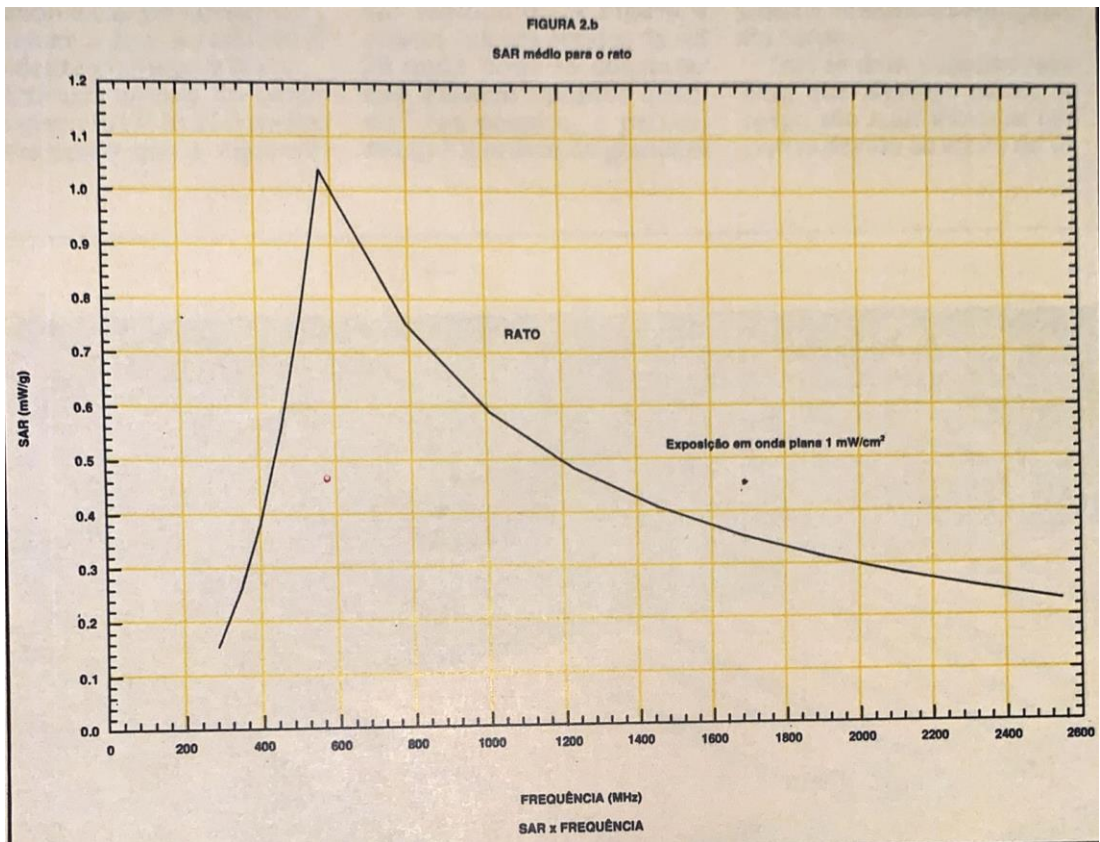
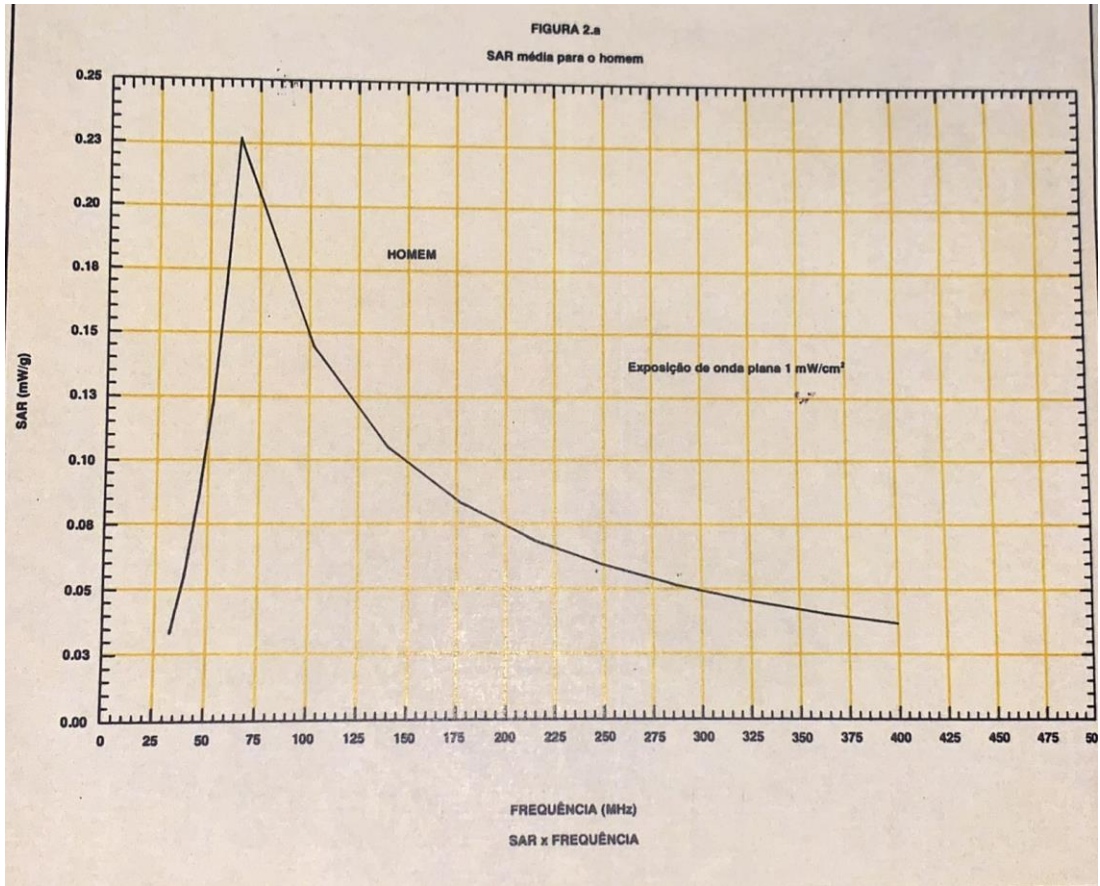
Estudos realizados nos *Estados Unidos*¹¹ mostraram que o cidadão normal está exposto à níveis muito baixos de radiação de micro-ondas. Considerando-se as fontes artificiais, onde pode-se listar as estações de rádio (principalmente FM), televisão e os "links" de micro-ondas, o nível de exposição nas grandes cidades, para mais de 99% da população, é menor que 1 microW/cm^2 . Verificou-se também que em áreas onde existe iluminação direta de edifícios por estações de FM (responsáveis pela maior parte das irradiações) é raro encontrarem-se valores acima de 100 microW/cm^2 . Nas populações rurais os níveis são ainda menores.

A preocupação maior, contudo, reside na análise da porcentagem de pessoas que necessariamente são expostas à níveis maiores de radiação por motivos profissionais ou localização próxima de emissores potentes. O estudo deste tipo de problema envolve áreas de especialização de várias disciplinas, as quais incluem engenheiros; médicos, biólogos, físicos, etc. Os primeiros experimentos sofreram da inevitável falta de comunicação e/ou métodos apropriados de pesquisa. Erros foram cometidos quando engenheiros decidiram fazer experimentos biológicos e biólogos acreditaram que podiam fazer medidas em micro-ondas. O resultado de toda essa confusão é que os biólogos classificaram os engenheiros como pessoas que, decididamente, não poderiam entender de biologia, e os engenheiros colocaram em dúvida a competência metrológica dos biólogos. Contudo, o aspecto positivo dessa interação foi a criação, em 1978, da Sociedade de Bio-eletromagnetismo, devotada ao estudo do eletromagnetismo em sistemas biológicos.

Neste trabalho será feita uma análise geral, e uma revisão dos níveis de proteção atualmente adotados, visando-se a segurança ocupacional dos indivíduos que

necessariamente são expostas à radiação de micro-ondas. Neste grupo incluem-se os técnicos de radares e radiodifusão, os trabalhadores que operam máquinas que utilizam micro-ondas para produção de outros efeitos tais como calor, etc. Serão apresentados os processos de cálculo para determinação da densidade de potência, o efeito de blindagens, e comentários sobre os níveis de proteção adotados nos Estados Unidos e Europa Oriental.





DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE PROTEÇÃO – Dosimetria - A gravidade dos prejuízos que as radiações podem provocar no tecido vivo depende do tipo de radiação, do tempo de exposição e, evidentemente, da intensidade da radiação. As duas principais categorias de estudo são as radiações ionizantes e não-ionizantes: a primeira compreende as radiações cuja energia é suficiente para adicionar ou arrancar elétrons de moléculas inicialmente neutras. Essas radiações são as mais perigosas, sendo exemplos mais comuns a radiação de partículas, os raios X e os raios gama. As radiações não ionizantes incluem a luz visível e a luz ultravioleta, as ondas de rádio e as radiações de micro-ondas.

A tarefa de definir um nível de proteção de radiação de micro-ondas para seres humanos não é fácil. Praticamente toda a literatura sobre o assunto provém de trabalhos de laboratório realizados em animais, e a extrapolação para seres humanos não pode ser feita diretamente. Esta precaução não é consequência apenas das diferenças fisiológicas, mas também das diferenças da forma e dimensões físicas das espécies. Reações adversas em animais não provam efeitos adversos no homem e, por outro lado, a falta de reações não prova que o homem não será afetado. Deve-se considerar ainda que os animais são escolhidos, quase sempre, por conveniência, economia ou familiaridade, sem levar em conta sua adequabilidade ao estudo do problema.

A confiabilidade de testes de laboratório deve ser preservada e, principalmente, deve ser possível a repetição por outros pesquisadores. O controle das condições ambientais e/ou interação psicossocial é fundamental para obtenção de conclusões válidas, e para evitar que efeitos indiretos ou secundários mascarem os resultados. Por exemplo, em estudos de respostas de células em cultura, variações de temperatura menores que 1 grau entre o grupo de controle e o grupo irradiado podem levar a erros de interpretação. É possível medir variações em células quando elas não são partes integrantes de um sistema vivo; contudo não é correto extrapolar esses resultados para o organismo intacto, onde as células terão uma relação diferente com outras células, serão submetidas a outros ciclos e estarão rodeadas de outros sistemas com diferentes sensibilidades e capacidade de proteção.

Um aspecto importante do estudo biológico das radiações de micro-ondas é o desenvolvimento da técnica de dosimetria teórica. Como o homem não pode ser irradiado, deve-se procurar modelos e soluções teóricas que permitam calcular a absorção das ondas eletromagnéticas. Vários métodos de cálculo já foram usados para obtenção de soluções práticas, de acordo com as faixas de frequências. Nesses estudos o corpo humano já foi simulado por modelos que variam desde esferoides alongados e cilindros multicamadas, até modelos de blocos como o que é mostrado na *Figura 1*²¹.

O principal parâmetro calculado nos estudos de dosimetria é a Taxa de Absorção Específica (SAR na sigla em inglês). A SAR é geralmente dada em W/kg. A

SAR Média é a razão de variação da energia total absorvida pelo corpo, dividido pela massa total do corpo. A SAR local é uma relação pontual que descreve a variação de energia absorvida em volumes diferenciais do corpo.

Há 20 anos era desconhecido dos pesquisadores a diferença de SAR para absorvedores de diferentes tamanhos, e os efeitos biológicos em função da frequência, polarização de onda, e permissividade específica. A Figura 2, mostra a variação da SAR média em função da frequência para modelos esféricos do homem e do rato, em polarização com o campo E paralelo à maior dimensão do espécimen. Note-se que extrapolar o nível de fenômenos para o homem, a partir de resultados com animais, sem considerar a relação de dimensão, pode resultar em grandes erros. Por exemplo, se determinado efeito biológico no rato ocorre na faixa de frequências em torno de 500 a 800MHz (onde a SAR é máxima), a faixa correspondente para o homem estará situada entre 60 a 125 MHz.

A Figura 3²¹, mostra um resumo das técnicas usadas no cálculo da SAR média, usando modelos do homem nas condições de irradiação em espaço livre. Os métodos numéricos são restritos às faixas de baixas em espaço livre. Os métodos numéricos são restritos às faixas de baixas frequências porque em altas frequências deve-se modular o corpo com um grande número de células de cálculo, o que dificulta o processo de inversão de matrizes inerentes a esse método. Os métodos numéricos tem ainda a propriedade de salientar melhor as ressonâncias, e quantificações locais da SAR.

Os métodos analíticos, embora mais elegantes, não representam muito bem o corpo humano em termos de braços e pernas, devido à necessidade de simplificação dos modelos.

Os resultados da Figura 2 e 3 permitem verificar a existência de uma frequência de ressonância para o corpo humano. O valor dessa frequência 0,40, onde $L/l = 0,36$ A 0,40, onde L é o maior comprimento do corpo (altura) e l é o comprimento de onda no vácuo da radiação incidente.

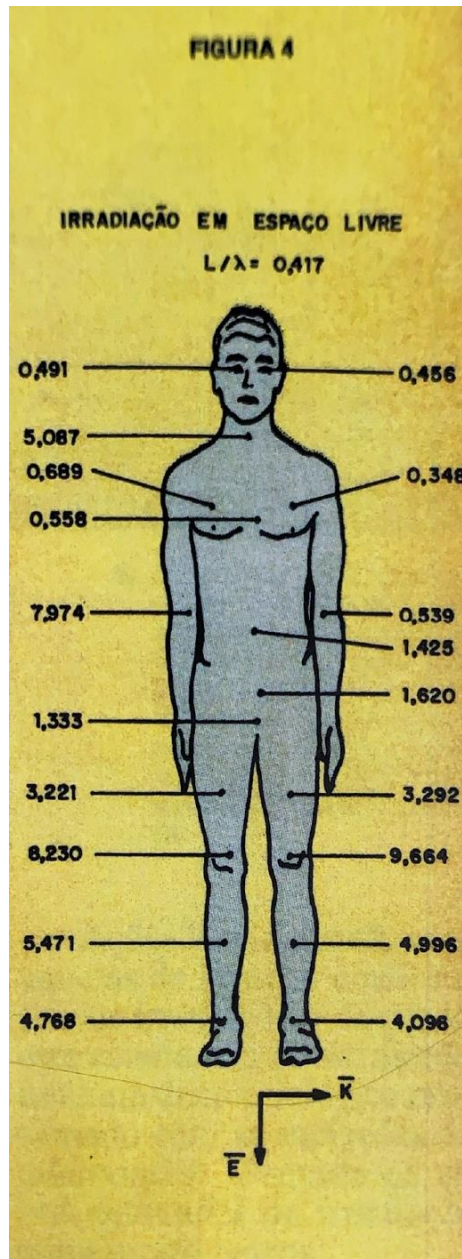
Verificou-se também que a maior absorção é obtida quando o campo elétrico está paralelo a L e a radiação é incidente de braço a braço.

Existem partes do corpo em que a SAR local é muitas vezes maior que o valor médio calculado. A Figura 4 mostra valores obtidos da ref 20 onde pode-se constatar que existem "pontos quentes" (ex pescoço e pernas) em que a ordem de grandeza é de 5 a 10 vezes a SAR média do corpo.

Não se deve esquecer também que algumas partes do corpo são mais afetadas que outras devido ao efeito de variação de penetração das ondas eletromagnéticas de acordo com a frequência (efeito pelicular). A Tabela I apresenta um resumo da distribuição de absorção, de acordo com a faixa de *Frequências*²².

Outro aspecto a ser considerado são as ressonâncias existentes. Na cabeça, por exemplo, verificam-se ressonâncias para frequências cujo comprimento de onda no ar seja igual a 4 vezes a circunferência média do crânio. Para um adulto normal, isso resulta em valores em torno e 350 a 400 MHz.

Com a finalidade de simplificação, fórmulas empíricas foram desenvolvidas para descrever o comportamento da SAR média no corpo humano (20). Essas expressões são apresentadas na Tabela II. Os gráficos da Figura 2 foram obtidos a partir dessas expressões, através de um programa de computador em BASIC. Deve-se ainda comentar que em animais os níveis de SAR são maiores que os calculados pelas expressões da Tabela II. Ghandi relata valores 59% superiores aos calculados, quando foram irradiados ratos e coelhos de 25g a 2550g.



Distribuição de deposição de potência para o homem sob irradiação no espaço livre. Os números indicados são relativos à SAR média do corpo 10 mW) de campo Incidente. (L= altura do homem)

Obs: O termo S_{res} , definido pela equação 4, é denominado Seção reta de Absorção relativa e representa a relação entre a seção reta efetiva de absorção apresentada pelo corpo à radiação incidente e a sua área física. Em um adulto mediano o seu valor é da ordem de 4.2

O estudo da dosimetria, longe de estar em posição conclusiva, deve ainda se dirigir para os efeitos de aumento da temperatura produzido pela SAR. Contudo os resultados obtidos já permitem tirar conclusões importantes para definição comparativa dos níveis de influência biológica. Adicionalmente os cálculos para campos próximos e dos fatores de absorção a partir dos campos presentes no

espaço a ser ocupado pelo corpo deverão fornecer dados mais precisos para dimensionamento mais realísticos dos níveis de potência.

EFEITOS TÉRMICOS E NÃO-TÉRMICOS - É muito difícil em alguns casos determinar se os efeitos biológicos produzidos pela radiação de micro-ondas são devidos aos campos em si ou simplesmente devido ao aumento de temperatura. É conhecido, por exemplo, que a indução de mutação aumenta com a temperatura. Portanto nos efeitos de mutações produzidos por altas densidades de micro-ondas, que são essencialmente térmicos, o fator dominante pode não ser a irradiação de micro-ondas como tal, mas o aumento de temperatura por ela produzido. Ou seja, acredita-se que os mesmos efeitos seriam verificados se a fonte de calor fosse outra.

Entre outros resultados apresentados na literatura, a Tabela III define efeitos térmicos importantes produzidos em animais pela radiação de alta frequência (6). Note-se que a mortalidade é obtida em quase todos os casos de alta exposição.

Os efeitos não-térmicos da radiação de microondas não estão suficientemente estudados, e a preocupação com eles originou-se a partir dos resultados divulgados na União Soviética, que relatavam efeitos biológicos em níveis baixos de irradiação. A Tabela IV apresenta alguns desses resultados. Os valores da Tabela IVa foram obtidos em períodos anteriores a 1973, conforme relatados por Mcree (10).

Outro fator que deve ser também verificado são os efeitos a longo prazo. Não existe nenhum estudo controlado desse tipo em animais e, principalmente em seres humanos. Poucos estudos epidemiológicos foram feitos até agora (9) e os resultados obtidos não são conclusivos. Os grupos humanos monitorados são principalmente aqueles de áreas militares que operam radares e sistemas de microondas. Contudo, é difícil fazer-se uma correlação entre os fenômenos biológicos das radiações de microondas e a vida médica dos indivíduos por falta de registros sistemáticos.

Um dos estudos existentes utilizou o incidente da embaixada americana em Moscou, onde sabe-se que o prédio foi irradiado por microondas no período de 1953 a 1976. Nesse caso foi possível fazer-se um rastreio das pessoas envolvidas e comparação com outros grupos vivendo sob as mesmas condições ambientais (os grupos de controle foram escolhidos nas embaixadas de Leningrado, Budapeste, etc. que apresentavam condições locais semelhantes aquelas de Moscou, e não sofreram irradiações). Segundo este estudo não foi verificado nenhum dano fisiológico relacionado com as radiações de microondas. Contudo os níveis estimados de irradiação eram muito baixos.

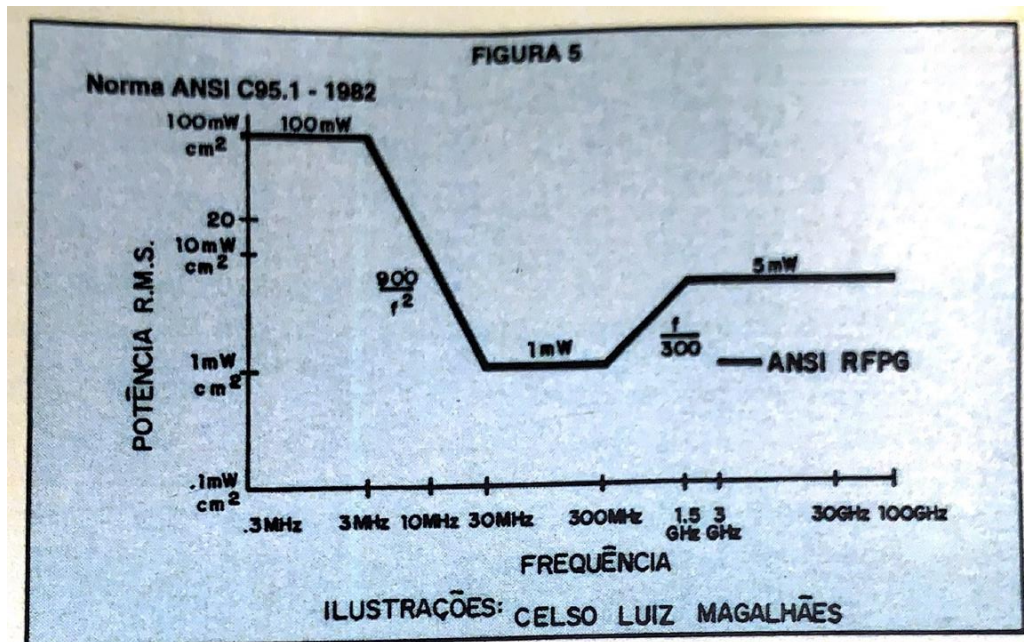


Figura 5 - NORMA ANSI C95.1 - 1982

Notas: 1) Média da exposição para o corpo todo durante 0.1 horas.

2) Campos elétricos e magnéticos devem ser medidos separadamente para exposição em campos próximos.

3) Para campos de faixa larga ou múltiplas frequências para as quais existem diferentes valores de proteção, a fração de cada intervalo de frequência deve ser calculado e a soma de todas as frações não deve ultrapassar a unidade

A NORMA ANSI C95.1 – 1982 – Apesar de todas essas dificuldades, e falta de informação sobre experimentos em seres humanos, o ANSI (Instituto Nacional Americano de padrões) fez uma revisão de centenas de artigos entre os 6000 existentes até 1982 e emitiu a norma C95.1 - 1982. Dos 35 artigos escolhidos, nenhum mostrou evidência de catarata, ou efeitos genéticos em animais submetidos a níveis de até 10 mW/ cm². Contudo, não foi escolhido nenhum estudo que tratasse de seres humanos.

TABELA I

Resumo da influência biológica de acordo com a faixa de frequências

Frequência (MHz)	Local de Maior efeito Biológico
100	Não estabelecido - provavelmente o corpo todo
150 a 1200	Orgãos internos
1000 a 3300 (*)	Lentes dos olhos
3300 a 10000	Camadas superiores da pele, Lentes dos olhos
10 a 100 GHz	Pele **

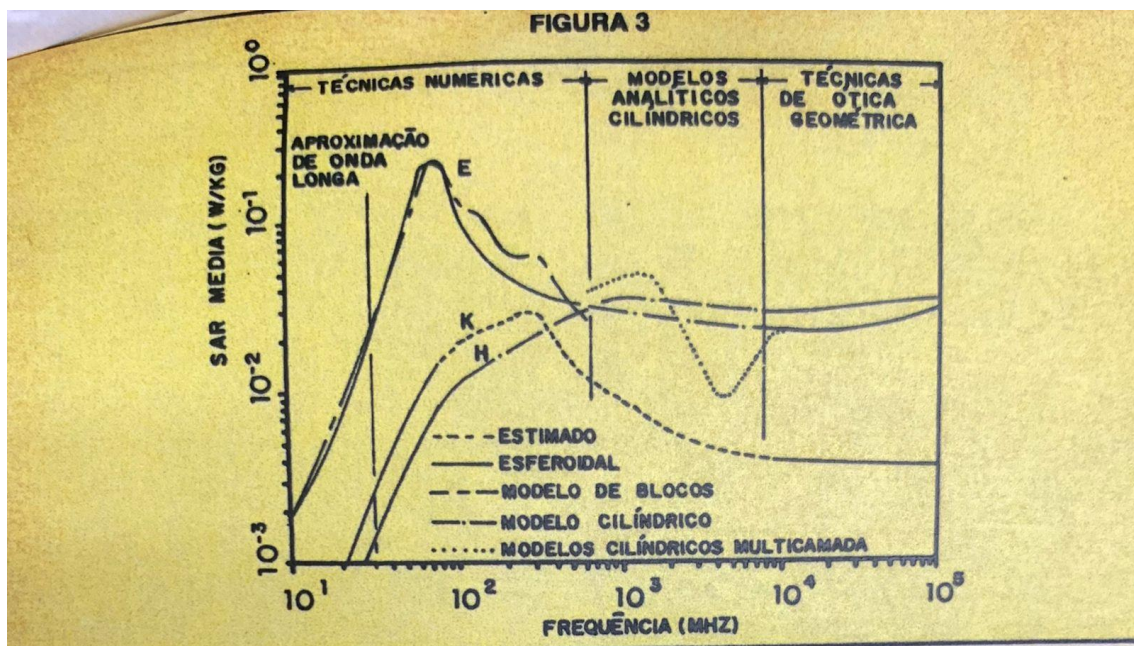
A Tabela V e a Figura 5 resumem os níveis de proteção da C95.1-1982 e outros valores adotados por organizações americanas e russas (3,22).

Os valores da Tabela V merecem ser comentados, especialmente quando se consideram as discrepâncias com os níveis adotados pelos soviéticos. Vários fatores contribuíram para essa diferença. O principal motivo reside na diferença filosófica da consideração científica entre americanos e soviéticos. Nos Estados Unidos crê-se que a ciência é mais rigorosa, exigindo completa e absoluta verificação dos fenômenos. A confiabilidade, reprodutibilidade e dosimetria quantificada são ainda considerados critérios para aceitação e, qualquer falha em atender esses princípios pode eliminar a consideração dos estudos. Desse modo, segundo os americanos, vários efeitos relatados na Europa Oriental fora desconsiderado por falta de informação de parâmetros ambientais e medidas físicas. Além disso, seguindo um programa de cooperação Russo-Americano, vários engenheiros americanos visitaram a Rússia e verificaram que os pesquisadores soviéticos não usavam absorvedores em suas câmaras experimentais. Concluiu-se, portanto, que as reflexões de radiações estariam produzindo erros de leitura de campos a que os animais estariam submetidos, o que justificaria a grande discrepância de níveis comparadas com os valores americanos. Essa variável foi, contudo, eliminada posteriormente pelos soviéticos pela utilização correta dos absorvedores. Deve-se comentar também o fato relatado por Mcree de que resultados não reproduzidos inicialmente nos Estados Unidos vieram a sê-lo quando uma equipe americana acompanhou por várias semanas em laboratórios soviéticos os procedimentos e métodos de determinado experimento russo. Nessa experiência, em particular, os efeitos biológicos observados foram de alteração da química do

sangue de cobaias indicando, entre outros fenômenos, níveis altos de sódio e níveis baixos de potássio. As variações ocorreram para densidades de potência irradiadas de 500 microW/cm² (CW em 2375 MHz) para exposições de 7 horas por dia, durante 30 dias.

Por outro lado, o conhecimento das causas dos fenômenos era considerado essencial para aceitação dos mesmos. Esse conceito implicou no princípio quase universal que o único efeito prejudicial da radiação de microondas nos sistemas biológicos era o aquecimento. Outros fenômenos relatados, que ocorriam sem produção de calor, eram considerados não reproduzíveis, não qualificáveis e de natureza desconhecida. Desse modo, as normas anteriores a C95.1 - 1982 eram essencialmente térmicas, definindo como nível de referência para proteção o valor de 10 mW/cm².

Felizmente isso mudou e o conhecimento das causas não é mais um fato essencial para verificação e adoção dos estudos. Os dados provando a existência dos fenômenos não térmicos alterou substancialmente os valores considerados seguros, reduzindo-os em até 10 vezes em relação aos níveis anteriormente adotados pelos Estados Unidos.



Métodos analíticos usados no cálculo da SAR para modelos do homem médio irradiado por uma onda eletromagnética plana de 1 mW/cm^2 .

E, K e H definem as polarizações nas quais o vetor campo elétrico incidente, o vetor de propagação, e o vetor campo magnético, respectivamente, são paralelos ao maior eixo do corpo.

Outro fato a considerar é que do ponto de vista americano (ou econômico), a abrangência do termo "malefício produzido pela radiação de microondas" é muito restrito; só são classificados nesta definição os efeitos que apresentam

evidências permanentes de prejuízos fisiológicos. Os russos, por sua vez, incluem na definição de malefícios desde dor de cabeça e tonturas, até modificações do comportamento, e danos fisiológicos. Qualquer efeito menor que cause desconforto deve, segundo eles, ser levado em consideração.

Quanto ao nível de proteção previsto para os fornos de microondas, que é um assunto de interesse da população em geral, sabe-se que: estudos realizados por pesquisadores soviéticos (10) com radiação de microondas de 12 cm (2500 MHz) de comprimento de onda mostraram distúrbios de respiração e fosforização de mitocôndrias do fígado de ratos. Os experimentos foram feitos em seis grupos, com níveis de densidade de potência variando de 50 a 1000 microW/cm² irradiados 3 vezes ao dia em períodos de 40 minutos, durante 4 meses. Segundo os pesquisadores russos esse regime corresponde às condições operacionais de um forno de microondas doméstico.

Uma extrapolação desses resultados para o caso do ser humano pode ser feita com base nos resultados do gráfico da Figura 2:

a) comparação direta entre as SARs- a SAR para o rato em 2500 MHz é da ordem de 0,22 mW/g (SAR_r) e para o homem é da ordem de 0,04 mW/g (SAR_h). Esse valor foi obtido por extrapolação da Figura 2-a, baseado no comportamento lento que pode ser observado na Figura 3. Portanto, a densidade de radiação que provocaria a mesma absorção no homem é, considerando a irradiação de 50 microW/cm²:

$$Sh = 0.22/0.04 * 50 = 275 \text{ microW/cm}^2$$

b) comparação levando em consideração as características de ressonância das curvas - nesse caso deve-se procurar na curva do homem a mesma posição relativa que ocupa a frequência de 2500 MHz na curva do rato. Isso é feito através da relação

$$L_h/I_h = L_r/I_r$$

Onde L_r = maior dimensão do rato (20 cm)

L_h = maior dimensão do homem (175 cm)

I_r = comprimento de onda para a frequência de irradiação do rato (12 cm s 2500 MHz)

I_h = comprimento de onda para a frequência de irradiação equivalente no homem.

ou seja: $175/I_h = 20/12$, que resulta

I_h = 1.05 metros. Esse valor corresponde frequência de 286 MHz.

Para calcular a densidade de potência a 286 MHz que produz a mesma SAR média no homem, equivalente a obtida no rato em 2500 MHz, utilizam-se as curvas da Figura 2. Em 2500 MHz a SAR média no rato é de aproximadamente 0,22 mW/g para 1mW/cm² e, conseqüentemente de 0,011 mW/g para 50 microw/cm². A 286 MHz a SAR média do homem é de aproximadamente 0,04 mW/g para 1mW/cm². Portanto, será necessário 225 mW/g (0,22/0,05*50) para produzir 0,011 mW/g. Esse seria o valor esperado para verificação das mudanças químicas no sangue do homem.

Note-se que os dois procedimentos de cálculo fornecem valores que estão muito abaixo daqueles previstos pelas normas americanas da Tabela V.

Apesar de todas essas diferenças de julgamento, a própria C95.1-1982 já apresenta alterações de valores de proteção em certas faixas do espectro, quando comparada com a sua antecessora, a C95.1-1974. Na faixa de 30 a 300 MHz, o nível de proteção foi reduzido de 10 mW/cm² para 1 mW/cm². Isto é consequência de estudos sobre a SAR, que indicaram a variação de absorção de energia do corpo humano dependendo das faixas de frequências da irradiação. Os novos padrões, que consideram a um SAR e não somente a densidade de potência incidente levaram a conclusão que era preciso baixar o nível incidente nas faixas citadas, para garantir a proteção. Os níveis indicados, conforme descrito na observação 2 da Tabela V, 1 de consideram o valor de SAR de 0,4 W/Kg, o que representa um fator de proteção com relação a SAR do homem de (ver Figura 2.a). De qualquer que forma, os valores apresentados na C95.1-1982 ainda são valores médios obtidos para não a irradiação no corpo como um todo. Os valores de picos, encontrados em determinadas partes e órgãos foram diluídos no valor médio. Deve-se lembrar também que vários trabalhos salientam o aumento do valor da SAR quando a exposição é feita perto de peças e estruturas metálicas (20,25,39,3).

Outras questões como, por exemplo, os efeitos de modulação de frequência e intensidade de pico ainda não foram respondidas porque não existia evidência aceitável (pelos moldes americanos) de que estas condições forneciam riscos que já não haviam sido considerados pelos valores médios definidos. O rigor na consideração do fenômeno científico ainda é uma barreira para alargar a abrangência da norma C95.1-1982.

Uma observação deve ser feita ainda com relação aos equipamentos de medidas que seguem a norma C95.1-1982. Devido aos valores diferenciados com respeito às faixas de frequências, os medidores devem ser normalizados, de modo que sua resposta de frequência seja uma função espelho daquela descrita pela norma (ver obs.3 na Tabela V) e apresente valores relativos.

Seja, por exemplo o caso de dois sinais incidindo no medidor com as seguintes características:

Sinal 1 $F = 2 \text{ MHz}$ $DP = 5 \text{ mW/cm}^2$

Sinal 2 $F = 200 \text{ MHz}$ $DP = 0,5 \text{ mW/cm}^2$

Um detector com resposta de frequência plana indicaria o nível de $5,5 \text{ mW/cm}^2$, o que criaria erros de interpretação para o sinal de 200 MHz . O medidor de valores relativos mostraria o valor de 55% , que corresponde a soma das porcentagens do sinal de 2 MHz (5%) e 200 MHz (50%) nos respectivos níveis de proteção de suas posições dentro das faixas da norma.

TABELA III
Efeitos Térmicos da radiação de Altas Frequências

Frequência	Animal	Intensidade	Duração da exposição	Observações
500 KHz	Ratos e coelhos	8000 V/m 160 A/m	—	Limiar para aumento da temperatura retal
50-500 Hz	camundongo	650000 V/M	1-2 horas	70-90% de mortalidade
50 Hz	camundongo	650000 V/M	1/2-4 horas	50% de mortalidade
14,88 MHz	Ratos e coelhos	2500 V/M	—	Limiar para aumento da temperatura retal
69,7 MHz	Ratos e coelhos	200 V/M	—	
14,88 MHz	Ratos	9000 V/M	10 min	100% mortalidade
	Ratos	5000 V/M	100 min	80% mortalidade
	Ratos	4000 V/M	100 min	25% mortalidade
69,7 MHz	Ratos	5000 V/M	5 min	100% mortalidade
	Ratos	2000 V/M	100 min	83% mortalidade
200 MHz	Cachorro	300 mW/cm ²	15 min	50% mortalidade
	Cachorro	200 mW/cm ²	21 min	25% mortalidade
200 MHz	Coelhos	165 mW/cm ²	30 min	100% mortalidade

OUTROS EFEITOS BIOLÓGICOS OBSERVADOS - A seguir será apresentado um pequeno resumo de outros efeitos biológicos importantes verificados na exposição à radiação de micro-ondas.

a) O Efeito auditivo - nos anos 60 já havia sido verificado que homens e animais eram capazes de "ouvir" radiação de microondas pulsada com potências tão baixas quanto 30 microW/cm^2 se a potência de pico fosse 60 mW/cm^2 mínimo. Os sons eram percebidos como "cliks" ou zumbidos e pareciam se originar de dentro ou próximos do crânio. Existem relatos de experimentos em que cobaias procuravam fugir da irradiação pulsada e não se incomodavam quando a radiação era CW (5). A explicação para isso é que o efeito auditivo provocava sons que perturbavam as cobaias.

Estudos posteriores (5) comprovaram que os seres humanos percebem uma sensação sonora quando a cabeça é exposta a sinais de microondas modulados por pulsos retangulares. A resposta em animais foi confirmada por experimentos em que um condicionamento com sinais de áudio era feito e a atividade eletrofisiológica correspondente observada, e gravada a partir de eletrodos colocados em porções centrais e periféricas do sistema auditivo. A substituição do sinal de áudio por radiação de microondas pulsada apresentava os mesmos resultados eletrofisiológicos nos pontos de monitoração, indicando que realmente havia sido criada a sensação auditiva. Embora inicialmente a não linearidade dos sistemas biológicos fosse considerada como causa do aparecimento do efeito auditivo, foi demonstrado que efeitos termo-elásticos aliados ao fenômeno de condução óssea seriam os mecanismos mais prováveis (5). Uma análise detalhada dos sinais acústicos gerados na cabeça de animais e homens expostos a radiação foi feita, considerando-se modelos esféricos de matéria cerebral. Foi sugerido que variações minúsculas ($10^{-6} \text{ }^\circ\text{C/S}$), porém rápidas de aumento de temperatura (10 microseg) cria expansões termo-elásticas na matéria cerebral, a qual lança uma onda de pressão que, por condução óssea chega à cóclea, onde é detectada. A frequência do som é função somente das dimensões da cabeça, e das propriedades acústicas dos tecidos, e não depende das características de absorção e frequência da radiação de microondas incidente (37). Previu-se também que, para percepção auditiva, o indivíduo adulto deve ser capaz de ouvir sons entre 5 e 8 kHz. Ghandi (18) mostrou também que em frequências mili-métricas a contribuição do efeito de eletrostrição pode ser até maior que o efeito termoelétrico nos fenômenos auditivos produzidos pela radiação pulsada de micro-ondas. A Tabela VI(8). apresenta resultados teóricos, obtidos a partir das considerações anteriores, com previsão dos níveis de limiar para percepção auditiva de radiação pulsada. O parâmetro T representa a duração dos pulsos em segundos.

b) O efeito na Barreira Cérebro-Sangue - os capilares dos cérebros de mamíferos normalmente apresentam uma resistência seletiva à passagem de certas moléculas, diferentemente do comportamento da maior parte dos outros capilares no organismo. As células que formam a maioria desses capilares cerebrais estão anatomicamente muito próximas, reduzindo o efeito de porosidade. Essa

característica é medida pelo "efeito de vedação das junções (tight junction)" das células. Esse conjunto anatômico e fisiologicamente definido é conhecido por Barreira Cérebro-Sangue (Brain Blood Barrier, BBB, em inglês) e, acredita-se, tem importante função na regulação do ambiente fluido do cérebro dos mamíferos. Embora todas as suas funções não estejam totalmente compreendidas sabe-se que o seu comportamento é o de uma membrana permeável seletiva. Agentes estranhos, como anestésicos, barbitúricos, drogas antidepressivas, hipnotismo, sobrecarga térmica, e algumas enfermidades, podem alterar a permeabilidade da barreira. Resultados de estudos preliminares apresentaram também as radiações de micro-ondas como um agente de alteração da barreira. Isso não seria inesperado considerando-se o efeito térmico das radiações. Contudo a polêmica foi formada porque os primeiros resultados indicavam a presença dos efeitos em níveis que variavam de 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Estudos posteriores (4,32) mostraram que não havia garantia para se concluir que exposições à baixos níveis de radiação de micro-ondas por curtos períodos poderia prejudicar a função cérebro-vascular. Contudo, não existem estudos em longos períodos de exposição, e a questão está em aberto.

c) Inexplicáveis respostas do homem aos sinais de radar (23) "angústia" epigástrica, aflição emocional, e náuseas podem ocasionalmente ocorrer em níveis de 5 a 10 mW/cm^2 , e estão comumente associados com a frequência de 8 a 12 GHz. Esses efeitos são estranhos, visto que nessa faixa de frequências a absorção ocorre quase que totalmente na pele. Infelizmente não existe confirmação dos níveis de potência irradiados. Os efeitos foram aqui citados devido à credibilidade da fonte de referência (Marinha Americana).

d) Alterações Físico-Químicas - em um trabalho (17) apresentado na reunião anual da Sociedade de Bio-eletromagnetismo (Jun 1985) o Dr. Hanson, da Universidade de Gotemburgo, Suécia, apresentou resultados que podem causar preocupação entre os engenheiros e técnicos que trabalham com microondas. Ele concluiu, após dez anos de estudos, que existe um aumento da incidência de problemas de retina em trabalhadores envolvidos com radares.

Adicionalmente experimentos (irradiação de 2.45 GHz, com níveis de 10 mW/cm^2 , PRF de 100 Hz, e largura de pulso de 10 μseg) em macacos e coelhos mostraram a existência de proteínas ácidas (PI 4.0 para os coelhos e PI 4 para os macacos) no cérebro e líquido cerebrospinal, vários meses após a exposição. A existência dessa proteína, cujo processo de proliferação ainda não está explicado, indica que o equilíbrio normal das células do sistema nervoso foi alterado pela radiação de microondas.

Similarmente, um tipo de célula equivalente, a PI 4.1, foi encontrada em grupos de engenheiros e técnicos que prestam serviço na estação de radar da OTAN em Gotemburgo. Foram examinadas 32 pessoas, e dois terços apresentaram a presença da proteína. O terço restante era composto de gerentes e pessoas que foram expostos à níveis muito baixos de microondas.

Hanson salientou também que em vários casos associados proteína PI 4.1, verificou-se a síndrome do lóbulo frontal, que se manifesta por dificuldade de concentração, perda momentânea de memória e dificuldade de realizar as tarefas. Efeitos semelhantes já foram relatados por outros pesquisadores como consequência da radiação pulsada de microondas (2).

Finalmente Hanson concluiu que a faixa de frequências mais preocupante está entre 800 MHz e 3,5 GHz, possivelmente porque em frequências maiores existe maior dificuldade de penetração na pele. (Esta conclusão está de acordo com o que foi descrito na Tabela I, no item 2.1).

Foi mostrado também que as radiações pulsadas parecem ser as mais danosas do que as CW de mesma potência. Nos experimentos com os macacos, somente o grupo exposto à radiação pulsada apresentou as proteínas ácidas.

e) Alterações neurológicas - as membranas dos sistemas biológicos têm, em geral, uma espessura de 10^{-6} cm e suportam diferenças de potenciais de 100 mV, resultando em campos da ordem de 10^9 V/m. Macgregor(44) apresentou um estudo onde é feita a previsão teórica da indução de tensões da ordem de milivolts nas membranas das células, para irradiações de 10 mW/cm^2 (200 V/m nos tecidos) nas frequências em torno de 100 MHz. Isso seria, segundo ele, suficiente para provocar despolarizações nas membranas, e contribuir para os efeitos de distúrbios de comportamento já relatados por outros pesquisadores. A característica Passa-Baixas da resposta espectral da membrana inibe a extrapolação dessa explicação para faixas mais altas. Contudo, Frohlich (41) apresenta evidências que vibrações elétricas coerentes na faixa de 50 GHz a 3000 GHz, cuja existência já foi provada em micro-organismos, também existem nos tecidos em desenvolvimento, e tem importante papel no controle do crescimento. Irradiações nessa faixa podem produzir alterações negativas no processo biológico. Câncer pode ocorrer quando a frequência de vibração de um número suficiente de células é mudada.

É certo que uma verificação deve ser sempre feita para estabelecimento preciso de todos os efeitos, visto que a alta não linearidade dos fenômenos biológicos impõe grandes problemas de análise. Schwan(42), por exemplo, cita que a ação externa para reorientar longos biopolímeros exigiria altos valores de campo elétrico para concorrer com campos internos, que podem ser da ordem de $1,5 \text{ kV/m}$ à uma distância de 100 Angstroms para um íon monovalente ou $1,8 \text{ kV/m}$ à mesma distância de uma molécula de hemoglobina.

CÁLCULO DOS NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO - A densidade de potência em campo distante das fontes de Radiofrequência e microondas pode ser calculada pela expressão:

$$S = \text{EIRP} / 4 * \text{PI} * \text{R} * \text{R} \text{ onde, } \quad (5)$$

EIRP -potência efetiva isotopicamente irradiada. Esse valor é obtido multiplicando-se a potência de transmissão pelo ganho isotrópico da antena de transmissão

R -Distância da fonte emissora onde deseja-se calcular a densidade de potência.

S -Densidade de potência em W/m². O valor de S pode também ser representado por $S = E * H$, sendo E, H os valores eficazes dos campos elétrico e magnético.

$$\text{PI} = 3.14$$

Na Expressão 5 deve-se salientar ainda o seguinte:

- 1) embora não rigorosamente, ela pode ser usada como referência de cálculo em distâncias próximas da fonte emissora.
- 2) a relação entre campo elétrico e campo magnético em campo distante é dada por:

$$377 \quad \text{Ohm} \quad = \quad \text{E/H} \quad (6)$$

- 3) a Expressão 5 não leva em conta a existência de reflexões. Nos casos reais a existência de raios refletidos pode dobrar o valor do campo elétrico, produzindo um aumento de 4 vezes no valor da densidade de potência.

A Figura 6 apresenta o gráfico R X EIRP, parametrizado para valores de densidade de potência de 10,100,1000 microw/cm².

A Expressão 5 foi usada para gerar este gráfico e, por medida de segurança, os valores de R obtidos para determinada potência, devem ser multiplicados por 2 para levar-se em conta a ação de raios refletidos.

Ex 1: Considerando uma EIRP de 50 kW, o nível de 1mW/cm² será obtido na distância de 20 m. O valor de segurança será de 2*R = 40m.

Ex 2: Um radar opera com potência média de 500 W e antena com ganho de 36 dBi. Os lóbulos secundários da antena estão a 20 dB abaixo do ganho máximo. Calcular a distância em que o nível irradiado pelos lóbulos secundários atinge 1 mW/cm².

O ganho dos lóbulos secundários é: $36 - 20 = 16 \text{ dBi}$
O valor numérico correspondente é $10^{(16/10)} = 40$.

Portanto, a EIRP do radar é $EIRP = 500 \cdot 40 = 20000 \text{ W}$.

Usando a Expressão 5 ou o gráfico da Figura 6, pode-se ver que a distância R para densidades de 1 mW/cm^2 é igual a 12,6 m. Considerando o fator de segurança para raios refletidos, o valor de R é 25,2 m.

Deve-se notar ainda que em vários casos, principalmente em baixa frequência, a área ocupacional de maior exposição não está em campo distante. Contudo, como já dito, tem-se considerado, para efeitos de cálculo as expressões 5 e 6, visto que foi verificado que elas superestimam os valores de campo (19,22) e, portanto, agem como fatores de segurança.

Os maiores níveis de exposição ocupacional são encontrados em atividades de manutenção de torres de VHF, UHF e FM, em operações de equipamentos médicos de diatermia (12,1), e em seladores de plásticos que funcionam em 27 MHz.

Resultados obtidos por medidas em máquinas de selagem plástica(12) mostraram valores que podem chegar a 900V/m ou 1,6A/m na altura dos olhos do operador, para potências de 4 kW (frequência de 27 MHz) de operação na máquina. Foi verificado também que em vários casos a linha de alimentação dos equipamentos é uma boa antena para as frequências em questão. Os campos irradiados por essas linhas podem chegar a 500 V/m.

Para o caso de estações de FM, medidas feitas em uma rádio de Monte Wilson, CA, apresentaram campos da ordem de 800 V/m em vários locais dentro da estrutura interna da torre de transmissão. A potência de transmissão era de 40 kW, distribuída em seis antenas circularmente polarizadas.

Note-se que os dois valores relatados acima ultrapassam os níveis previstos pela norma ANSI C95.1-1982 (ver Tabela V).

BLINDAGEM DOS CAMPOS –

A blindagem de campos eletromagnéticos deve sempre ser usada como meio de confinar e reduzir a intensidade da radiação. Em campo distante o uso confinamento em estruturas metálicas produz bons resultados , aproveitando-se o efeito da reflexão obtida pela diferença de impedância entre a onda incidente (ver expressão 6) e a impedância do metal (30). Nesse caso, geralmente as paredes metálicas usadas podem ser finas, visto que o efeito de reflexão é muito maior que o efeito de absorção pela onda pelo material.

Contudo a existência de frestas, ou buracos de parafusos e ventilação podem deteriorar em muito o efeito das blindagens. A Tabela VIII apresenta um exemplo de cálculo (31) para uma caixa metálica de alumínio, onde existem buracos para ventilação por convecção (buracos de 1mm e igualmente

distribuídos em uma superfície de 20 cm X 40 cm), e um buraco de 5 cm de diâmetro para instalação de um ventilador. A primeira linha apresenta os resultados teóricos de atenuação do sinal, considerando apenas a estrutura metálica, sem os vários buracos.

As outras linhas mostram como pode ser degenerada a blindagem, por fugas nas frestas e orifícios. A solução nesses casos é a utilização de absorvedores e/ou telas metálicas para recobrimento de todos os orifícios. Uma aplicação desse tipo de tela metálica pode ser vista na porta dos fornos de microondas, por trás da parede de vidro.

Como nota final deve-se ainda observar que no caso de campos magnéticos a blindagem se torna mais difícil e, dependendo da faixa de frequências, devem ser usados materiais de alta permeabilidade magnética os quais atenuam a onda por fenômeno de absorção. Neste caso a espessura das paredes da estrutura de confinamento será dimensionada de acordo com o valor de atenuação desejada.

Contudo, os efeitos biológicos de campos magnéticos são inferiores aqueles produzidos por outras radiações de alta frequência (20,25,47). A permeabilidade magnética dos sistemas biológicos é, para fins práticos, igual a do espaço livre e as perdas são desprezíveis.

TABELA IVa

RESULTADOS DE ESTUDOS EXPERIMENTAIS DE EFEITOS BIOLÓGICOS PROVOCADOS POR IRRADIAÇÃO DE MICROONDAS DE BAIXA INTENSIDADE (até 150 microW/cm²) VERIFICADOS NA RÚSSIA ATÉ 1973

Função investigada	Intensidade da Radiação (microW/cm ²)	Característica das mudanças	Investigador
Peso do corpo	150	Atrazo no peso (experimento crônico)	V.V. Markov
Pressão arterial	150	Curso bifásico com acentuada hipotensão (experimento crônico)	V.V. Markov
Função reprodutiva	150	Diminuição da fertilidade, diminuição do peso da ninhada, aumento de defeitos na prole, aumento da mortalidade embrionária, etc. (experimento crônico)	A.N. Bereznietskaya et al
Sistema Nervoso Central	10-20 e acima	1) Mudanças no EEG com sincronização predominante (experimento agudo)	V.V. Markov
	150	2) Mudanças bivariantes com predominância de ativação (experimento agudo)	
	150	3) Mudanças bivariantes nas estruturas sub-corticais basais (experimento crônico)	
Eletromiografia	150	Aumento da atividade elétrica de unidades ativas	V.V. Markov
Sistema Hipotálamo-córtex cerebral	150	1) Mudanças de peso nas glândulas endócrinas hipófise e suprarenais 2) Mudanças na função neurosecretoras do hipotálamo 3) Tendência para aumento do nível de nerpinefrina nas suprarenais	N.K. Demokidova
Metabolismo	150	Mudanças na água e metabolismo eletrolítico (excreção de Na, K, água e nitrogênio total)	N.K. Demokidova
Imunologia	150	Inibição da atividade fagótica dos neutrófilos	V.V. Markov

CONCLUSÕES

A análise aqui feita sugere que a norma ANSI C95.1-1982 deve ser adotada com

cautela. Além de seu aspecto prioritariamente térmico conclui-se que os níveis de proteção lá definidos devem ser considerados como valores do extremo superior de uma faixa de segurança. Isto é, pode-se interpretar esses valores como limiares além dos quais a probabilidade de efeitos biológicos danosos é muito alta. Para densidades de potências inferiores aqueles da norma C95.1-1982, os resultados de estudo e pesquisas ainda não são conclusivos para classificá-los como "seguros". Basta lembrar que na seção dedicada aos estudos em seres humanos que foram selecionados para geração da norma, lê-se uma única palavra: "nenhum" (7).

É de concordância geral que a definição precisa do limite inferior dos níveis de radiação para uma proteção garantida é muito difícil, e seria um procedimento irresponsável adotar-se valores restritos às pesquisas que não são de âmbito mundial. Contudo, a literatura existente leva a concluir que não são verificados efeitos biológicos danosos em níveis abaixo de 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

A complexidade do ser humano certamente é um fator complicante na obtenção de resultados práticos. Os fenômenos biológicos são altamente não-lineares, o que inibe a extrapolação direta dos efeitos das radiações ionizantes em grande quantidade são mortais, as pequenas quantidades existentes no meio ambiente são responsáveis por milhares de modificações nos genes do homem, cujo resultado final ao longo dos milênios é uma melhor adaptação ao meio (para alegria de Darwin).

Resultados existem em que camundongos expostos à níveis adequados de microondas vivem mais do que aqueles não expostos (8).

TABELA IVb

EFEITOS BIOLÓGICOS PROVOCADOS PELAS RADIAÇÕES DE MICROONDAS (arranjados em escala de potência) OBSERVADOS NA RUSSIA

Densidade de Potência			
W/cm ²	1	Cataratas nos olhos de cachorros, após 3 a 5 horas de exposição	
	800		
	600	(L,M) * Sensação de dor durante a exposição	
	300	Aumento momentâneo na pressão arterial; depois de 20-60 minutos diminuição acentuada (gatos, coelhos e cachorros)	
	200	(L) Má-formação da prole depois de exposição por 10-15 min. (ovos de galinha, l = 12,2 cm de comp. onda), morte de gatos e coelhos (t = 20-60 min.). Redução de "Redox" nos tecidos.	
	100	(M) Aumento da pressão sanguínea, com subsequente diminuição acentuada; no caso de exposição crônica-hipoxia estável. Mudanças morfológicas estáveis no sistema cardiovascular. Cataratas Bilaterais.	
	mW/cm ²	40	(L) Aumento da pressão sanguínea com subsequente diminuição acentuada; múltiplas hemorragias, comp. onda = 3-10 cm, no fígado (dilatação dos vasos e hemorragias, comp. onda = 10 cm). Aumento da pressão arterial de 20-30 mm Hg (exposição de 0.5 a 1 hora)
		10	(M) Mudanças na atividade de reflexos condicionado, mudanças morfológicas no cortex cerebral (L). Variações indefinidas na pressão sanguínea (tempo de exposição e 150 h), mudanças na coagulação do sangue. "Hiperplasia" das células do fígado, comp. onda = 3-10 cm (exposições crônicas). Variações de EEG (comp. de onda outros do que DTsV - expansões não fornecidas). Mudanças no aparelho receptor.
		5	Limiar de intensidade na qual ocorrem mudanças nos "testis" e na pressão sanguínea (exposição múltipla). "leucopenia" e "eritropenia" breves. Escurecimento das lentes cristalino.
		3	(M) Diminuição da pressão sanguínea, tendência de aceleração do pulso. Flutuação do volume de sangue cardíaco.
1		(M) Diminuição da pressão sanguínea, tendência de aceleração do pulso. Insignificantes flutuações do volume de sangue cardíaco. Diminuição do nível da pressão arterial; diminuição no "ophthalmotone" (t; diariamente, 3,5 meses). Desadaptações, desordens dos mecanismos de controle imunológicos (L)	
microW/cm ²	400	Depressão de secreção em cachorros	
	300	(L,M) Algumas mudanças no sistema nervoso no caso de exposições por 5-10 anos.	
	200	"Neurons" em cachorros.	
	100	(L) Tendência de diminuição da pressão arterial com exposição crônica.	
	40	(L) Tendência de diminuição da pressão arterial com exposição crônica.	
	20	(M) Redução do pulso, tendência de diminuição da pressão arterial. Casos de sensibilidade corporal observada. Aumento bem definido de temperatura em pessoas inicialmente expostas.	
	* M	Dados aplicados ao homem-todos os outros em animais	
	L	Menor densidade de potência indicada pelos autores.	

Obs: Experimentos crônicos são aqueles em que são feitas exposições de baixo nível, por um grande período de tempo. Experimentos Agudos, por outro lado, indicam uma única exposição ou uma série de exposições em um curto período de tempo.

Alterações físico-químicas são, na maioria das vezes, intrigantes: em vários casos relatados na literatura os efeitos verificados em determinado nível de potência não são confirmados em níveis maiores. A maior parte dos artigos, quando trata-se de efeitos não térmicos da radiação de microondas apresentam conclusões "não conclusivas". Aqueles que relatam efeitos verificados concluem que os resultados não podem ser extrapolados para o ser humano sem antes fazer-se novos estudos mais prolongados. Aqueles que relatam a inexistência de tais efeitos concluem a mesma coisa.

Cabe agora perguntar por que não se emite uma norma cujo limite de proteção defina o menor nível já observado abaixo do qual garantidamente não ocorrem efeitos biológicos. A resposta é simples, mas complicada de ser justificada.

TABELA VIII

Resultados de compatibilidade eletromagnética

Desempenho do Material da Caixa	10 KH	1 MHz	100 MHz	1 GHz	3 GHz	10 GHz
	190	224	236	226	221	216
Fugas						
Refrigeração por conversão	190	131	91	71	61	51
Refrigeração Forçada	108	68	28	8	3	1
Parafusos da tampa	157	117	77	57	47	37
Desempenho total	108	68	28	8	3	1

Obs: Todos os números de desempenho individual ou total estão em dB.

Na realidade quando uma norma é emitida, sempre existem aqueles que a acham muito flexível, e aqueles que a acham muito rigorosa. No grupo dos últimos estão as entidades que sofrerão consequências econômicas da aplicação da norma, seja por um reprojeto de equipamentos, ou por responsabilidade social de possíveis danos causados, ou a causar.

A gravidade das consequências depende das condições do meio. No tempo em que o radar foi inventado, durante a Segunda Guerra Mundial, ninguém iria aventar a hipótese de verificar as consequências da irradiação de microondas porque o radar salvava vidas. Era por meio dele que as populações podiam ser avisadas com antecedência dos ataques aéreos. Os anos se passaram, e os equipamentos de microondas se estabeleceram como suporte da maior parte da tecnologia e comodidade do mundo atual.

Uma reestruturação de todos os sistemas com a finalidade de diminuir os níveis de potência de transmissão à valores muito baixos exigirão anos de pesquisas e milhões de dólares de investimentos.

Os componentes do primeiro grupo certamente dirão que isso é válido, visto que estamos tratando com seres humanos. Contudo, essa discussão recai em um tema já velho conhecido, ou seja, o controle da poluição ambiental. A conclusão dessa questão, portanto, ainda está longe de ser uma realidade.

Como observação final deve-se citar que o próprio Hanson (17), que apresentou trabalhos aparentemente conclusivos, preferiu ser cauteloso, e não quis afirmar que as suas pesquisas, fruto de 10 anos de estudos, indicavam claramente os efeitos danosos das microondas. Segundo ele os resultados ainda necessitam de uma investigação mais longa.

Em tempo: a revisão da norma C95.1-1982, apresenta variações dos níveis de exposição na faixa de 3 GHz a 100 GHz. A C95.1-1990, draft 6 (25), alterou o nível de proteção nessa faixa de $5\text{mW}/\text{cm}^2$ para $10\text{ mW}/\text{cm}^2$. Foram também incluídos níveis de proteção para campos magnéticos em baixa frequência, até 100 MHz, com valores superiores aos dos campos elétricos na mesma faixa.

TABELA VI

Limiar de Potência para efeito auditivo

F (GHz)	P_{inc}*T (microJ/cm²)
.915	17.3
2.45	20.9
3.00	20.6
30.0	143.3
100.0	376.4
300.0	579.1

TABELA V NÍVEIS DE PROTEÇÃO PARA EXPOSIÇÃO EM MICROONDAS				
Organização/ Título da Norma	Limites de Exposição (mW/cm ²)		E ² (V ² /M ²)	H ² (A ² /M ²)
	Trabalhador (dia inteiro)	População em geral		
Organização Mundial de Saúde Critério de Saúde Ambiental 16	1	—		
Instituto Nacional Americano de Padrões (ANSI) C95.1 -(1982)	0.3 a 3	MHz = 100	400.000	2,5
	3.0 a 30	MHz = 900/F ²	4000 (900/F ²)	0,025 (900/F ²)
	30.0 a 300	MHz = 1	4000	0,025
	300.0 a 1500	MHz = F/300	4000 (F/300)	0,025 (F/300)
	1.5 a 100	GHz = 5	20000	0,0125
União Soviética	0.025	0.0005		
Agência de Proteção Ambiental (proposta)	—	0.100		
Bureau de Radiologia (Padrão para fornos de Microondas)	1 mW/cm ² na data da fabricação. Não mais que 5mW/cm ² durante a vida do forno			
Administração de saúde e segurança Ocupacional	10			

*Schwan e Li (40) calcularam, sob o ponto de vista estritamente térmico, as absorções esperadas na pele, camada de gordura e órgãos internos em um modelo “fantasma” do homem. O procedimento baseava-se na diferença de impedância das camadas e pode-se concluir que:

- em frequências abaixo de 1000 MHz a energia principalmente nos órgãos internos.
- em frequências acima de 3000 MHz a energia é absorvida principalmente na pele.
- em frequências entre 1000 e 3000 MHz condições especiais são verificadas. As camadas de pele e gordura podem funcionar como casadores de impedâncias para a onda incidente (30), e fazer com que a absorção nos órgãos internos varie de 20 a 100% da energia incidente, dependendo da espessura da camada da gordura

**Ghandi (18) demonstrou que em ondas milimétricas (30 a 300 GHz), o efeito da radiação de microondas deve ser equivalente ao efeito de radiação infravermelha, visto que o comprimento de onda e a profundidade da pele que contém os sensores térmicos. Seu estudo mostra também que as roupas podem

agir como casadores de impedância, aumentando a absorção da energia irradiada.

Referências

- 1 - Lerner; "RF Radiation: Biological Effects"; IEEE Spectrum December 1980, pp 51-59
- 2 - Michaelson, S.M.; "Microwave Biological Effects: An Overview"; Proceedings of The IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 40-48
- 3 - Manz, E.B.; "Setting Radiation Standards: A highly charged issue"; Microwaves, June 1982, pp 27-30
- 4 - Justesen, D.R.; "Microwave Irradiation and the Blood-Brain Barrier"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 60-66
- 5 - Lin, J.C.; "The Microwave Auditory Phenomenon"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 67-72
- 6 - White, D.; EMI and Compatibility Handbook Vol III, Cap 3, Tenth Printing 1986, pp 3.1-3.10
- 7 - Steneck, N.H.; "Subjectivity In Standards: The case of ANSI C95.1-1982"; Microwaves & RF, May 1983, pp 137-142, 164-167
- 8 - Sterzer, F.; "Radiation protection in New Jersey"; Microwaves & RF October 1984, pp 40-43
- 9 - Silverman C.; "Epidemiologic Studies of Microwave Effects"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 78-83
- 10 - Mcree, D.; "Soviet and Eastern European Research on Biological Effects of Microwave radiation"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 84-91
- 11 - Tell, R.A.; "Population Exposure to VHF and UHF Broadcast Radiation in the United States"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 6-12
- 12 - Mild, K.H.; "Occupational Exposure to Radio-Frequency Elettromagnetic Field"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 12-17
- 13 - Conover, D.L. et al; "Measurements of Electric and Magnetic Field Strengths from Industrial Radio-Frequency (6-38 MHz) Plastic Sealers"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 17-20
- 14 - Kachmar, M.; "Radiation Protection, in small to extra-large"; Microwaves & RF, July 1986, pp 41-42
- 15 - The Front-End; "New radiations concerns"; Microwaves & RF, May 1985, pp 31
- 16 - Kachmar, M.; "The twin faces of microwave hyperthermia"; Microwaves & RF, January 1987, pp 35-37, 174
- 17 - Bernstein, M.; "BEMS hears evidence of health risks"; Microwaves & RF; August 1985, pp 39-41
- IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-34, No 2, February 1986, pp 228-235
- 19 - Petersen, R.C.; "Elettromagnetic Radiation from Selected Telecommunications Systems"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 21-24
- 20 - Ghandi, O.P.; "State of the Knowledge for Elettromagnetics Absorbed Dose in Man and Animals"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 24-32
- 21 - Durney, C.H.; "Elettromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 33-39
- 22 - NARDA; "Broadband Isotropic Radiation Monitor Mod 8600 Series - Operation & Maintenance Manual"; 1987, pp 2.7-2.9, 4.14-4.15
- 23 - MIL-HDBK - 238 (Navy), August 1973, pp 17-20
- 24 - NARDA; "Components and Instruments - Radiation Monitoring"; Catalog 24, 1986, pp 266-308
- 25 - LORAL MICROWAVE NARDA; "Components and Instruments - Radiation Monitors", Catalog 26 99CATO26, 1990, USA, pp 401-471
- 26 - Massoudi, H.; Durney, C. H.; Johnson, C.C.; "Comparison of the average specific absorption rate in the ellipsoidal conductor and dielectric models of humans and monkeys at radio frequencies"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 65-72
- 27 - Kinn, J.B.; "Whole-body dosimetry of microwave radiation in small animals: the effect of body mass and exposure geometry"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 61-64
- 28 - Johnson, C.C. et al; "Descriptive summary: Radio-frequency radiation dosimetry handbook"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 57-59
- 29 - Janes, D.E. et al; "Radio-frequency radiation levels in urban areas"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 49-56
- 30 - Fleming, W.J, Galvão, B. S.M.; "Projetos de Alta Frequência e Antenas Auxiliados por Microcomputadores"; McGraw-Hill do Brasil, 1987
- 31 - Program #5500 Rev 2.1, Don White Consultants, "EMC Design of Shielded Boxes, Cases, cabinets and Enclosures"; 1986
- 32 - Williams, W.M. et al; "Effects of 2450-MHz Microwave Energy on Blood-Brain Barrier: An Overview and Critique of Past and Present Research"; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-32, No 8, August 1984, pp 803-807
- 33 - Roberts, N.J., et al; "Exposure of Human Mononuclear Leukocytes to Microwave Energy Pulse Modulated at 16 or 60 Hz"; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-32, No 8, August 1984, pp 803-807
- 34 - Whitney, H.S., Kharadly, M.Z.; "Some Results on Low-Level Microwave Treatment of the Mountain Pine Beetle and the Darkling Beetle"; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-32, No 8, August 1984, pp 799-802
- 35 - Gokhale, A.V., et al; "The Absence of Significant Short-Term Elettromagnetic Bioeffects in Giant Algal Cells Exposed to CW and Pulse-Modulated X-band Burst"; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-32, No 8, August 1984, pp 795-797
- 36 - LU, S.H., Lotz, W.G., Michaelson, S.M.; "Advances in Microwave Induced neuroendocrine Effects: The Concept of Stress"; Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 73-77
- 37 - Lin, C.; "Theoretical calculation of frequencies and thresholds of microwave-induced auditory signals"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 237-242
- 38 - Adrian, D.; "Auditory and visual sensations stimulated by low-frequency electric currents"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 243-250
- 39 - Gandhi, Hunt, D'Andrea; "Deposition of electromagnetic energy in animals and in models of man with and without ground and reflector effects"; Radio Science, Vol 12, Number 6(S), Nov/Dez 1977, pp 39-47
- 40 - Schwan e Li; "Hazards Due to Total Body Irradiation by Radar"; Proceedings of the IRE, November 1956, pp 1572-1581
- 41 - Frohlich, H.; "Coherent Electric Vibrations in Biological Systems and the Cancer Problem"; Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT - 26, No 8 August 1978, pp 613-617
- 42 - Schwan, Foster "RF-Interactions with Biological Systems: Electrical Properties and Biophysical Mechanism"; Proceedings of The IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 104-113
- 43 - Gandhi O.P., Hunt E.L.; "Corner-Reflector Applicators for Multilateral Exposure of Animals in Bioeffect Experiments"; Proceedings of The IEEE, Vol 68, No 1, January 1980, pp 160-162
- 44 - Macgregor, R. J.; "A Possible Mechanism for the Influence of Elettromagnetic Radiation on Neuroelectric Potentials"; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-32, No 8, August 1984, pp 803-807