

4 Normas e limites de exposição a campos eletromagnéticos

As normas de exposição internacionais são elaboradas para proteger os vários segmentos da população contra todos os danos identificados causados pela energia de radiofrequência (RF). Até o momento, tais danos estão associados tão somente ao efeito térmico, o que não corresponde a uma situação muito provável de ocorrer tanto pelo uso de celular quanto pela exposição a uma ERB [28].

Cada país adota normas e regulamentações sobre os níveis permitidos de exposição, de acordo com sua pesquisa, níveis medidos, ou ainda baseados na ausência de efeitos biológicos. Devido a enormes discrepâncias nas normas e a crescente preocupação pública sobre os possíveis efeitos adversos da exposição a um número e variedade crescentes de fontes de campos eletromagnéticos, a Organização Mundial de Saúde (OMS) através do “International EMF Project” iniciou um programa em 1996 com previsão de término em 2007 para, dentre outros objetivos, facilitar o desenvolvimento de padrões de segurança internacionalmente aceitos.

A seguir na seção 4.1 e 4.2 serão apresentadas, respectivamente, as principais normas internacionais de segurança e os níveis de referência para exposição humana à radiação de RF de cada uma. Na seção 4.3 será mostrado um resumo da origem do regulamento aprovado pela Anatel com o objetivo de proteger os trabalhadores e a população em geral contra os efeitos adversos a saúde causada por ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequências.

4.1 Principais normas de segurança e os limites de SAR

No âmbito internacional, como já mencionado, cada país através de comitês formados por órgãos governamentais e não-governamentais elaborou sua norma e regulamentações propondo determinados limites de segurança.

Nos Estados Unidos, a recomendação de referência é a norma C95.1 desenvolvida pelo IEEE. A C95.1 foi adotada pela ANSI (*American National Standard Institute*) norte-americana pela primeira vez em 1966, e é revisada periodicamente, tendo sido a última em 1999 que avaliou mais de 1400 artigos

[28]. Em 2004, uma emenda à norma C95.1 foi emitida, estabelecendo limiar de SAR para a área externa do ouvido humano [29] Os comitês que elaboraram a norma eram compostos por membros universitários, da indústria e do governo.

Os comitês concordaram que, sob o menor nível de exposição, o efeito adverso observado em animais foi o chamado “distúrbio comportamental”. Este termo se refere à tendência de os animais deixarem de efetuar uma tarefa complexa aprendida quando expostos a uma quantidade suficiente de energia. Na faixa de frequência dos celulares, foco deste trabalho, o distúrbio ocorre a uma SAR de 4 W/kg. A exposição por cerca de 30 minutos a esta SAR limite acarreta em um aumento de temperatura do tecido maior que 1° C, ou seja, este é um efeito eminentemente térmico. O IEEE acrescentou um fator de segurança de 10, levando o limiar recomendado para 0,4 W/kg, na revisão de 1982. Quanto à exposição parcial, como vários estudos haviam mostrado que a relação entre o valor de pico de SAR local e o médio no corpo todo era de cerca de 20:1, o limite local foi estabelecido como 8 W/kg [28]. Na revisão de 1991 [5], estabeleceu-se uma diferença entre exposição “controlada” e “não-controlada”, sendo a esta última acrescentado um fator adicional de segurança de 5, ou seja, as taxas limite para exposição total e parcial ficaram iguais a 0,08 W/kg e 1,6 W/kg, respectivamente. A tabela 5 resume os limites de SAR para exposição total e parcial segundo a norma IEEE C-95. 1 na faixa de frequência de 100KHz a 6GHz. Os valores mostrados são, também, ratificados pela norma da *Federal Communications Commission* – FCC 96 - 326. Este órgão federal americano é encarregado da regulamentação das telecomunicações e da certificação dos equipamentos de emissores de radiação eletromagnética no país.

Categoria da Exposição	SAR média de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/1g)	SAR localizada (membros) (W/kg/10g)
+Ocupacional	0.4	8	20
Público em geral	0.08	1.6	4

Tabela 5 - Limitações de SAR baseada da norma ANSI/IEEE C95.1

Os limites de SAR que a C95.1 especifica devem ser tomados num período mínimo de 30 minutos, tanto para a exposição global, quanto para a local. Na exposição global, toma-se a média obtida no corpo inteiro; na local, toma-se a média obtida sobre qualquer 1g de tecido. Embora na faixa de frequências em questão a SAR seja a medida que melhor permite avaliar os efeitos da radiação eletromagnética. Na prática é muito difícil medi-la diretamente em um indivíduo. As técnicas atuais empregadas para se estimar SAR incluem a simulação em computador e a medição do campo induzido em maquetes artificiais imitando o corpo humano (ou parte dele, como a cabeça), preenchido com algum material (normalmente líquido) com propriedades elétricas similares às do corpo humano (ou da parte específica que se deseja avaliar, como o cérebro ou os ossos) [15]. A situação de exposição local mais estudada é a do uso do terminal junto à cabeça conforme mostra a figura 26.



Figura 26 - Usuário com o terminal junto à cabeça

A estimação da SAR depende fortemente da posição exata do aparelho com relação à cabeça, e do formato exato e características elétricas da cabeça – todas quantidades variáveis. Todos estes fatores podem levar os valores de SAR estimados a valores próximos aos limites recomendados. De fato, simulações indicam que, para uma situação típica na qual um celular irradiando 0,6 W rms por uma antena monopolo afastada 2 cm da cabeça do usuário, a SAR atinge valores em torno do limiar de 1,6 W/kg [15]. Atualmente os sistemas operam com potências menores que 600mW.

Ainda assim, o FCC [30, 31] através da norma FCC-96-326 entende que a maioria dos celulares digitais não irradia potência alta o suficiente para causar efeito térmico. Isto se reflete em uma de suas determinações, que obriga os fabricantes de terminais portáteis a apresentar valores de SAR se a potência puder ultrapassar 0,74 W, quando a maioria dos aparelhos trabalha no máximo com 0,6 W. Recentemente, as autoridades suecas publicaram os resultados de medidas de SAR dos aparelhos portáteis de 21 fabricantes [3]. Em 2003 foram homologados pela Anatel (Res. 242) 90 novos modelos de terminais, sendo 56 GSM, 22 CDMA e 12 TDMA. E em 2004, foram homologados 129 aparelhos com a SAR variando de 0,083 a 1,55 W/Kg. Nenhum alcançou o valor limite da norma europeia (2W/Kg). Mais detalhes podem ser encontrados em [4]. O estudo utilizou os aparelhos em sua máxima potência, embora raramente eles operem no máximo, já que os sistemas celulares controlam a potência transmitida do aparelho de acordo com a distância para a ERB mais próxima. Quanto mais próximo da ERB, menor a potência de transmissão do aparelho [7, 9].

Destaca-se, ainda, a norma NCRP (Report 86) – “Efeitos Biológicos e Critérios de Exposição para campos Eletromagnéticos de Radiofrequência na faixa de 300KHz a 100GHz”. Norma do *National Council on Radiation Protection and Measurements* [33], órgão sem fins lucrativos, que trata de estudos e elaboração de recomendações com foco na população sobre os tipos de radiações eletromagnéticas (ionizante e não-ionizante).

Com abrangência e aceitação mundial, a norma ICNIRP 1997 – “Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo (até 300GHz)” é um documento da *International Commission on Non-ionizing Radiation Protection* – Comissão Internacional para Proteção à Radiação Não-Ionizante, entidade independente que tem o aval de

diversas organizações, dentre elas a OMS e OIT - Organização Internacional do Trabalho. Em 1998 publicou suas diretrizes [6] que foram transformadas em recomendações pelo CENELEC (*Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*) que inclui 19 países. A SAR limiar é a mesma da C95.1, para exposição de corpo inteiro (0,08 W/kg). A diferença recai no tempo de exposição (6 minutos). Para exposição local, o valor é um pouco diferente (2 W/kg), além do tempo de exposição (6 minutos) e do peso da amostra tomada (10g). A tabela 6 resume os limites de SAR para exposição total e parcial segundo a norma do ICNIRP na faixa de frequência de 100KHz a 10 GHz tanto para exposição ocupacional quanto para população em geral.

Categoria da exposição	SAR média de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/10g)	SAR localizada (membros) (W/kg/10g)
Ocupacional	0.4	10	20
Público em geral	0.08	2	4

Tabela 6 - Limitações de SAR baseada na norma do ICNIRP para a faixa de 100 kHz a 10GHz

Note que a relação de 5:1 é encontrada nas comparações das restrições básicas de exposição ocupacional com as de público em geral, tanto para a norma americana quanto para a norma européia conforme mostram as tabelas 5 e 6. A grande dificuldade e a imprecisão das estimativas de SAR levaram à necessidade de se estabelecer uma relação entre esta grandeza e uma outra que pudesse ser prontamente medida. Para a faixa de microondas, a grandeza em questão é a densidade de potência de onda plana equivalente.

4.2 Níveis de referência para exposição humana

Pela dificuldade e imprecisão de se medir a SAR em um animal ou em um ser humano, houve a necessidade de se estabelecer métodos que relacionam os valores admitidos de SAR no interior do corpo com medidas realizadas fora do corpo. Para a faixa de microondas, a grandeza associada a medidas externas é a densidade de potência de onda plana equivalente, cuja unidade de medida mais usual é W/m^2 ou mW/cm^2 . A densidade de potência também pode ser calculada a partir do campo elétrico (E, em V/m) ou do campo magnético (H, em A/m), conforme abordado no capítulo 5 (equação 18).

Os valores medidos ou calculados em qualquer tipo de exposição devem ser comparados com os níveis de referência da norma em vigor. As tabelas 7, 8 e 9 mostram, respectivamente, os níveis de referência para exposição ocupacional e exposição para o público em geral das normas ANSI/IEEE, ICNIRP para a faixa de frequência de 100kHz a 300GHz e do FCC para a faixa de 300kHz a 100GHz.

Categoria da exposição	Faixa de Frequências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência S (mW/cm^2)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.1 - 3	614	16.3/f	-	6
	1- 30	1842	16.3/f	-	6
	30 - 100	61.4	16.3/f	-	6
	100 - 300	61.4	0,163	1.0	6
	300 -3000	-	-	f/300	6
	3000 - 15000	-	-	10	6
	15000 - 300000	-	-	10	$616000/f^{1.2}$
Público em geral	0.1-1.34	614	16.3/f	-	6
	1.34-3.0	823.8/f	16.3/f	-	$f^2/0.3$
	3-30	823.8/f	16.3/f	-	30
	30-100	27.5	$158.3/f^{1.668}$	-	30
	100-300	27.5	0.0729	0.2	30
	300 -3000	-	-	f/1500	30
	3000 - 15000	-	-	f/1500	90000/f
	15000 - 300000	-	-	10	$616000/f^{1.2}$

Tabela 7 - Níveis de referência da norma ANSI/IEEE na faixa de 100 kHz a 300 GHz

Categoria da exposição	Faixa de Frequências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência S (mW/cm ²)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.065- 1	610	1.6/f	-	6
	1- 10	610/f	1.6/f	-	6
	10 - 400	61	0.16	1.0	6
	400 - 2000	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	f/400	6
	2000 -300000	137	0.36	5	6(f<10GHz) 68/f ^{1.05} (f>10GHz)
Público em geral	0.15-1	87	0.73/f	-	6
	1-10	87/f ^{1/2}	0.73/f	-	6
	10-400	28	0.73	0.2	6
	400-2000	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	f/2000	6
	2000-300000	61	0.16	1.0	6(f<10GHz) 68/f ^{1.05} (f>10GHz)

Tabela 8 - Níveis de referência da norma ICNIRP na faixa de 100 kHz a 300 GHz

Categoria da exposição	Faixa de Frequências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência* S (mW/cm ²)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.3-3	614	1.63	100*	6
	3-30	1842/f	4.89/f	(900/f ²) *	6
	30-300	614	0.163	1.0	6
	300-1500	-	-	f/300	6
	1500-100000	-	-	5.0	6
Público em geral	0.3-3	614	1.63	100	30
	3-30	824/f	2.19/f	182/f ²	30
	30-300	27.5	0.073	0.2	30
	300-1500	-	-	f/1500	30
	1500-100000	-	-	1.0	30

f - frequência em MHz

* densidade de onda plana equivalente

Tabela 9 - Níveis de referência da FCC para a faixa de 300KHz a 100GHz

A densidade de potência associada aos limiares da norma C95.1 (ANSI/IEEE) e da FCC na faixa de telefonia celular para exposição ocupacional de acordo com as tabelas 7 e 9 é dada por:

$$\frac{f}{300} \left(\frac{mW}{cm^2} \right) \quad (1)$$

Para exposição do público em geral a fórmula é:

$$\frac{f}{1500} \left(\frac{mW}{cm^2} \right) \quad (2)$$

onde f é a frequência em MHz.

Na Europa, os limiares segundo a ICNIRP na faixa de telefonia celular para exposição ocupacional e exposição do público em geral, são dados respectivamente por (3) e (4) conforme indicado na tabela 8.

$$\frac{f}{400} \left(\frac{mW}{cm^2} \right) \quad (3)$$

e

$$\frac{f}{2000} \left(\frac{mW}{cm^2} \right) \quad (4)$$

Comparando as tabelas 7 (ANSI/IEEE) e 8 (ICNIRP) na faixa de frequências de interesse, a de telefonia celular, observa-se que os limites são relativamente próximos, porém, os limiares de segurança propostos pela ICNIRP são mais restritivos. O tempo médio de exposição ocupacional proposto para ambas as normas é de 6 minutos. Para exposição do público em geral o tempo médio de exposição é de 30 minutos para a norma americana e de 6 minutos para a européia.

As figuras 27 e 28 mostram graficamente os níveis máximos de exposição permissíveis em termos de campos E, H e de densidade de potência, respectivamente, para ambientes controlados (exposição ocupacional) e para ambientes não-controlados (exposição do público em geral) de acordo com a ANSI/IEEE - norma C95.1, de 1999 para a faixa de 3KHz a 300GHz.

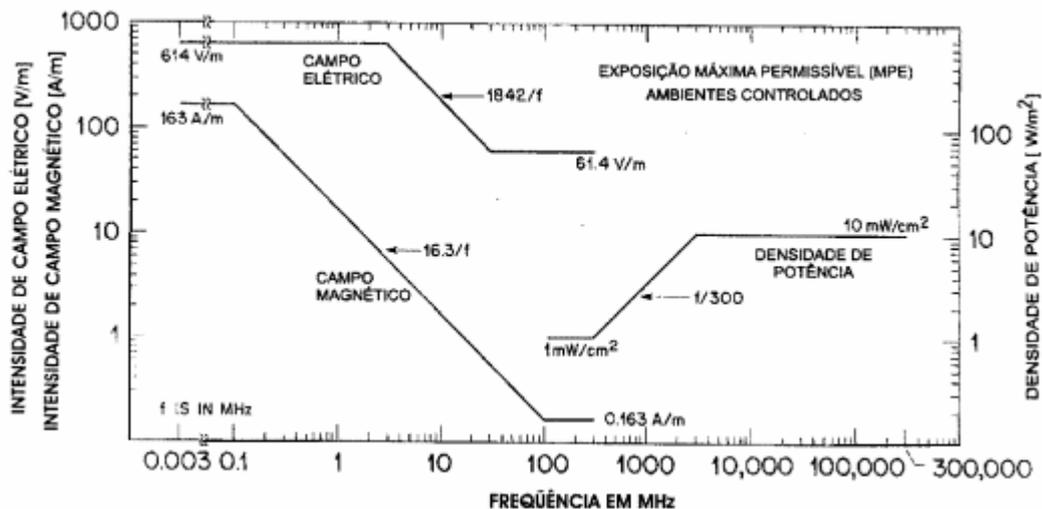


Figura 27 - Níveis máximos de exposição permissíveis em termos de intensidade de campos e de densidade de potência para ambientes controlados segundo a ANSI/IEEE (norma C.95.1, 1999) para a faixa de 300 Hz a 300 GHz

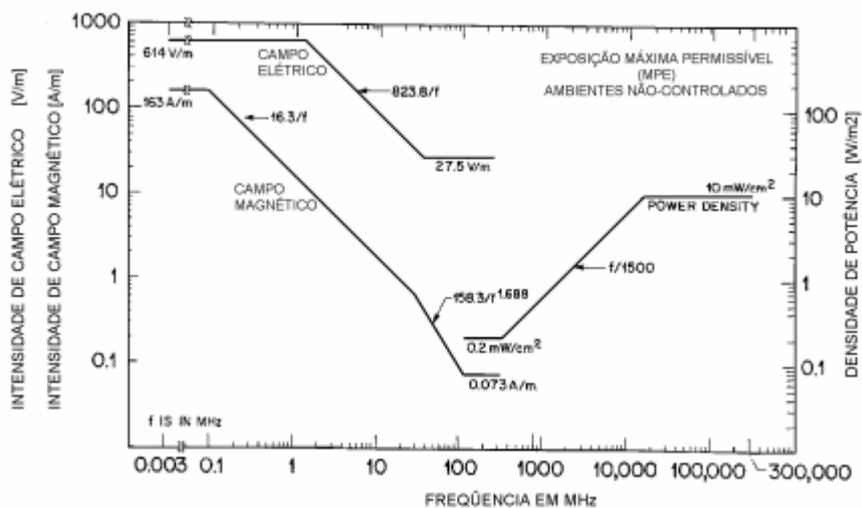


Figura 28 - Níveis máximos de exposição permissíveis em termos de intensidade campo e de densidade de potência para ambientes não-controlados segundo a ANSI/IEEE (norma C.95.1, 1999) para a faixa de 300 Hz a 300 GHz

Nota-se que na faixa de frequência celular os gráficos reproduzem as fórmulas (1) e (2) já mostradas nesta seção. A seguir, são mostrados os limites a campos de RF adotados em alguns países [34].

- ✓ Austrália - 2 W/m^2 ou $200 \mu \text{ W/cm}^2$ para exposição da população em geral;
- ✓ Polônia - $0,1 \text{ W/m}^2$ ou $10 \mu \text{ W/cm}^2$ limite único de exposição;
- ✓ Nova Zelândia segue o ICNIRP;

- ✓ Canadá segue o FCC;
- ✓ Inglaterra (2000) segue o ICNIRP;
- ✓ Suíça - $0,0042 \text{ mW/cm}^2$ – 900MHz;
 $0,0095 \text{ mW/cm}^2$ – 1800MHz;
- ✓ Itália - $0,10 \text{ mW/cm}^2$ – ocupacional;
 $0,0025 \text{ mW/cm}^2$ – população em geral.

Em alguns casos, os limites são mais restritivos que os das normas internacionalmente aceitas mostradas nesta seção, o que significa uma incerteza ou desconfiança, por parte destes países, quanto aos níveis de exposição adotados como seguros à saúde humana pelas referidas normas.

4.3 Regulamento aprovado pela Anatel para exposição a campos de RF

No Brasil de acordo com a Lei Geral das Telecomunicações – Lei nº 9.472 de 16 de junho de 1997, art.1º, inciso XII, compete à Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL [4] a expedição de normas e padrões a serem cumpridos pelas prestadoras de serviços de telecomunicações quanto ao equipamento que utilizam. Em dezembro de 1999, a Anatel publicou as *Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo na Faixa de Radiofrequências de 9KHz a 300GHz*, basicamente uma tradução das recomendações da ICNIRP. Até aquela data o Brasil utilizava a Norma Reguladora NR-15, aperfeiçoada pela NR-9, que tratava apenas de exposição ocupacional [35]. Na falta de uma norma brasileira para proteção da população em geral, várias cidades começaram a elaborar suas próprias normas, como por exemplo, Campinas, Porto Alegre, Juiz de Fora, Belo Horizonte, Criciúma e outras. Atualmente a cidade de Niterói está com um projeto aprovado pela Câmara Municipal. A proteção da população exposta às radiações de RF é de interesse nacional e não apenas local. Cabe ao governo federal em harmonia com os Estados e Municípios a elaboração de normas adequadas para proteção da população. Portanto, através da resolução 303 de 02 de julho de 2002, a Anatel aprovou o “Regulamento Sobre a Limitação da Exposição a Campos

Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo na Faixa de Radiofrequências de 9KHz a 300GHz” baseado nas diretrizes do ICNIRP [6].

A figura 29 ilustra os limites de campo elétrico (V/m) e de densidade de potência (W/m^2), para exposição ocupacional e da população em geral, em conformidade com a resolução 303 da Anatel.

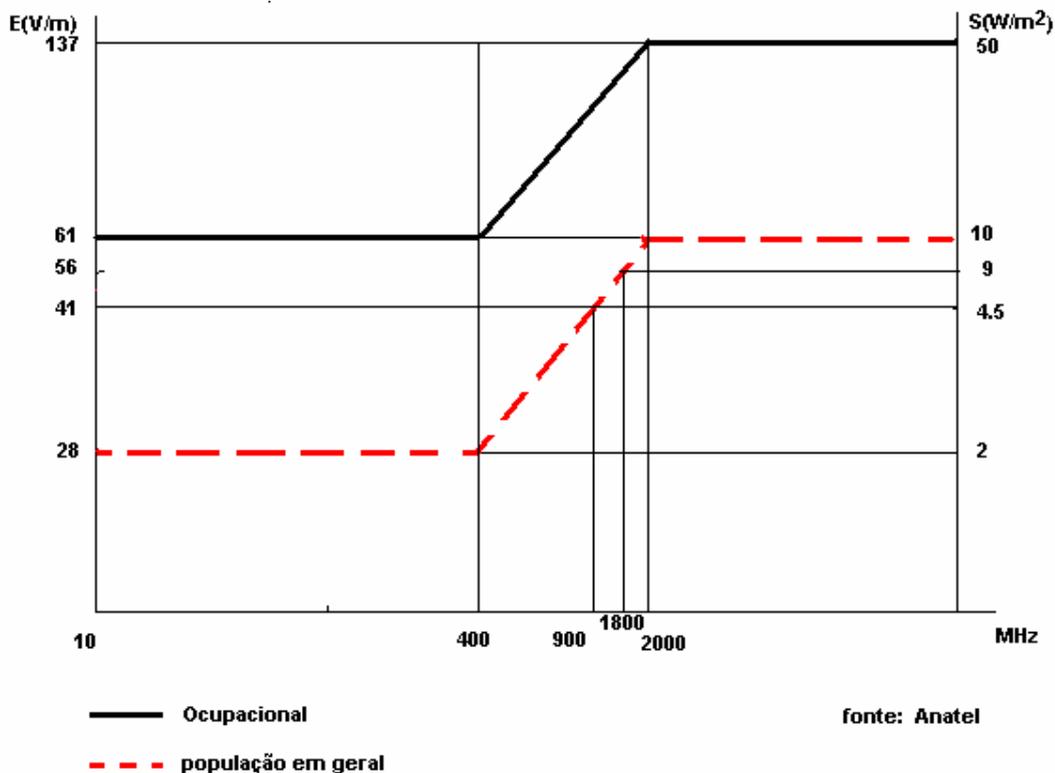


Figura 29 - Limites de exposição a campos de RF de acordo com a resolução 303 da Anatel

A tabela 10 apresenta alguns valores típicos de densidade de potência que retratam o teor das diretrizes atuais [15].

DENSIDADE DE POTENCIA [W/m^2]	EFEITO ASSOCIADO
0,002	Nível típico próximo a ERB moderna
0,1	Nível Máximo próximo a ERB
5 a 10	Limiar C95. 1 (0,9 e 2,0 GHz)
40	Relatos não confirmados de efeitos
400	Efeitos reproduzíveis
1000	Perigo claro

Tabela 10 - Densidades de potência e efeitos térmicos associados [15]