

Avaliação da exposição à RF por operadores de sistemas militares de comunicações em HF

Maurício Henrique Costa Dias, Antonio da Silva Nascimento Filho,** Diogo Azevedo Egypto Rosa* e Márcio Nascimento Bispo**

Resumo

Rádios HF são recursos de grande importância para as Forças Armadas em seus sistemas de comunicações, estratégicos ou táticos. O uso intenso desses equipamentos leva a um questionamento sobre o grau de exposição às ondas eletromagnéticas a que os operadores estão sujeitos. Entretanto, a literatura disponível é relativamente escassa no que se refere especificamente à faixa de HF. Neste contexto, o presente trabalho apresenta algumas medidas dos níveis de intensidade de campo irradiado nas proximidades de algumas estações de sistemas militares de comunicações HF. Uma avaliação da exposição foi realizada comparando os dados coletados aos limites previstos na Resolução 303/2002 da Anatel.

Palavras-chave

Comunicações militares, HF, efeitos biológicos, radiação não-ionizante.

Introdução

Rádios HF são utilizados intensamente pelas Forças Armadas de um modo geral, para comunicações estratégicas ou táticas, mesmo nos dias de hoje. Apesar da baixa capacidade de transmissão de informação, é possível estabelecer enlaces de longa distância com potências relativamente baixas, via refração ionosférica.^[1] Mesmo considerando-se apenas a componente ter-

restre de propagação, rádios HF também são de grande valia para as comunicações militares. Por exemplo, há alguns cenários táticos em que a faixa de HF apresenta-se como a opção de maior alcance potencial, como, por exemplo, em ambientes de vegetação densa.^[2]

A proximidade da antena de um rádio de alta potência a seu operador pode gerar questionamentos quanto a potenciais efeitos da exposição à irradiação de RF (Rádio-Freqüência).

* Instituto Militar de Engenharia (IME) – Praça General Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro – RJ, 22290-270

** 2º Centro de Telemática de Área (2º CTA) – Praça Duque de Caxias, 25 – Ala Marcílio Dias 2º andar, Centro, Rio de Janeiro – RJ, 20221-260

O principal problema que pode advir neste caso é o chamado efeito térmico, que nada mais é que o aquecimento do corpo humano ou de suas partes em função da absorção da energia eletromagnética em níveis muito elevados.^[3,4] A literatura é farta em referências sobre o assunto, com foco principalmente nos sistemas de telefonia celular,^[4] já que há algum tempo este é o meio de radiocomunicação mais utilizado no planeta. Cumpre destacar que as discussões oriundas do emprego intenso de telefones móveis ajudaram a alavancar mais pesquisas sobre o assunto, passando a buscar respostas inclusive para questões polêmicas e de difícil averiguação, como os chamados efeitos não-térmicos.^[3,5]

Apesar do grande interesse atual sobre a questão da exposição à RF, há poucas referências disponíveis que discutem especificamente a faixa de HF. Esta carência serviu de estímulo para algumas ações recentes no âmbito do Exército para avaliar cenários típicos em que a intensidade de exposição dos operadores pode estar acima do tolerável. Em 2007, uma avaliação teórica da exposição a RF de operadores de rádios HF *manpack* foi publicada.^[6] Ainda naquele ano, o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) mandou realizar uma campanha de medidas em diversas estações HF nos âmbitos da 1ª e da 9ª Regiões Militares (RM), em particular nas cidades do Rio de Janeiro – RJ e de Campo Grande – MS. E mais recentemente, em junho de 2008, algumas medidas foram realizadas em uma estação HF no município de São Gabriel da Cachoeira – AM, na 12ª RM. Essas medidas fizeram parte dos trabalhos desenvolvidos na 6ª Operação Ricardo Franco, iniciativa anual do Instituto Militar de Engenharia, que leva alunos em sua maioria do último ano da graduação para realizar trabalhos de engenharia e pesquisa na região amazônica.

No contexto em questão, o presente trabalho relata resumidamente as avaliações recentes, baseadas em medidas, do grau de exposição a RF que operadores de sistemas militares comunicações HF estão sujeitos. O foco principal do trabalho foi a operação fixa ou estratégica, com uso de estações de potência elevada e antenas relativamente afastadas dos usuários. Os dados coletados foram comparados aos limiares de segurança previstos no regulamento brasileiro sobre exposição a RF, a Resolução 303/2002 da Anatel.^[7]

Recomendações para Exposição Segura em HF

Na literatura atual, os dois documentos normativos mais referenciados sobre limiares de segurança à exposição de RF são a norma C95.1 do IEEE^[8] e as diretrizes do ICNIRP.^[9] A primeira é adotada nos Estados Unidos, e a segunda em grande parte da Europa e outros países no mundo inteiro. Ambas possuem muitos pontos em comum, mas os limiares recomendados são ligeiramente diferentes. Atualmente, há um esforço em comum para unificação dos limiares de segurança – segundo Repacholi,^[10] a próxima revisão do ICNIRP deverá contemplar limiares concordantes com os do IEEE, que recentemente (2006) concluiu sua última revisão. Outra iniciativa importante é o projeto EMF (*Electromagnetic Fields*) da Organização Mundial de Saúde (OMS).^[11] No Brasil, a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) é a responsável pela regulamentação que estabelece limites de exposição,^[7] que basicamente segue as diretrizes do ICNIRP. É prática comum a revisão periódica dessas normas por parte das instituições que as emitem.

De modo geral, tais normas de exposição foram elaboradas para proteger contra os efeitos conhecidos causados pela energia de RF. Até o

momento, tais danos estão associados basicamente ao efeito térmico, pois os comitês de especialistas que elaboraram as diretrizes consideraram que os relatos indicando potenciais efeitos não-térmicos ainda não constituem evidência científica consistente o suficiente para alterações de maior porte.^[8-11] É importante ressaltar que a irradiação de RF é não-ionizante e, como tal, não possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas.

Os efeitos térmicos basicamente provocam alteração de temperatura no corpo ou em parte dele. Tais efeitos são observáveis somente sob exposição de alta intensidade. O calor adicional gerado pela absorção de RF tende a ser dissipado pelo próprio sistema circulatório. O risco maior ocorre em áreas de baixa vascularização, como as córneas, por exemplo.^[3, 8,9,11] Por sua vez, costuma-se definir os efeitos não-térmicos como aqueles não associados ou não dependentes da geração de calor ou de aumento de temperatura mensurável. Normalmente estão associados à exposição de médio e longo prazos.^[8,9,11]

Os mecanismos de acoplamento dos campos eletromagnéticos de alta frequência que geram efeito térmico são distintos por sub-bandas de frequência. Quanto às bandas que incluem as frequências de HF (3-30MHz), entre 100kHz e 20MHz a absorção de energia se dá principalmente no tronco, pescoço e/ou pernas. De 20MHz a 300MHz, a absorção se dá em partes do corpo, mas também no corpo inteiro.^[9]

Tanto ICNIRP quanto IEEE adotam margens expressivas de segurança com relação ao valor de taxa de absorção específica (SAR – *Specific Absorption Rate*), a partir do qual “distúrbios comportamentais” começam a ser percebidos pelo ser humano. Esta margem é de 10 vezes para a chamada exposição em ambientes controlados, e de 50 vezes em ambientes não-controlados,

segundo a C95.1. O ICNIRP adota praticamente a mesma postura, embora as denominações sejam outras (exposição ocupacional e exposição do público em geral, respectivamente). Entretanto, com relação à margem para diferenciar as exposições ocupacional e do público em geral, o ICNIRP não adota o mesmo critério uniforme do IEEE, que assume um único fator de 5x. Apenas para as bandas acima de 10MHz o fator é o mesmo da C95.1. Nas bandas mais baixas, diferentes fatores são adotados, por sub-bandas, e por grandeza avaliada. De modo geral, em ambas as referências normativas, admite-se que pessoas cientes da exposição à irradiação de RF em um determinado ambiente e de seus efeitos irão naturalmente se precaver quanto à exposição próxima ou por tempo excessivo, daí a margem ser menos conservadora que para leigos em geral.

A SAR é o parâmetro dosimétrico original de análise dos efeitos da exposição à RF. Entretanto, a SAR não é de fácil medição ou cálculo teórico. Neste sentido, as normas recomendam como métricas de maior praticidade para avaliação quantitativa da exposição a densidade de potência de onda plana equivalente (S), e as intensidades de campo elétrico (E) e magnético (H). Em especial, para as faixas mais baixas (incluindo HF), a condição de campo próximo é bastante comum, e, neste caso, a razão E/H deixa de ser constante como em campo distante. Com isso, em campo próximo é necessário avaliar os dois campos.

A tabela 1 apresenta os limites de exposição à RF recomendados pela Anatel para exposição ocupacional, na banda entre 1 e 400 MHz (que inclui a faixa de HF). A tabela 2 apresenta os limites da Anatel para o público em geral, nas mesmas faixas. Ambas as tabelas^[7] reproduzem os limites das diretrizes do ICNIRP.^[9]

Tabela 1 – Limites do ICNIRP (e da Anatel) para Exposição Ocupacional na Faixa de 1 a 400MHz

Faixa de RF (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)
1 – 101 0 – 400	610 / f 61	1,6 / f 0,16	— 10

f em MHz

Tabela 2 – Limites do ICNIRP (e da Anatel) para Exposição do Público em Geral na Faixa de 1 a 400MHz

Faixa de RF (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)
1 – 10 10 – 400	87 / f ^{0,5} 28	0,73 / f 0,073	— 2

f em MHz

O regulamento de exposição da ANATEL^[7] traz uma tabela adicional com distâncias mínimas de segurança com relação à antena irradiante. A tabela 3 apresenta essas distâncias (*d*) para as duas faixas das tabelas 1 e 2. Entretanto, tais expressões foram formuladas para a situação de campo distante, usando um fator adicional para contabilizar componentes de reflexão (no solo, por exemplo) que interferem construtivamente com a componente direta.^[12] O uso das expressões da tabela 3 em condições de campo próximo, como é o caso de vários cenários abordados neste trabalho, não é o mais indicado, portanto.

Tabela 3 – Expressões para Cálculo de Distâncias Mínimas a Antenas de Estações Transmissoras para Atendimento aos Limites de Exposição Ocupacional da Anatel

Faixa de RF (MHz)	<i>d</i> (m)
1 – 10 10 – 400	0,0144 f EIRP ^{0,5} 0,143 f EIRP ^{0,5}

f em MHz

EIRP – Potência Efetiva Irradiada Isotropicamente

Descrição dos Cenários e das Campanhas de Medidas

O presente trabalho resume os resultados de duas campanhas de medidas de intensidade de campo eletromagnético em HF, próximo a estações transceptoras do Sistema Estratégico de Comunicações do Exército (SEC). A primeira e mais expressiva campanha foi realizada pelo 2º Centro de Telemática de Área do Exército (2º CTA) em 2007. Oito estações foram avaliadas, sendo sete na cidade do Rio de Janeiro – RJ e uma em Campo Grande – MS. Ao todo, foram 35 pontos de medidas nesta campanha. A escolha das posições de medição teve como foco os locais próximos às antenas, aos rádios e ao cabeamento de cada sistema, em particular pontos de maior circulação ou permanência de operadores e usuários. Neste sentido, tanto pontos ao ar livre como pontos no interior de instalações foram escolhidos. Em geral, as distâncias dos pontos de medição à base ou ao ponto central da antena ficavam entre 5 e 50m.

Os rádios das estações avaliadas pelo 2º CTA eram equipamentos de fabricantes diversos, tais como Harris, Micom e Transworld. A potência da maioria dos transmissores era de 125W, mas em duas estações (uma no Rio, outra em Campo Grande) havia rádios operando em 1kW. Algumas estações possuíam mais de um transceptor. Nestes locais, as medições de campo foram realizadas com todos os transmissores ativos simultaneamente. Em seis estações, antenas dipolo de 15 ou 20m eram utilizadas em polarização horizontal. Nas duas estações de maior potência, as antenas eram log-periódicas para a faixa de 2 a 22MHz, com ganho de 12dBi, também dispostas horizontalmente acima do solo. A figura 1 apresenta uma das estações desta campanha que utilizava antena log-periódica.

Observa-se a proximidade entre a antena e a edificação mostrada, onde se realiza a operação do rádio.



Figura 1 – Foto de uma das estações avaliadas pelo 2º CTA

Na campanha de medidas do 2º CTA, foi utilizado o medidor EMR 300, da Narda Safety Test Solutions. Para a faixa de HF, foram usadas duas pontas de teste: tipo 12.1 (300kHz a 30MHz) para campo magnético; e tipo 8.3 (100kHz a 3GHz) para campo elétrico. A figura 2 ilustra o medidor adotado e algumas pontas de prova. As pontas de prova utilizadas eram isotrópicas, de modo que o campo recebido era medido nas três direções. Em cada ponto de medição, os valores de campo médio eram registrados ao longo de um intervalo de 6min, como recomendado.^[7] Neste intervalo, os registros eram feitos a cada 4s, dando um total de 90 valores por ponto.

Em junho de 2008, por ocasião da 6ª Operação Ricardo Franco realizada pelo IME na Amazônia, uma nova avaliação experimental da exposição campos eletromagnéticos foi conduzida. Mais especificamente, avaliou-se uma estação de HF de uma unidade do EB em São Gabriel da Cachoeira (12ª RM). Neste local, um rádio Yaesu de 100W era utilizado, com uma antena dipolo em V invertido, como ilustrado na figura 3. As medidas foram registradas em dois pontos a

cerca de 15m da base da antena. Utilizou-se no trabalho um medidor HF-Detector II Profi, da Aaronia, ilustrado na figura 4, próprio para medidas de 3 a 3000MHz. Como o foco era a faixa de HF, a antena telescópica foi utilizada em sua extensão máxima (cerca de 40cm).



Figura 2 – Medidor Narda EMR 300, utilizado nas medidas do 2º CTA



Figura 3 – Fotos da antena e sala rádio da estação HF de São Gabriel da Cachoeira – AM avaliada



Figura 4 – Medidor HF-Detektor II Profi, da Aaronia, utilizado nas medidas em São Gabriel da Cachoeira – AM

Análise dos resultados

A avaliação quanto à exposição a campos elétricos e magnéticos se deu por comparação dos valores medidos com os limiares especificados em,^[7] reproduzidos na tabela 2 para a faixa de HF, foco deste trabalho. A escolha dos limiares para o público em geral, mais rigorosos que os limites de exposição ocupacional, se deu por entender que a operação desses sistemas se dá em turnos de longa duração, e o radioperador não tem a escolha de não permanecer em seu posto, que está usualmente sujeito a exposição de campos EM. Embora sujeito a discussões, o entendimento dos autores do presente trabalho é que os limiares de exposição ocupacional só devem ser empregados nos casos de equipes de manutenção efetuando trabalhos de curta duração próximo a elementos irradiantes. Ao menos para a presente análise, essa foi a abordagem adotada.

A tabela 4 apresenta todas as medidas registradas neste trabalho. No caso da campanha do 2º CTA, o valor indicado em cada ponto é a média da intensidade de campo ao longo do período de 6min de cada medida. As duas medidas em São Gabriel da Cachoeira também expressam valores médios.

Da tabela 2, calculou-se dois valores limites para fins de comparação com as medidas: um na frequência mínima da faixa de HF (3MHz); e outro na frequência máxima (30MHz). Na verdade, o segundo limiar é constante para a banda de 10 a 30MHz, como pode ser observado na tabela 2. A tabela 5 apresenta estes limiares para os campos elétrico e magnético.

Tabela 4 – Valores Médios de Campo Elétrico e Magnético

Estação	Ponto de medição	E(dBV/m)	H(dBA/m)
Rio 01	Base da antena	16,91	-29,50
	Porta fundos estação	-5,96	-44,59
	Sala projetos	-6,47	-46,38
	Aloj Rd Operador	-16,39	-44,71
	Sala rádio	-8,84	-48,36
Rio 02	Próx aos eqptos TFM	0,76	-42,38
	Sala rádio	1,65	-45,62
	Salão	-4,58	-49,23
	Área recreativa	-9,86	-46,85
Rio 03	Sala rádio	-0,46	-47,83
	Cozinha	-8,33	-45,11
	Varanda oficina	9,71	-35,69
	Oficina	-8,67	-43,68
	Alojamento	-2,70	-39,90
Rio 04	Estacionamento	-12,56	-50,87
	Sala rádio	2,73	-43,66
Rio 05	Sala rádio	-7,34	-52,00
	Em frente ao rancho	-17,04	-51,04
	Passadiço	-14,99	-52,52
	Em frente ao alojamento	-11,02	-48,65
	Em frente ao auditório	-19,11	-50,23
Rio 06	Terraço	1,40	-53,06
	Sala rádio	-13,45	-46,84
	Estacionamento	-21,40	-54,56
	Rua de trás	-15,17	-51,04
Rio 07	Sala rádio	-9,26	-51,04
	Em frente à secretaria	-14,62	-49,68
	Embaixo cabo antena	-14,45	-49,92
CG 01	Base ant Harris RRFP	13,90	-40,46
	Em frente à ant RRFP	-13,05	-48,16
	Próx acoplador sala rádio	9,78	-42,70
	Ao lado do prédio	8,60	-41,41
	Base ant Harris RRFS	29,87	-21,92
	Estrada ao lado árvore	-14,00	-47,74
SGC	Sala rádio atrás RRFS	8,70	-43,86
	Ponto 1	-34,42	-86,02
	Ponto 2	-30,46	-81,94

Tabela 5 – Limiares de Segurança para a Faixa de Interesse

Frequência (MHz)	E (dBV/m)	H (dBA/m)
3	34,02	12,28
10 – 30	28,94	-22,73

Para facilitar a comparação, os dados da tabela 4 foram dispostos em gráficos de espalhamento junto com os limiares da tabela 5. O resultado está ilustrado na figura 5 (campo elétrico) e na figura 6 (campo magnético). As medidas em São Gabriel da Cachoeira foram omitidas por estarem bem abaixo dos valores das demais e por não apresentarem o mesmo grau de confiabilidade, em função de limitações inerentes à sonda utilizada.

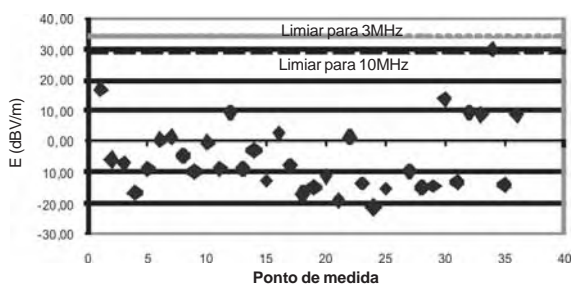


Figura 5 – Comparação das medidas de campo elétrico com os limiares de segurança da Resolução 303/2002 da Anatel

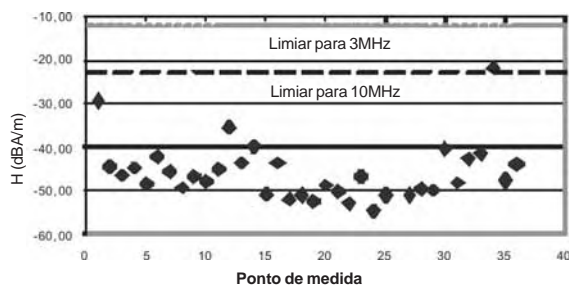


Figura 6 – Comparação das medidas de campo magnético com os limiares de segurança da Resolução 303/2002 da Anatel

Observa-se nos resultados que a grande maioria das medidas realizadas caiu bem abaixo dos limiares de segurança, seja para campo elétrico, seja para campo magnético. Grosso modo, as medidas de campo elétrico ficaram cerca de 40dB abaixo do limiar mais rigoroso (10MHz), enquanto que as de campo magnético ficaram em torno de 30dB abaixo do limiar respectivo.

Entretanto, uma medida ficou cerca de 1dB acima dos limiares (tanto *E* quanto *H*). Essa medida foi obtida em Campo Grande, na base de uma das antenas log-periódicas da estação avaliada. Porém, uma vez que neste local específico não há passagem freqüente nem permanência de pessoal durante a operação da estação rádio, e pelos baixos valores verificados em outros pontos mais representativos da presença de usuários e operadores, pode-se considerar que a estação esteja em conformidade com a Resolução 303/2002 da Anatel. De qualquer modo, uma das recomendações do 2º CTA àquela unidade militar foi a instalação de placas nas bases das torres das antenas, alertando as pessoas nas proximidades para evitar a permanência no local.

Outra recomendação interessante à unidade de Campo Grande pôde ser dada com base na medida em um ponto no interior da sala de operação de rádio, próximo ao acoplador de antena. Embora abaixo dos limiares, o valor de campo elétrico registrado (9,78dBV/m) foi relativamente alto para um ponto no interior de uma instalação, muito possivelmente por desbalanceamento de corrente no próprio acoplador e nas linhas de transmissão a ele conectadas, que dava vazão a uma irradiação indesejada como conseqüência da circulação de correntes de modo comum.^[13] Uma sugestão dada para mitigar a situação, sem custo adicional, foi a realocação do acoplador para uma sala atrás da sala rádio, de circulação restrita de usuários. Com isso, reduziu-se ainda mais o grau de exposição dos operadores em seu local de trabalho.

Conclusão

Este trabalho apresentou uma avaliação da exposição de operadores e usuários de estações de rádio HF a campos eletromagnéticos.

A análise relatada baseou-se principalmente em uma campanha de medidas conduzida pelo 2º CTA em 2007, em estações de oito unidades do Exército. A exposição a RF foi verificada pela comparação entre as intensidades de campo elétrico e magnético registradas e os limiares de segurança pertinentes à faixa de HF indicados na Resolução 303/2002 da Anatel. Considerou-se a tabela de valores para o público em geral na análise, em função da exposição frequente e prolongada dos operadores, apesar de

sua condição de técnicos/conhecedores da questão.

Os resultados da comparação indicaram a conformidade de todas as estações avaliadas. Um único ponto ficou 1dB acima do limiar mais baixo, mas isto não comprometeu a argumentação prévia. A leitura crítica dos valores mais altos de medidas permitiu que recomendações fossem sugeridas aos operadores das estações avaliadas, no intuito de minimizar a exposição desnecessária a campos eletromagnéticos de maior intensidade. **CNT**

Referências

- [1] E. Johnson, R. Desourdis, G. Earle, S. Cook and J. Ostergard, *Advanced High-Frequency Radio Communications*, Artech House, 1997.
- [2] J. C. R. Dal Bello e M. S. Assis, "Comunicações Táticas na Região Amazônica – 1ª Parte", *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, vol. IX, n. 3, p. 12-20, 1992.
- [3] A. A. A. de Salles, "Biological effects of microwave and RF", in: *1999 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference*, Rio de Janeiro – RJ, v. 1, 1999, p. 51-56.
- [4] M. H. C. Dias e G. L. Siqueira, "Considerações sobre os Efeitos à Saúde Humana da Irradiação Emitida por Antenas de Estações Rádio-Base de Sistemas Celulares", *Telecomunicações*, v. 5, n. 1, p. 41-54, Jun 2002.
- [5] E. Litvak, K. R. Foster, e M. H. Repacholi, "Health and Safety Implications of Exposure to Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz", *Bioelectromagnetics*, v. 23, p. 68-82, 2002.
- [6] A. H. G. Samary, M. H. C. Dias, "Avaliação Numérica da Exposição à Irradiação Eletromagnética em HF por Operadores de Rádios para Comunicações Táticas", in: *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT'07)*, Recife – PE, v. 1, 3-6 Set 2007, p. 1-6.
- [7] ANATEL, Resolução 303/2002 – Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, em www.anatel.gov.br.
- [8] IEEE C95.1-2005, Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, 19 Abr 2006.
- [9] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, Abr 1998.
- [10] M. H. Repacholi, Campos Eletromagnéticos de Baixa Frequência e a Saúde: Estado da Arte e Recomendações da Organização Mundial de Saúde, apresentação no Auditório do CEPTEL, Rio de Janeiro – RJ, 27 Set 2005.
- [11] The International EMF Project – World Health Organization, em <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>
- [12] R. F. Cleveland Jr., D. M. Sylvar e J. L. Ulcek, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC-OET Bulletin 65, Edition 97-01, Ago 1997.
- [13] W. L. Stutzman e G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2ª Ed, Wiley, 1997.