

Considerações sobre os Efeitos à Saúde Humana da Irradiação Emitida por Antenas de Estações Rádio-base de Sistemas Celulares

Maurício Henrique Costa Dias e Gláucio Lima Siqueira

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC)

Resumo Este trabalho aborda a questão dos efeitos biológicos da irradiação de rádio-frequência das antenas de estações rádio-base (ERB) de sistemas celulares. O assunto tem sido abordado de forma leviana por publicações não-especializadas de grande penetração na população em geral, levando a uma histeria que tem se refletido em ações na justiça contra as operadoras locais e na atuação recente de autoridades municipais que vêm sendo cobradas para legislar e fiscalizar as ERBs. Diante do quadro atual, e da experiência própria com medição de campo, nosso grupo de pesquisa resolveu apresentar uma visão crítica sobre o tema. Inicialmente, discutem-se os chamados efeitos térmicos, que são os mais conhecidos e estudados, e formam a base das atuais diretrizes internacionais que recomendam limiares máximos de exposição à irradiação na faixa de frequência dos celulares. Tendo em vista estes limiares, o texto apresenta ainda uma avaliação teórica sobre os valores típicos de irradiação esperados, e estimativas baseadas em medições do próprio grupo e de outros pesquisadores. Um resumo atualizado sobre as recentes pesquisas que tentam associar a irradiação dos celulares ao câncer e a outros efeitos fisiológicos e comportamentais também é apresentado. Por fim, é feita uma breve análise sobre o comportamento da sociedade quanto à esta controversa questão.

Palavras-chave Comunicações móveis, ERB, sistemas celulares, efeitos biológicos, câncer.

Abstract This work discusses the biological effects of Cellular Radio Base Stations (ERBs) radio frequency (RF) radiation. This subject has been widely and irresponsibly presented on non-specialized literature causing a great deal of public concern. As a consequence, a hysterical approach has lead to actions against Cellular Operating Companies and demand for local authority legislation and inspection. Based on this and on our long-term experience on RF signal field measurements, a critical view of the subject is addressed. Firstly, the radiation thermal effect is

onda de pesquisas explorando possíveis efeitos da irradiação dos celulares à saúde humana. Em particular, o efeito que vem dominado as discussões públicas tem sido o câncer, mas este não é o único efeito pesquisado.

A literatura gerada sobre os estudos dos efeitos biológicos da irradiação de microondas é da ordem de milhares de trabalhos, que vêm sendo feitos desde a Segunda Guerra Mundial [3]. A grande maioria não apresenta evidências convincentes sobre possíveis efeitos adversos. Algumas centenas de pesquisas, entretanto, apresentam resultados convergentes e reprodutíveis que dão margem a preocupações. Tais artigos formaram a base para o estabelecimento de normas ou diretrizes de segurança quanto à exposição à irradiação de ondas não-ionizantes, como a C95.1 já citada e outras muito semelhantes emitidas em outros países [4].

Na verdade, mesmo os estudos que fundamentaram a elaboração das diretrizes de segurança existentes não podem ser considerados ainda como prova cabal de que os celulares sejam totalmente seguros. Poucos dos estudos que verificam se a exposição a RF é perigosa para o tecido animal envolveram trabalho padrão de toxicologia (o tipo que um laboratório químico ou farmacêutico precisaria realizar para obter aprovação regulamentar de um novo produto). Mais ainda, poucos destes estudos lidam especificamente com os tipos de modulação pulsada atualmente em uso, ou com condições de exposição típicas às produzidas por aparelhos celulares [3].

O rol de pesquisas é controverso em diversos aspectos. Alguns efeitos verificados por pesquisas com animais ou com células isoladas por exemplo, não são ainda bem compreendidos quanto a reais implicações de dano à saúde. Vários destes efeitos são relatados mesmo quando em níveis estatisticamente baixos, e comumente não conseguem ser reproduzidos por outros pesquisadores. E alguns trabalhos reportam efeitos mesmo sob baixos níveis de exposição. É importante salientar que os comitês de elaboração das diretrizes de segurança tiveram acesso a tais pesquisas, mas via de regra têm concluído que elas não provêem base suficiente para algum tipo de recomendação [3].

Uma das mais completas referências atuais sobre o assunto é o “International EMF Project”, um projeto de pesquisa estabelecido em 1996 pela World Health Organization (WHO – www.who.int/peh-emf/) para avaliar as evidências científicas existentes sobre possíveis efeitos de campos eletromagnéticos à saúde, incluindo os emitidos por celulares e suas ERB. Uma revisão crítica sobre a literatura existente associando possíveis efeitos biológicos à irradiação emitida especificamente por ERB de sistemas móveis é disponibilizada ao público, sendo atualizada periodicamente [5].

Na contramão do comportamento usual dos comitês de especialistas, um grupo formado pelo governo britânico emitiu recentemente um relatório com a análise sobre os possíveis efeitos maléficis dos celulares, que incluía ainda recomendações de segurança ao público em geral. O grupo era liderado por Sir William Stewart, e o relatório ficou conhecido como

“relatório Stewart” [6]. Como com os demais comitês, concluiu-se que o balanço de evidências não indica efeitos à saúde da população em geral, quando exposta a níveis abaixo dos limiares de segurança atuais. Entretanto, acrescentou-se não ser possível naquele momento afirmar que a exposição à irradiação de microondas seja totalmente livre de causar potenciais efeitos adversos à saúde. A bem da verdade, este último comentário caberia para qualquer tecnologia, mas foi utilizado como gancho para a abordagem adotada em suas recomendações, que incluem uma série de procedimentos cautelares. Em particular, a recomendação para se evitar a instalação de ERB próximo a escolas, e a que desencoraja as operadoras a promoverem o uso de celulares por crianças, ainda que bastante questionáveis [5], ganharam atenção especial da mídia local e internacional, com reflexos inclusive no Brasil.

Apesar dos esforços da comunidade científica em esclarecer a população sem gerar temores infundados generalizados, observa-se que infelizmente esta última tendência é a que tem sobressaído aqui no Brasil. A mídia não especializada vem publicando matérias em volume cada vez maior, com foco distorcido sobre a realidade científica dos fatos, causando temor desnecessário à população. Em particular, a distorção mais clara que se constata é a associação das ERB, e não dos aparelhos, aos potenciais efeitos biológicos, quando o consenso na comunidade científica é que justamente a situação inversa corresponde ao problema pesquisado na maioria esmagadora dos casos [5]. Outro fator que tem agravado o frenesi sobre o assunto foi a divulgação maciça, na mídia não especializada, de um trabalho da Universidade Federal da Paraíba, inédito no país, avaliando alguns efeitos da irradiação de microondas em ratos de laboratório [7]. Embora claramente destacado pelos autores que os resultados são preliminares, carecendo ainda de confirmação por repetição e cuidadosa interpretação das estatísticas medidas, algumas reportagens não especializadas conferem ao trabalho um status de evidência definitiva da nocividade dos celulares aos leitores leigos [8]-[9].

Tomando equivocadamente as ERB como “bode expiatório”, a população vem se mobilizando para se proteger de eventuais danos à saúde, de modo semelhante ao que já havia ocorrido em outras partes do mundo. Até mesmo uma associação, a ABRADECEL (associação brasileira de defesa dos moradores e usuários intranquitos com equipamentos de telecomunicações celulares), foi criada para pressionar as autoridades a agirem preventivamente contra as operadoras [10]. O cenário regulamentar conflitante ajuda a aumentar o caos. Há interpretações da Constituição Federal que entendem como competência municipal legislar sobre níveis de proteção de irradiação, como ocorre em Campinas e Porto Alegre, por exemplo [4]. Entretanto, legislar sobre telecomunicações é privativo da União, cabendo à Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) esta tarefa. Embora a ANATEL tenha posto sua proposta de regulamento de exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência (RF) [11] à consulta pública por duas ocasiões em 2001 (285 de 30/03/01 e 296 de 8/05/2001), até a presente data o regulamento ainda não havia sido publicado. A base da proposta são as diretrizes de segurança da “International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection” (ICNIRP) adotadas na Europa [12], e

citadas pela própria ANATEL como a referência provisória adotada pela agência desde 1999.

Diante do confuso cenário atual, começam a surgir diversas ações na Justiça contra as operadoras, com ganho de causa, ao contrário do que acontece em outros países. Recentemente, sob alegação do temor em relação à saúde, os moradores de um prédio no Rio de Janeiro conseguiram impedir na Justiça a instalação de uma antena no edifício vizinho [13]. O argumento usado foi um artigo do Decreto municipal 19.260, de 8 de dezembro de 2000 [14], que proíbe a instalação de antenas a menos de 30 metros de outra edificação de altura superior. É interessante salientar que a distância limite do referido artigo é um parâmetro urbanístico, sem qualquer referência a proteção de níveis de irradiação, que o próprio decreto (art 2º) destaca como algo a ser regulado pela ANATEL.

O presente texto se propõe a apresentar uma revisão crítica atualizada sobre os efeitos biológicos da irradiação de microondas, com foco em particular no papel das ERB. Para isso, o trabalho foi organizado em mais cinco seções. A seção II aborda os efeitos conhecidos e as diretrizes que estabelecem níveis de exposição máximos de irradiação não-ionizante, que protegem essencialmente contra aqueles efeitos. A seção III apresenta uma análise teórica e relatos de medidas (próprias e de outros pesquisadores) dos níveis de densidade de potência esperados ao redor de ERBs. Em seguida, um resumo das pesquisas sobre os potenciais efeitos biológicos não totalmente conhecidos é apresentado, avaliando ainda a controvérsia envolvida em algumas pesquisas e na interpretação de seus resultados, começando com o câncer e suas variações na seção IV. Os demais efeitos em estudo são apresentados na seção V. Uma breve análise sobre o atual comportamento da sociedade quanto ao assunto em questão é tecida na seção VI. Por fim, a seção VII oferece algumas considerações finais.

II. EFEITOS BIOLÓGICOS CONHECIDOS E RECOMENDAÇÕES DE NÍVEIS DE SEGURANÇA

II.1. EFEITOS CONHECIDOS DA IRRADIAÇÃO NÃO-IONIZANTE

A irradiação de campos eletromagnéticos é classificada como ionizante ou não-ionizante. O primeiro grupo corresponde a campos em frequências mais elevadas que as das emissões de luz, como por exemplo os raios gama e os raios-X. Elas são ditas ionizantes por possuir energia suficiente para quebrar ligações químicas. É desta forma que os raios-X podem danificar o material genético das células, levando a doenças como o câncer. Em frequências mais baixas, nas quais as microondas se incluem, isto não acontece, daí elas serem chamadas de não-ionizantes [5].

Os mecanismos de interação dos campos eletromagnéticos não-ionizante com sistemas biológicos pode ser agrupado em dois grandes tipos: efeitos térmicos; e efeitos não-térmicos, dependendo

se eles são atribuíveis à deposição de calor (térmicos) ou à interação direta do campo com a substância do tecido, sem componente de aquecimento significativa (não-térmico ou atérmico) [4]. O efeito biológico mais aparente nas frequências de microondas é o térmico.

Os efeitos térmicos surgem diretamente do aquecimento do tecido, como resultado da absorção de campo eletromagnético em um meio dissipativo. Parte da potência é refletida pela pele, e parte penetra, dissipando-se rapidamente com a profundidade [1]. Tal absorção deve-se principalmente ao movimento dos dipolos de água e de íons dissolvidos. A proporção de água é um importante parâmetro na determinação das propriedades dielétricas do tecido. A taxa com que o corpo humano absorve energia eletromagnética varia com a frequência, mas pelo menos numa faixa que inclui a dos celulares esta variação é mínima. Por sua vez, a resposta térmica de um corpo depende: da taxa específica de absorção (SAR); da cobertura do corpo; do sistema termo-regulatório; da condição fisiológica; do meio ambiente; e no caso de irradiação apenas sobre uma parte específica do corpo, da vascularização naquela região. Sob circunstâncias normais, os vasos sanguíneos se dilatam e o aquecimento é removido pela corrente sanguínea. Portanto, o risco principal de dano térmico se concentra nas áreas de baixa vascularização [4], como os olhos e a têmpora.

De fato, o órgão mais suscetível a um dano por efeito térmico é a lente ocular. Sendo composta por uma proteína similar a albumina dos ovos, ela fica branca quando aquecida, formando catarata. Este efeito é de interesse particular para alguns profissionais que operam transceptores portáteis em que a antena fica muito próxima aos olhos [4]. Pesquisadores médicos concordam que a formação de catarata poderia ser induzida por aquecimento se uma SAR de 100 W/kg fosse medida continuamente por mais de 100 min [1]. Queimaduras externas ou internas, exaustão e choque térmico são outros efeitos térmicos conhecidos que ocorrem apenas sob exposições de alta intensidade [5].

Entretanto, as taxas a que os usuários de telefones celulares estão submetidos estão muito abaixo disto, seja pela irradiação emitida pelo aparelho, seja pela emitida pelas ERB. Mais especificamente, os dois casos que deram margem aos questionamentos em geral sobre os efeitos da irradiação são: a irradiação emitida localmente sobre a cabeça de um usuário por seu terminal em conversação; e a irradiação recebida pelo corpo inteiro de uma pessoa qualquer que fique muito próxima da direção principal de irradiação de uma antena de uma ERB. A primeira situação é a mais estudada, por ser obviamente muito comum, e por apresentar os maiores valores de taxa de absorção. Porém, ambas são tratadas nas diretrizes e recomendações de exposição em níveis seguros desenvolvidas internacionalmente

II.2. RECOMENDAÇÕES DE NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO SEGUROS

As normas de exposição internacionais são elaboradas para proteger contra todos os danos

identificados causados pela energia de 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 um celular quanto pela exposição a uma ERB [3]. De modo geral, os comitês de especialistas que elaboraram as diretrizes atuais avaliam que os relatos indicando potenciais efeitos não-térmicos não constituem evidência consistente o suficiente para se estabelecer novos limiares.

Nos EUA, a recomendação de referência é a norma C95.1 desenvolvida pelo IEEE. A atual C95.1 foi adotada pela ANSI (American National Standards Institute) norte-americana pela primeira vez em 1966. Foi renovada e atualizada em 1974, 1982, 1991 e 1999, estando em constante revisão (atualmente mais de 1400 artigos estão sendo avaliados) [3]. 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, 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 [3].

Na revisão de 1991 [2], estabeleceu-se uma diferença entre exposição “controlada” e “não-controlada”, sendo a esta última dado 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 versão atual [15] é praticamente igual a de 1991. Apenas foi incorporado ao texto a norma suplementar IEEE C95.1a-1998. Esta incorporação acarretou em pequenas mudanças associadas à certos requisitos de medida e de cálculo de médias.

Um dos principais motivos da margem adicional de 5 da revisão de 1991 da C95.1 é a possível existência de indivíduos mais sensíveis aos efeitos da irradiação que outros. Ainda assim, tais grupos não foram de fato descobertos [5].

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; no local, toma-se a média obtida sobre qualquer 1 g de tecido. Embora na faixa de frequências em questão a SAR seja a medida que melhor permite avaliar os efeitos da irradiação eletromagnética, na prática não há como 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) [4].

A situação de exposição local mais estudada é a do uso do terminal junto à cabeça. A estimativa 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 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 [4].

Ainda assim, o FCC 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. O Japão e diversos países na Europa adotam esta mesma regra [1]. E recentemente, as autoridades suecas publicaram os resultados de medidas de SAR dos aparelhos portáteis de 21 fabricantes. Nenhum alcançou o valor limite da norma européia. 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 [16].

A 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 equivalente é a densidade de potência de onda plana equivalente.

A densidade de potência associada aos limiares da norma C95.1 é dada por:

$$f/150 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

onde f é a frequência em MHz. A tabela 1 apresenta alguns valores típicos de densidade de potência que retratam o teor das diretrizes atuais.

Densidade de potência [W/m ²]	Efeito associado
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 1 - Densidades de potência e efeitos térmicos associados [5].

Na Europa, a ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) publicou em 1998 suas diretrizes [12], transformadas em recomendação pelo CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) que inclui 19 países [4]. Esta diretriz é muito semelhante à C95.1. 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 (10 g). A fórmula de densidade de potência, por sua vez, é dada por:

$$f/200 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2)$$

onde f é a frequência em MHz. A legislação de outros países como Rússia, Canadá e Austrália também apresentam pequenas diferenças com relação à C95.1 [4]. Aqui no Brasil, a tendência é seguir a norma européia, conforme sinalizado pela ANATEL [11].

A base atual de evidências científicas indicando riscos à saúde humana em níveis de exposição iguais ou menores que os limiares recomendados é limitada e controversa em diversos aspectos. O único consenso aparente com relação a tais indícios é que novas pesquisas são necessárias. Entretanto, mesmo entre os cientistas defensores da periculosidade da exposição em níveis baixos, em geral os níveis de exposição associados à irradiação do terminal portátil é que são questionados [4], e não os associados à irradiação de uma ERB, normalmente muito mais baixos, conforme detalhamento na seção seguinte.

III. DENSIDADE DE POTÊNCIA PRÓXIMO A UMA ERB

III.1. TEÓRICA

Em condições de campo distante e espaço-livre, que corresponde à menor atenuação possível com a distância, a densidade de potência a uma distância d da ERB é dada por:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \quad (3)$$

onde $EIRP$ é a potência irradiada pelo setor em questão da ERB multiplicada pelo ganho da antena em relação à antena isotrópica.

Conforme destacado previamente, a população em geral tem demonstrado apreensão quanto aos efeitos associados ao campo irradiado pelas ERB, quando o problema dominante analisado pelas pesquisas é o da irradiação do terminal portátil sobre a cabeça do usuário. Tomando-se a equação (3) e a densidade de potência limiar de segurança mais restritiva da equação (2), é possível estimar a distância da ERB associada a este limiar. Para essa estimativa teórica, será adotada uma análise de “pior caso”. Nesta abordagem, considera-se uma ERB típica TDMA com três setores, com o número máximo de portadoras por setor alocados (vinte e um), e o ponto onde a densidade de potência será avaliada se encontra na

direção de máxima irradiação de uma das antenas. Apenas uma das antenas será considerada no cálculo, já que a contribuição das demais é naturalmente muito pequena na direção analisada, em função da diretividade associada a cada uma. Considera-se ainda que todas as portadoras estão em operação no momento da estimação da densidade de potência, e todas com o mesmo nível de intensidade. Com valores típicos de potência transmitida variando entre 30 e 45 dBm, e uma antena com ganho típico de 10 dBi, calcula-se as distâncias associadas ao limiar de segurança da ICNIRP, conforme apresentadas na tabela 2. Neste cálculo, a consideração sobre o número de canais é tomada aditivamente, somando-se as potências das vinte e uma portadoras citadas previamente.

P_t [dBm]	Distância estimada de limiar [m]	
	900 MHz	1900 MHz
30	1,927	1,326
33	2,722	1,873
36	3,845	2,646
39	5,431	3,738
42	7,672	5,28
45	10,837	7,458

Tabela 2 - Distâncias teóricas estimadas associadas ao limiar de segurança europeu para densidade de potência.

Os valores acima estimados são tão pequenos que mal caem na zona de campo distante de uma antena típica de uma ERB – para uma antena operando em 900 MHz com dimensão máxima de 1 a 2 m, a distância mínima de campo distante seria de 6 a 24 m. Ainda assim, eles servem como indicação que existem circunstâncias onde o público pode ter acesso a áreas onde os limiares podem ser ultrapassados. A situação mais representativa deste caso corresponde a um apartamento à mesma altura de uma antena de uma ERB, com visada direta para a direção principal da antena. De fato, tal situação é mencionada por Moulder [5], que cita a distância típica de 6 m, em concordância com os valores da tabela 2.

Deve-se ressaltar que as potências utilizadas no cálculo acima são tipicamente macro ou mini-celulares. As potências para microcélulas ficam num patamar bem mais baixo, sendo 20 dBm um valor típico. Esta distinção é importante pois é comum a instalação de antenas microcélulas em postes ou paredes de edifícios em alturas relativamente baixas (3 m), sem área ou grade de proteção.

É importante acrescentar ainda que a situação exemplificada de “pior caso” é bastante improvável. Primeiramente, apenas estações em área de muita demanda utilizam todas as portadoras, e apenas em horários de pico elas estarão ocupadas simultaneamente. Mais ainda, a equação (4) representa uma situação de propagação idealizada. Na prática, o índice de decaimento com a distância assume valores maiores que 2 (3 a 5 tipicamente). Outro argumento relevante se refere à grande atenuação em direções verticais em função do diagrama de irradiação da antena. Próximo a estações macro-celulares que

ocupem uma área própria, torres com diferentes alturas são utilizadas. Além da proteção natural conferida pela irradiação reduzida na vertical, a distância que separa a antena do solo atenua ainda mais o sinal recebido nesta condição. Com relação a antenas sobre tetos de edifícios, moradores de um andar imediatamente abaixo têm a proteção do próprio teto, que atenua bastante o sinal (10 a 20 dB tipicamente), além da já citada atenuação direcional vertical da antena.

III.2. MEDIDA

A avaliação teórica sobre o problema indica que apenas muito próximo à antena de uma ERB é possível, porém improvável, estar exposto a valores em torno do limiar de segurança. Entretanto, a melhor forma de se verificar isto é através de medidas.

Utilizando uma antena e amplificador apropriados, ligados a um analisador de espectro cuja saída de vídeo é amostrada digitalmente por um computador com placa aquisitora de dados, é possível verificar a densidade de potência em um determinado local, nos moldes do equacionamento detalhado a seguir. Sob a condição de campo distante, o nível de potência recebido, na entrada de uma antena receptora é dado por:

$$P_R = \frac{P_{med} \cdot L_C}{G_R \cdot G_{LNA}} \quad (4)$$

onde P_R é a potência na entrada da antena receptora, P_{med} é a potência medida, G_R é o ganho da antena receptora, L_C contabiliza a perda no cabo e nos conectores, e G_{LNA} é o ganho do amplificador de baixo ruído (LNA – “Low Noise Amplifier”) necessário para realizar a medição. Sendo A_{ef} a área efetiva da antena receptora, a relação entre potência recebida e densidade de potência é dada por:

$$P_R = S \cdot A_{ef} \quad (5)$$

A área efetiva de uma antena é definida por:

$$A_{ef} = G \frac{I^2}{4p} \quad (6)$$

onde G é o ganho da antena e I o comprimento de onda na frequência da portadora. Substituindo-se (6) em (5), estima-se o valor medido da densidade de potência.

Recentemente, nosso grupo de pesquisa vem realizando medidas próximo a ERBs de uma das operadoras de telefonia celular locais. Utilizando uma antena discônica (ganho de 2,14 dBi), o procedimento adotado consiste inicialmente em buscar a portadora estável de controle mais forte. Em seguida, grava-se no computador portátil o valor de potência medido durante um período de tempo pré-determinado. Toma-se a média temporal ao longo do período de medição como o valor de potência no local analisado. Acrescenta-se um fator de “pior caso”, que corresponde à mesma consideração aplicada na sub-

seção anterior, ou seja, considera-se a presença de vinte e uma portadoras de igual intensidade naquele local. Por fim, calcula-se a densidade de potência estimada com base nas equações (4) a (6), conforme previamente indicado. A tabela 3 apresenta os valores mais altos verificados em medições realizadas próximo a ERBs nas cidades do Rio de Janeiro e Nova Friburgo.

Local	S [W/m ²]
Friburgo	1,6 x 10 ⁻⁴
Mury	5,8 x 10 ⁻⁵
Conselheiro. Paulino	1,9 x 10 ⁻⁴
Shopping Friburgo	7,5 x 10 ⁻⁷
Campo Grande	7,5 x 10 ⁻⁶
Bento Ribeiro	4,3 x 10 ⁻⁶
Urca	8,9 x 10 ⁻⁶
Botafogo	9,6 x 10 ⁻⁶

Tabela 3 - Valores de densidade de potência estimada (S) próximo a ERBs de uma operadora de telefonia celular a partir de medidas nas cidades do Rio de Janeiro e Nova Friburgo.

Conforme esperado, observa-se que os valores verificados são muito menores que os limiares de segurança estabelecidos tanto na norma do IEEE quanto na do ICNIRP (6 e 4,5 W/m², respectivamente). Mais ainda, a ordem de grandeza dos valores está em conformidade com outras medidas ou estimativas encontradas na literatura. Segundo Moulder, por exemplo, uma ERB a 10 m do solo, na maior potência possível, pode produzir uma densidade de potência de até 0,1 W/m² no solo próximo à torre. Mas as densidades de potência efetivamente verificadas no solo têm valores na casa de 0,0001 a 0,005 W/m², muito abaixo dos níveis das diretrizes de segurança [5]

Petersen [17], por sua vez, realizou medidas próximo a torres com 40 a 83 m de altura, irradiando uma potência efetiva (incluindo ganho da antena) de 1600 W (62 dBm). O valor de densidade de potência máximo medido no solo, entre 20 e 80 m afastado da torre, foi de 0,02 W/m². Porém, a 1 m da antena, mediu-se 20 W/m², valor maior que o limiar do IEEE (6 W/m²).

Thansandote [18] realizou medidas em 5 escolas em Vancouver, Canadá, 3 das quais com ERBs próximas ou dentro delas. O máximo nível encontrado foi de 0,026, correspondente a uma base analógica sobre o telhado de uma das escolas, mas pelo menos em duas escolas, os níveis ficaram abaixo de 0,0001 W/m².

Em 2000, a UKNRPB (“United Kingdom National Radiation Protection Board”) [19] mediu 118 pontos ao redor de 17 ERBS. O valor máximo medido foi de 0,0083 W/m², com valores típicos menores que 0,001 W/m². Outra confirmação importante, embora esperada, foi a de que os níveis em ambientes fechados eram muito menores que ao ar livre.

A agência de radiocomunicações do Departamento de Indústria e Comércio britânico mediu, em 2001, níveis de irradiação de RF em 100 escolas que

possuíam ERBs nas proximidades. O máximo nível encontrado foi menor que 1% do limiar estabelecido pela ICNIRP para áreas públicas, sendo que na maioria das escolas não ultrapassou 0,1% daquele limiar [20].

IV. ESTUDOS ASSOCIANDO O CÂNCER À IRRADIAÇÃO DE MICROONDAS

Por décadas cientistas têm estudado as formas pelas quais irradiação, produtos químicos e drogas podem danificar as estruturas importantes das células, entre as quais o núcleo (onde o DNA se localiza), a mitocôndria (que gera a energia da célula) e as membranas. Como base para o trabalho, eles construíram modelos de como o câncer começa. Ele pode ser iniciado por irradiação ionizante, que tem a capacidade de separar elétrons dos átomos, e por carcinógenos, substâncias que incluem do gás mostarda à fumaça do cigarro, e que podem desarrumar processos-chave como a divisão celular [1].

Estabelecer ligações entre o câncer e a exposição ambiental de qualquer tipo é muito difícil, por causa da falta de uma causa única de câncer, e por uma série de outras razões. As agências de saúde confiam principalmente em dois tipos de estudo quando investigam agentes carcinogênicos (ou simplesmente carcinógenos) suspeitos: estudos epidemiológicos, que envolvem análises estatísticas de registros de saúde de pacientes; e testes padrão, realizados em animais ou em células [3]. Em nenhuma destas frentes tem havido evidência replicada que a irradiação de microondas cause câncer, mesmo em níveis altos de exposição [5]. A pesquisa nesta área tem sido extensa, mas ainda assim não há evidências replicadas nem de estudos epidemiológicos, nem de estudos em laboratório, nos níveis associados à exposição pública de antenas de ERBs. Os poucos relatos que indicam a associação entre câncer ou males relacionados ao câncer, são estudos com animais ainda não replicados [5].

O câncer no cérebro leva anos ou décadas para desenvolver, e tais estudos nada falam sobre riscos futuros. Detectar riscos de curto ou longo prazo de câncer não é fácil. Para detectar pequenos aumentos de risco seriam necessários estudos muito amplos, que são difíceis de controlar e usualmente controversos em sua interpretação. Qualquer estudo válido deveria avaliar o uso individual de celulares durante uma década ou mais, algo complicado dada a velocidade de desenvolvimento tecnológico na indústria [3].

Os estudos com animais também não têm suportado uma ligação entre câncer e celulares. W. R. Adey (hoje na University of California em Riverside), reportou em dois artigos recentes que a energia em 837 MHz, modulada como nos celulares digitais, e mesmo a contínua dos analógicos não causou nem promoveu câncer de cérebro em ratos (o câncer preexistente havia sido induzido por agentes químicos). Nestes trabalhos, os ratos foram submetidos a radiações de 0,3 a 2,3 W/kg de SAR, durante um período de 25 meses. Tal resultado foi confirmado por outro pesquisador (B. Zook – George Washington University em Washington, 1999) [3].

Mais ainda, os estudos com animais, embora mais fáceis de controlar que os estudos epidemiológicos, apresentam relevância incerta para a saúde humana. Por exemplo, nenhum dos estudos até o momento conseguiu representar a exposição só na cabeça de um usuário de celular; os animais são expostos de corpo inteiro. Em contrapartida, exposições de corpo inteiro apresentam probabilidade maior de produção de efeitos tóxicos que exposições parciais. De qualquer forma, este tipo de discussão envolve julgamento profissional sobre o qual especialistas normalmente discordam.

IV.1. ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS

Não há estudos ligando diretamente o câncer à irradiação nos níveis de densidade de potência normalmente encontrados emitida por ERBs, mas sim a radiações de intensidade em torno dos limiares de segurança atuais, ou maiores. Em geral, tais estudos não encontraram correlações significativas [5]. Há pelo menos quatro grandes tipos de estudo encontrados na literatura: estudos de correlação geográfica comparando taxas de câncer entre áreas com diferentes potenciais de exposição a emissão de ondas de rádio; estudos com diferentes grupos de usuários (“câncer cluster”); estudos de câncer em pessoas expostas militar ou ocupacionalmente; e estudos sobre a exposição dos usuários a seus celulares.

A WHO registra até o momento cinco pesquisas com usuários de celulares com câncer [5]. As pesquisas foram realizadas com universos da ordem de 200 a 800 pacientes, ao longo de períodos da ordem de 4 a 10 anos. Duas pesquisas foram na Europa e duas nos EUA. Nenhuma das pesquisas encontrou associações entre o uso do celular e o câncer de cérebro. Também não foi verificado nenhum tipo de tendência como resposta à exposição. E na mais recente destas pesquisas, os autores relataram que o uso de telefones celulares não pôde ser associado a um aumento do risco de neuromas acústicos (um tumor cerebral benigno).

No levantamento mais amplo aparentemente já realizado, registrado pelo National Cancer Institute dos EUA, o médico Christoffer Johansen, da Associação Dinamarquesa do Câncer, avaliou os registros de mais de 420.000 indivíduos que começaram a usar celulares entre 1982 e 1995. Comparando os registros de câncer no cérebro ou no sistema nervoso verificados naquele grupo com as taxas de incidência da doença na Dinamarca, concluiu-se que o estudo não sustentava nenhuma ligação entre o uso dos aparelhos e tumores cerebrais, nas glândulas salivares ou mesmo leucemia [21]. A expressividade deste resultado como evidência contrária da associação entre câncer e aparelhos celulares é destacada inclusive no Brasil, pelo oncologista Luiz Paulo Kowalski, diretor do departamento de cabeça e pescoço do Hospital do Câncer, de São Paulo [22].

Um trabalho comumente citado como evidência da associação entre o câncer e a exposição à irradiação de

RF é o de Goldsmith [23]-[24], epidemiologista israelense. Ele argumentou que estudos epidemiológicos sugerem o potencial carcinogênico daquela exposição, que apresentaria ainda outros efeitos (mutações e defeitos de nascença). Suas conclusões são compartilhadas por poucos cientistas. O próprio autor admite que suas referências são de fontes "secundárias", muitas das quais incompletas e faltando estimativas de dosimetria confiáveis. Mais ainda, ele afirma que não fez esforço algum para incluir relatórios em contrário, evidenciando sua tendenciosidade.

Uma pesquisa recente [25] relatou que o uso de rádio-terminais portáteis, celulares ou aparelhos similares no ambiente de trabalho por pelo menos várias horas por dia foi associado com melanoma intraocular (uveal). O uso ocupacional, segundo os autores, é cerca de quatro vezes maior que o normal. O uso dos celulares fora do trabalho não foi avaliado. Entretanto, na única referência comparável [26], os pesquisadores encontraram menos melanoma e câncer ocular que o esperado em usuários de celular. De qualquer forma, fica levantada a possibilidade de inclusão de um novo tipo de câncer ao grupo que já vem sendo estudado como potenciais riscos causados pela irradiação de RF. No momento, entretanto, dado o tamanho reduzido do experimento, a avaliação relativamente superficial da exposição, a falta de atenção a outras possíveis variáveis, como irradiação ultra-violeta por exemplo, e o suporte limitado da literatura, recomenda-se uma interpretação cautelosa de seus resultados [5].

Em suma, até o momento, os resultados de estudos epidemiológicos são inconsistentes com qualquer grande aumento (dobro ou mais) do câncer no cérebro e do câncer generalizado pelo uso de celulares. Entretanto, deve-se lembrar que os estudos epidemiológicos não apresentam a sensibilidade para detectar pequenos aumentos no risco, um problema familiar a qualquer avaliação de risco carcinogênico [3].

IV.2. ESTUDOS COM ANIMAIS E CÉLULAS

Há cerca de 10 anos, Martin Meltz, professor associado de radiologia no Centro de Ciência de Saúde da Universidade do Texas, em San Antonio – EUA, afirmou não haver evidências indicando que as microondas possam iniciar um câncer. Sua afirmação era respaldada por mais de 13 anos de estudos sobre os efeitos da irradiação ionizante, da irradiação de microondas (não-ionizante), e de drogas em células saudáveis e cancerosas [1]. O mesmo ele não pôde afirmar quanto a possibilidade de um câncer pré-existente ser exacerbado pela exposição à irradiação na frequência dos celulares. Suas pesquisas desde então vem indicando que não, particularmente sob efeitos térmicos, com aquecimentos de até 3° das células estudadas.

Seguindo a tendência oposta, uma pesquisa que chamou muita atenção quando publicada foi a de Lai e Singh [27]-[28]. Eles verificaram aumentos nas rupturas simples e duplas das cadeias de DNA de

células cerebrais de ratos que foram expostos por curtos períodos de tempo a irradiação de microondas de baixa intensidade (SAR de 1 W/kg). Rupturas simples são bastante comuns e normalmente reparadas pelo próprio organismo, não causando problemas. A ruptura dupla entretanto libera material genético que pode se reconectar em uma nova ordem, ou mesmo em uma parte diferente do cromossomo, podendo matar a célula ou gerar mutações ou anormalidades. Tais rupturas duplas são consideradas como bons indicadores de câncer potencial. Entretanto, este trabalho recebeu diversas críticas, sendo que pelo menos três grupos de pesquisadores não conseguiram reproduzir seus resultados [5].

Outro trabalho muito citado alegando evidências da associação foi um estudo australiano com ratos predispostos a linfoma, expostos com irradiação acima dos valores limiares de segurança, modulada como nos celulares digitais, por 18 meses [29]. Os resultados indicaram aumento da incidência de linfomas, mas não na de outros tumores. Na verdade, na opinião de outro especialista [30], diferenças em indução de tumor entre animais normais e predispostos é algo esperado, pois suas pesquisas indicaram que animais geneticamente alterados freqüentemente apresentam respostas diferentes das de animais normais em testes de agentes carcinogênicos. O estudo é interessante, mas seu impacto para regulação de exposição é pouco claro. Não se pode determinar a partir do estudo se linfomas podem ser induzidos em animais normais, ou que nível é requerido para indução de linfoma nos ratos predispostos.

Para que um estudo deste tipo seja associado a uma avaliação de risco aos humanos, é preciso:

- replicar independentemente os resultados;
- realizar estudo similar com ratos normais;
- determinar a relação entre exposição e resposta.

Quando se deseja saber se algo pode causar câncer, normalmente começa-se com um grupo sensível de animais e uma alta dose do agente. Isto maximiza a chance de se encontrar algo. Se nada é encontrado sob tais circunstâncias, pode-se então ficar bastante confiante de que o agente é não-carcinogênico. Se câncer em excesso for encontrado, torna-se necessário determinar se isto também ocorrerá em animais normais e/ou em doses mais razoáveis. Se primeiro fossem testados animais a baixas doses sem encontrar câncer em excesso, dever-se-ia ainda testar em altas doses.

Outro ponto importante é a dificuldade em expor os animais a níveis uniformes de irradiação. Basicamente, ou os animais são tratados com liberdade de movimento com mínimo distúrbio, e aceita-se uma maior incerteza da dosimetria; ou se obtém uma boa dosimetria, ao risco de se produzir resultados artificiais devido ao manuseio e ao confinamento.

Na primeira tentativa de se replicar aquele estudo australiano, não houve sucesso. A única diferença entre os experimentos é que no original os ratos foram alterados geneticamente para se tornarem

predispostos, enquanto neste último, a predisposição foi obtida por exposição a irradiação ionizante [31].

A WHO tem em seus registros pelo menos mais vinte estudos com ratos, desde 1971 até os dias de hoje. Para a maioria destes estudos (18), concluiu-se que não houve evidências do efeito cancerígeno testado, ou as variações observadas eram pouco significativas. Um dos trabalhos apresentou resultados positivos para o teste de câncer, mas a dosimetria utilizada parece questionável. O trabalho restante observou uma redução da vida média dos ratos, em função do efeito térmico provocado. Ou seja, de modo geral, a indução de linfoma e outros tumores, por exposição ao longo da vida de roedores a RF não parece ser um fenômeno generalizado [5].

Com relação a demais estudos com células, sabe-se que agentes que possam danificar o DNA celular são presumidos potencialmente carcinogênicos. Tais agentes são chamados de genotoxinas ou agentes com atividade genotóxica. Em geral, estudos de células expostas a RF não encontraram evidência de genotoxicidade, a menos que a SAR fosse alta o suficiente para causar algum dano térmico. Pelo menos dez trabalhos recentes não encontraram evidência do potencial genotóxico da irradiação de RF, com SAR em torno do limiar das diretrizes (mínima de 0,015 e máxima de 12,5 W/kg). Células do sangue humano, ratos e outros mamíferos e até mesmo bactérias foram testadas. Entretanto, outros cinco trabalhos indicaram alguma evidência, mas ainda sem replicações [5].

Há ainda um estudo recente com vermes nematóides [32]-[33], cujos resultados sugerem que a exposição “não-térmica” (abaixo dos limiares de segurança) pode levar à manifestação de proteínas de choque térmico (“heat shock proteins”). A síntese destas proteínas é aumentada imediatamente após uma elevação súbita da temperatura, e sua função é ajudar a diminuir os efeitos nocivos de uma alta temperatura. Tal resultado foi um dos argumentos que levou à conclusão do relatório “Stewart” de que há indícios de efeitos biológicos para exposições abaixo dos limiares de segurança, ainda que tais efeitos não necessariamente causem algum mal [5]. E provavelmente foi o estímulo para mais uma pesquisa que se inicia, desta vez no centro de imunologia do hospital australiano St Vincent, sobre as implicações do uso de longo prazo do celular. Em particular, o estudo investiga se a exposição à irradiação de celulares ativa a produção de proteínas de choque térmico. Segundo o investigador chefe do projeto, quando tais proteínas são ativadas por um longo período, há evidências indicando que as células fiquem disfuncionais, o que potencialmente poderia torná-las cancerosas. Os testes serão feitos quatro vezes ao dia, em sessões de 1 h de exposição sobre células do cérebro humano, e até o fim do corrente ano serão publicados os primeiros resultados [16].

Enfim, até o momento, os resultados de estudos com animais e células não tem mostrado efeitos carcinogênicos bem definidos. Entretanto, deve-se lembrar que a relevância de estudos com animais para a saúde humana é incerta, outro problema familiar a qualquer avaliação de risco carcinogênico [3].

V. DEMAIS EFEITOS EM ESTUDO

A interferência com outros equipamentos eletrônicos é um efeito que, a princípio, nada tem a ver com a saúde. A exceção ocorre quando o aparelho em questão atua como suporte à vida de uma pessoa, como é o caso dos marcapassos cardíacos. De qualquer forma, não há evidências de que isto ocorra, pelo menos dentro dos limites das diretrizes de segurança. É possível entretanto, que os próprios celulares possam interferir se a antena for postada diretamente sobre o marcapasso. Entretanto, a ocorrência deste problema é relatada apenas para alguns tipos de telefones digitais e alguns tipos de marcapasso [5].

A outra grande preocupação dos pesquisadores atualmente, com relação à exposição à irradiação de RF, além da possível associação com o câncer, são os chamados “efeitos não-térmicos”. Na verdade, mesmo alguns estudos sobre o câncer estão associados a efeitos deste tipo. Os efeitos não-térmicos não são mediados pelo calor, mas sim devidos à interação direta do campo eletromagnético com moléculas ou componentes do tecido, uma vez que suas partículas tentarão se orientar com o campo elétrico de modo a minimizar sua energia potencial. Tais efeitos ainda não são muito bem compreendidos e suas conseqüências exatas para a saúde humana ainda estão sendo investigadas [4].

Vários trabalhos têm sido publicados relatando evidências de efeitos fisiológicos e comportamentais em geral. Ainda que estes resultados careçam de replicação, alguns efeitos são detalhados nesta seção.

Uma linha de pesquisa que vem ganhando atenção é a que procura identificar efeitos não-térmicos associados especificamente ao fato de a irradiação dos celulares ser pulsada, ou seja, ao fato do sinal irradiado ser modulado. Alguns trabalhos nesta linha também são abordados aqui.

V.1. EFEITOS FISIOLÓGICOS E COMPORTAMENTAIS

Um possível efeito fisiológico é a dor-de-cabeça. Na verdade, ninguém tem alegado haver evidências de que a irradiação das ERBs causem dores de cabeça, mesmo porque, não há base biofísica ou fisiológica para tal. Entretanto, alguns estudos reportam este efeito nos usuários dos telefones celulares. Tendo em vista esta associação, é possível que este efeito ocorra [5].

De maneira geral, os estudos com usuários de aparelhos celulares indicando alguma evidência de mudança comportamental ou fisiológica ainda não foram replicados. Em particular, considerando-se os baixos níveis de exposição associados a uma ERB, nenhum dos estudos provê evidência substancial de que a irradiação naqueles níveis possa causar algum risco à saúde. Na verdade, muitos dos efeitos reportados nem implicam necessariamente na existência de um risco [5].

Entre os controversos e não replicados efeitos à saúde de pessoas analisadas citados na literatura estão [5]:

- aumento na pressão sanguínea;
- alteração da atividade elétrica do cérebro;
- pequenas mudanças em exames de eletroencefalograma (EEG);
- pequenas mudanças no padrão de sono.

Na contramão da divulgação de efeitos possivelmente perigosos, um trabalho recente relatou que a exposição de pessoas voluntárias à irradiação de telefones celulares em 900 MHz melhorou seus desempenhos em testes que avaliavam a capacidade de atenção daquelas pessoas [34].

As mesmas observações feitas quanto a estudos com usuários voluntários se aplicam aos resultados de estudos com animais ou células, de modo geral. Alguns efeitos nocivos citados com ratos são perdas na memória de longo prazo, e redução do tempo de reação [5]. Por outro lado, mantendo a controvérsia sobre tais resultados, uma pesquisa recente com ratos expostos à irradiação de 900 MHz, com SAR entre 1 e 3,5 W/kg, por 45 minutos diários, e apenas sobre as cabeças, não indicou efeito algum sobre o processo de aprendizagem testado [35].

O pesquisador H. Lai há algum tempo defende a existência dos efeitos não-térmicos, baseado em pesquisas com ratos e células. Suas pesquisas indicam efeitos no sistema nervoso de ratos expostos a RF nos níveis limites das diretrizes de segurança. Além das próprias pesquisas, ele aponta outras que indicam efeitos biológicos de RF em “muito baixa” intensidade, tais como:

- possibilidade de danos à barreira de sangue que resguarda o cérebro de certas toxinas;
- mudanças na percepção de cálcio pelas células.
- mudanças na proliferação das células;
- redução da fertilidade de ratos;
- redução da alimentação e bebida de ratos;

Os trabalhos, resultados e interpretações que apontam os efeitos acima tem sido alvo de controvérsia entre os especialistas [5].

Um trabalho recente de pesquisadores da UFPA apresentou resultados preliminares de um estudo de longo prazo com ratos de laboratório. O grupo exposto era submetido a uma irradiação diária de 1,6 mW/cm² em 2450 GHz, por uma hora, ao longo de 1 ano (4 gerações de ratos). A densidade de potência irradiada corresponde ao limiar de segurança da C95.1. Dentre os resultados mais relevantes, verificou-se uma redução da ordem de 20% do número de filhotes gerados, em comparação com o grupo controlado (não exposto). Índícios de efeitos comportamentais também foram detectados [7]. Vale destacar que o trabalho foi inédito no Brasil, e aparentemente é mais um que aponta os indícios de redução de fertilidade e da ingestão de comida e água já citadas por Lai. Mais ainda, até o momento, não há menção deste trabalho por parte do comitê especializado da WHO. Por outro lado, como qualquer estudo com ratos, a interpretação dos resultados ainda é motivo de controvérsia, e a pesquisa ainda carece de replicação.

Defeitos de nascença e abortos são efeitos fisiológicos também citados como possíveis

consequências da exposição à irradiação de RF. Entretanto, os níveis de exposição em que tais efeitos foram relatados eram altos o suficiente para causar aquecimento do corpo inteiro, ou seja, trata-se de um efeito térmico. Nos níveis da irradiação emitida por ERBs, insuficientes para causar tal aquecimento, não há qualquer evidência de laboratório ou epidemiológica daqueles efeitos [5].

V.2. EFEITOS DA MODULAÇÃO

A maioria das pesquisas sobre os efeitos biológicos da irradiação opera com uma portadora contínua, não modulada em seus experimentos. Na prática entretanto, além da frequência da portadora, os sinais transmitidos por celulares são modulados, e tal modulação corresponde a variações em frequências bem mais baixas que a da portadora. Alguns pesquisadores acreditam que estas variações especificamente seriam a causa de alguns efeitos biológicos.

O pesquisador norte-americano W. Ross Adey, que estuda tais efeitos há mais de 20 anos, tem realizado alguns trabalhos nos quais sinais modulados são utilizados. Uma de suas pesquisas, por exemplo, verificou que a irradiação modulada em amplitude nas frequências de 150 e 450 MHz poderiam produzir mudanças na percepção de cálcio em células do sistema nervoso. Trabalhos posteriores de outros autores, entretanto, refutaram aquelas conclusões [1].

Um grande defensor da teoria de que a modulação seria por si só causadora de alguns efeitos fisiológicos e comportamentais é o biofísico G. J. Hyland. Suas considerações sobre os efeitos da modulação empregada nos celulares [36] tem sido muito citadas aqui no Brasil como uma das evidências dos perigos das ERB [10].

Hyland é reconhecido como um especialista sobre mecanismos de interação da irradiação não-ionizante com organismos vivos, inclusive o homem, e é um crítico feroz das atuais diretrizes de segurança adotadas internacionalmente, tanto com relação aos níveis adotados, que ele considera altos demais, como com relação à própria filosofia de desenvolvimento daquelas diretrizes, baseadas essencialmente nos efeitos térmicos, e na premissa de que os efeitos não-térmicos já reportados ainda carecem de replicação. Segundo ele, esta demanda por reprodutibilidade das evidências de efeitos não-térmicos seria descabida, já que tais efeitos só se verificam com seres vivos. Como cada ser vivo apresenta um metabolismo que pode ser muito diferente de um para o outro, mesmo tratando-se da mesma espécie (do homem, por exemplo), seria impossível garantir reprodutibilidade de efeitos em tentativas de replicações, nos moldes de como se costuma exigir para efeitos térmicos.

Hyland usa o conceito de “coerência”, ou seja, da possibilidade de haver interferência construtiva (em fase) entre as atividades elétricas do organismo e a irradiação a que ele possa estar submetido como base para suas considerações. Por exemplo, ele cita as ondas cerebrais, cujas frequências seriam da ordem de dezenas de hertz, como passíveis de interferência com

a irradiação de baixa frequência dos celulares. Tais frequências ocorrem não somente na banda básica do sinal modulante, mas também em alguns processos de gerenciamento de recursos do sistema celular – a sinalização periódica que o aparelho faz para a ERB quando está em estado de espera é um exemplo disso. Esta parece ser a preocupação mais concreta daquele pesquisador, e a partir dela ele especula sobre os possíveis efeitos não-térmicos das frequências de microondas, a partir dos relatos e evidências encontrados na literatura.

Os efeitos citados por Hyland como decorrentes da modulação, ou mais precisamente, da coerência nas frequências existentes na irradiação, seriam principalmente danos ao funcionamento dos sistemas nervoso e imunológico de organismos vivos. E ainda que a irradiação de microondas seja não-ionizante, ele não descarta sequer a possibilidade de indução de câncer. Hyland acredita que a exposição poderia causar interferência com o processo de reparação natural do DNA, produzindo aberrações em cromossomos e micronúcleos.

VI. O PONTO DE VISTA DA POPULAÇÃO E DAS AUTORIDADES LOCAIS

Diante da controvérsia envolvendo o assunto, a população se sente desorientada e desprotegida, culpando as autoridades e as operadoras locais quanto a danos presentes e potenciais a sua saúde. Uma abordagem psicológica bastante interessante sobre este comportamento é dada por Slovic [37]. Segundo ele, as atitudes do público em geral a um risco potencial precisam ser perfeitamente compreendidas por especialistas e legisladores.

O conceito central, segundo Slovic, é que o público freqüentemente interpreta evidência científica de modo muito diferente dos cientistas, e ao contrário pratica o que é chamado “toxicologia intuitiva”. Por exemplo, leigos tendem a prestar menos atenção que os cientistas a informações técnicas sobre dosimetria ou intensidade de exposição. O mesmo parece ocorrer com trabalhos que venham a negar ou questionar uma evidência de risco já anunciada. Portanto, sua reação freqüente é de medo ou mesmo certeza de uma contaminação, mesmo que a exposição à toxina em questão seja tão pequena que os especialistas a consideram seguras.

Mais ainda, os cientistas estão mais a par que o público em geral das limitações dos estudos toxicológicos e epidemiológicos. Com isso, sua resposta a indicações positivas de perigo é muito mais contida, reconhecendo que os resultados podem ter sido induzidos por variáveis não controladas, ou que sua representatividade estatística seja discutível. Em contraste, os leigos tendem a ficar muito mais preocupados sobre descobertas que simplesmente indiquem a possibilidade de algum mal.

Slovic cita como ilustração para o problema, a reação dos norte-americanos aos possíveis riscos de linhas de transmissão de energia (LT). Comitês de especialistas determinaram que não há evidência conclusiva de risco para a saúde da exposição aos campos elétricos e magnéticos por elas induzidos no corpo humano. Mas uma parcela significativa e persistente de preocupação por parte da população tem levado a demandas para alterar a rota ou para

enterrar as linhas de transmissão, mesmo que o custo seja alto. Tentativas de informar o público em grande escala em termos não-alarmistas sobre a pesquisa em andamento sobre LTs tem obtido o efeito inverso, levando as pessoas a ficarem ainda mais preocupadas.

Por outro lado, as preocupações do público com relação aos campos induzidos em 50/60 Hz foi centrada nas próprias LTs e não nos muitos eletrodomésticos de uso correio dentro de casa. Isto reflete o fato de que as percepções e aceitações do público ao risco dependem do benefício percebido de uma tecnologia (baixo para LT, alto para eletrodomésticos). Este parece ser o padrão de comportamento dos brasileiros no que diz respeito à questão dos possíveis efeitos biológicos da irradiação dos celulares. Por mais que os especialistas indiquem que a maior exposição decorre da irradiação do próprio telefone celular localmente sobre a cabeça de quem usa, para a população em geral, o telefone representa um benefício muito grande. Se há algum risco à saúde, que a culpa deste risco seja posta em um agente que não traga benefício direto: as ERBs. Assim tem pensado a população em geral, incluindo a mídia não especializada, legisladores e magistrados locais (a ANATEL segue o padrão dos especialistas).

Internacionalmente, as autoridades federais de vários países têm constituído grupos de especialistas para se posicionar quanto ao assunto. Nos EUA, todos os órgãos envolvidos (FCC, FDA – “Food and Drugs Administration” e EPA – “Environmental Protection Agency”) têm adotado a posição dos especialistas de que em geral os níveis irradiados pelas ERBs são baixos o suficiente para não causar danos à saúde. Os órgãos federais do Canadá e da Holanda adotaram a mesma postura [5].

No Reino Unido, entretanto, a postura foi de cautela. O estudo encomendado pelo governo britânico, cujos resultados e recomendações derivadas ficaram conhecidos como “relatório Stewart”, gerou polêmica ao desencorajar o uso de celulares por crianças, e a instalação de ERBs em escolas ou em áreas próximas. Tais recomendações de cautela foram baseadas principalmente em estudos com pessoas sobre o “efeito cognitivo” (tempo de percepção/reação) e no “princípio da prevenção” da União Européia. A WHO critica esta posição, argumentando que [5]:

- as evidências citadas de efeitos neurológicos sob exposição em níveis iguais aos dos telefones celulares são relatórios fracos e contraditórios;
- os efeitos cognitivos parecem muito tênues, e não são necessariamente maléficis à saúde;
- a comissão apenas especulou sobre a susceptibilidade do sistema nervoso em desenvolvimento, sem apresentar evidências concretas;
- a comissão apenas especulou sobre a possibilidade de a SAR na cabeça de uma criança ser maior que na de um adulto, para uma mesma exposição;
- o próprio uso do princípio da prevenção violou as diretrizes para sua aplicação estabelecidas pela União Européia.

A França recentemente adotou uma postura de cautela, embora não tão pronunciada quanto a da Inglaterra. A autoridade de saúde federal francesa não

descartou a possibilidade de riscos à saúde para as populações vizinhas a ERBs, embora tenha admitido que a exposição devida às ERBs seja consideravelmente menor que a do próprio telefone celular quando uma ligação é realizada.

VII. COMENTÁRIOS FINAIS

Apesar de o número de pesquisas indicando a segurança dos celulares e principalmente de suas ERBs ultrapassar consideravelmente o de trabalhos que a questionam, a controvérsia gerada entre os cientistas, e a mobilização da população em busca de respostas mais adequadas a suas preocupações foram suficientes para incentivar novas pesquisas. Em particular, o grande questionamento têm sido por estudos sobre efeitos não-térmicos da irradiação emitida pelos celulares, com ênfase na possibilidade de câncer. Tais pesquisas têm sido financiadas principalmente pelas autoridades governamentais de alguns países, pois em geral é delas que se espera um posicionamento mais isento, voltado para o interesse de suas comunidades.

Desde o “caso Reynard”, várias iniciativas de financiamento à pesquisa sobre o assunto em questão tem sido registradas. Um dos esforços mais recentes e de maior vulto foi dado pelo governo britânico, que lançou um programa de 7 milhões de libras para investigar os riscos à saúde. Envolvendo a indústria além do governo, o programa de pesquisa pretende verificar as evidências que vem sendo isoladamente verificadas em animais, nos seres humanos. Dentre os pontos a serem verificados estão: pressão sanguínea; células expostas; funcionamento do cérebro; desempenho do motorista; e risco de câncer ou leucemia. Os primeiros resultados são esperados para daqui a 2 ou 3 anos [16].

Ainda assim, é possível que os resultados alcançados ainda continuem alvo de controvérsia, pois o padrão de temor da população em geral ao potencial risco da irradiação dos celulares já está estabelecido. Mesmo que a comunidade científica se convença em massa da segurança do sistema, a população parece querer “risco zero”, o que é matematicamente impossível de se garantir, seja qual for a tecnologia envolvida.

As próprias autoridades tem muito receio em se posicionar. Afinal, o termo “seguro” traz consigo implicações legais, regulatórias, éticas e mesmo políticas. As agências de saúde se acanham em dizer que a tecnologia celular é segura, mesmo avaliando negativamente evidências sobre possíveis moléstias. A agência européia IARC (International Agency for Research on cancer – Lyon, FR), por exemplo, virtualmente nunca pronuncia um agente testado como sendo “não-carcinogênico”, mesmo com grande volume de dados, e provavelmente não o fará com a energia de RF [3].

Seja qual for o desfecho das pesquisas mais recentes, a discussão deve continuar. Os celulares se juntam a outras tecnologias que envolvem eletricidade como radares policiais, terminais de computadores e linhas de transmissão que tem levantado temores

públicos por causa de seus campos eletromagnéticos. Tais questões são muito difíceis e levam tempo para responder, e a forma mais apropriada de fazê-las é identificando perigos reais, mas evitando controvérsias improdutivas [3].

Em particular, a discussão atual centrada nas ERBs que tem dominado a atenção da mídia não-especializada, assustando imprudentemente a população, parece equivocada e exagerada. Mesmo que as pesquisas atuais e futuras venham a apresentar fortes evidências de efeitos não-térmicos, apenas a partir do adequado entendimento sobre tais efeitos será possível redefinir os limites de exposição das atuais diretrizes internacionais de segurança. Ainda que alguns pesquisadores destaquem o papel da frequência propriamente dita como parâmetro fundamental, fisicamente não é lógico assumir que mesmo um efeito biológico não-térmico não seja proporcional à intensidade de irradiação de exposição. Diante deste argumento, e de acordo com a discussão ao longo deste trabalho, se há alguma situação que mereça hoje alguma consideração mais veemente, é a do uso prolongado do próprio telefone celular.

Enquanto isso, por mera precaução, sem nenhuma base sólida em aspectos de saúde, os mais preocupados podem tomar algumas medidas relacionadas ao aparelho, tais como: diminuir o uso; evitar o uso em áreas de sinal fraco; ou usar um fone de ouvido. Com relação às ERBs, com base no conhecimento atual, a única recomendação plausível é solicitar às autoridades que fiscalizem os níveis de irradiação apenas nas proximidades das ERBs, verificando a possibilidade do sinal exceder os níveis de segurança das diretrizes internacionais em algum ponto de acesso irrestrito ao público em geral.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Fischetti, “The cellular phone scare”, *IEEE Spectrum*, pp 43-56, Jun 1993.
- [2] IEEE, IEEE C.95.1-1991, Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.
- [3] K. R. Foster, “Are mobile phones safe?”, *IEEE Spectrum*, vol 37, N° 8, pp 23-28, Ago 2000.
- [4] A. A. A. de Salles, “Biological effects of microwave and RF”, *Proceedings of the SBMO/IEEE MTT-S IMOC'99*, Rio de Janeiro, pp 51-56, 1999.
- [5] J. E. Moulder, “Cellular phone antennas (mobile phone base stations) and human healths”, 14 Mai 2002 (última atualização), em [6] W. Stewart, Independent Expert Group on Mobile Phones Report – Mobile Phones and Health (relatório “Stewart”), 2000, em <http://www.iegmp.org.uk/iegmp.txt>
- [7] M. Gheyi; M. S. Alencar; S. L. C. Rodrigues; R. R. Wanderley, “Efeitos da radiação de 2,45 GHz em ratos de laboratório”, *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Rio de Janeiro, pp 354 – 357, 2000.
- [8] R. Neves, “Uso em excesso do celular pode fazer mal”, *Saúde Plena*, Abr 2002, em

- http://www.saudeplena.com.br/noticias/index_html?opcao=celular.
- [9] B. Koike, "Radiação - na vida como no cinema - pesquisa com ratos mostra que o uso excessivo do celular prejudica fertilidade, aprendizado, altera comportamento", *Carta Capital*, Nº 129, 16 Ago 2000, em <http://www.terra.com.br/cartacapital/129/destaque.htm>
- [10] "Site" da Associação Brasileira de Defesa dos Moradores e Usuários Intranqüilos com Equipamentos de Telecomunicações Celulares, em <http://www.regra.com.br/abradecel/>
- [11] ANATEL, Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz), em http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/releases/1999/release_27_12_1999.pdf
- [12] ICNIRP, ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), em <http://www.icnirp.org/documents/emfgdl.pdf>
- [13] Adilson Gonçalves, "Antenas celulares não têm controle", *Jornal do Brasil*, 20 Mar 2002.
- [14] Decreto Municipal 19260, Rio de Janeiro, 08 Dez 2000.
- [15] IEEE, IEEE C95.1-1999, Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.
- [16] J. Gonzalez, "Mobile radio", *IEEE Vehicular Technology Society News*, vol 49, Nº 2, pp 27-33, Mai 2002.
- [17] R. C. Petersen et al, "Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular-radio cell-site antennas", *Bioelectromagnetics*, vol 13, pp 527-542, 1992.
- [18] A. Thansandote, G. B. Gajda et al, "Radiofrequency radiation in five vancouver schools: exposure standards not exceeded", *Canadian Medical Association Journal*, vol 160, pp 1311-1312, 1999.
- [19] S. M. Mann, T. G. Cooper et al, "Exposure to radio waves near mobile phone base stations", *National Radiologic Protection Board*, Reino Unido, Jun 2000.
- [20] Radio Communications Agency, Mobile Phone Base Station Audit - Results, Reino Unido, 21 Dez 2001, em <http://www.radio.gov.uk/topics/mpsafety/schoolaudit/audit.htm>
- [21] National Cancer Institute, "Cancer facts - Cellular telephone use and cancer", 04 Jan 2002, em http://cis.nci.nih.gov/fact/pdfdraft/3_risk/fs3_72.pdf
- [22] "Não dá câncer - Pesquisa contraria tese de que danifica o cérebro", *Veja*, Nº 1687, 14 Fev 2001.
- [23] J. R. Goldsmith, "Epidemiologic evidence of radiofrequency (microwave) effects on health in military, broadcasting, and occupational studies", *International Journal on Occup. Environ. Health*, vol 1, pp 47-57, 1995.
- [24] J. R. Goldsmith, "Epidemiologic evidence relevant to radar (microwave) effects", *Environ. Health Perspec.*, vol 105, pp 1579-1587, 1997.
- [25] A. Stang, G. Anastassiou et al, "The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma", *Epidemiol.*, vol 12, pp 7-12, 2001.
- [26] P. D. Inskip, "Frequent radiation exposures and frequency-dependent effects: The eyes have it", *Epidemiol.*, vol 12, pp 1-4, 2001.
- [27] H. Lai e N. P. Singh, "Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells", *Bioelectromagnetics*, vol 16, pp 207-210, 1995.
- [28] H. Lai e N. P. Singh, "Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation", *International Journal on Rad. Biol.*, vol 69, pp 513-521, 1996.
- [29] M. H. Repacholi et al, "Lymphomas in $\text{E}\mu\text{-Pim1}$ Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields", *Rad. Res.*, vol 147, pp 631-640, 1997.
- [30] F. M. Johnson, "Carcinogenic chemical-response "Fingerprint" for male F344 rats exposed to a series of 195 chemicals: Implications for predicting carcinogens with transgenic models", *Environ. Molec. Mutagen.*, vol 34, pp 234-245, 1999.
- [31] P. Heikkinen, V.-M. Kosma et al, "Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice", *Rad. Res.*, vol 156, pp 775-785, 2001.
- [32] D. de Pomerai, C. Daniells et al, "Nonthermal heat shock response to microwaves", *Nature*, vol 405, pp 417-418, 2000.
- [33] D. de Pomerai, C. Daniells et al, "Microwave radiation induces a heat-shock response and enhances growth in the nematode *Caenorhabditis Elegans*", *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol 48, pp 2076-2081, 2000.
- [34] N. Edelstyn e A. Oldershaw, "The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention", *NeuroReport*, vol 13, pp 119-121, 2002.
- [35] D. Dubreuil, T. Jay et al, "Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks?", *Behav. Brain Res.*, vol 129, pp 203-210, 2002.
- [36] G. J. Hyland, "How Exposure to Mobile Phone Base-station Radiation can Adversely Affect Humans", Nov 2000, em <http://www.energyfields.org/science/>
- [37] P. Slovic, "Will people believe mobile phones are safe?", *IEEE Spectrum*, vol 37, No 8, Ago 2000.

Maurício Henrique Costa Dias nasceu em 25 de julho de 1970. Formou-se em Engenharia de Telecomunicações no Instituto Militar de Engenharia (IME) em dezembro de 1992. Obteve seu título de Mestre em Engenharia Elétrica, área de Eletromagnetismo Aplicado, subárea de Propagação, no mesmo Instituto em janeiro de 1998. Atualmente é capitão do Exército, e está em doutoramento, nas mesmas área e subárea do mestrado, no Centro de Estudos de Telecomunicações (CETUC) da PUC-Rio desde março de 2000. Seus interesses atuais incluem caracterização de canal de propagação, teoria geométrica da difração, estimação espectral e teoria de

“wavelets”, entre outros tópicos das áreas de propagação e processamento digital de sinais. Em agosto de 2001, seu artigo “Ray-Tracing Analysis of 3.5 GHz Propagation at a Typical Urban Environment for FWA Systems” recebeu o “Amazon Microwave and Optoelectronics Prize” como melhor trabalho de um aluno de pós-graduação na Conferência Internacional de Microondas e Optoeletrônica (IMOC 2001) da SBMO/IEEE MTT-S, em Belém – PA.

E-mail: mhcdias@cetuc.puc-rio.br

Gláucio Lima Siqueira, nasceu em Belo Horizonte, MG em 18 de agosto de 1952. Recebeu o grau de Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicações com distinção pela PUC/Minas em 1977 e o grau de Licenciatura em Matemática pela UFMG em 1978. Recebeu o título de Mestre (M.Sc.) em Engenharia Elétrica pela UNICAMP em 1982 e o título de PhD. pela Universidade de Londres (University College

London), Inglaterra, em 1989. Desde 1989 trabalha no Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC) da PUC/Rio onde exerce o cargo de Professor Associado. Já publicou vários artigos técnicos em revistas especializadas e em conferências nacionais e internacionais. Seus interesses incluem caracterização de canal rádio móvel (medidas e modelamento), propagação em meios aleatórios, atenuação por chuva em enlaces terrestres, sistemas de comunicação sem fio em geral dentre outros. Na PUC/Rio já recebeu várias distinções por suas atividades didáticas e de pesquisa tendo orientado várias teses de mestrado e doutorado. Tem, nos últimos 10 anos, participado de projetos de pesquisa patrocinados por empresas do ramo. É membro de IEEE desde 1989.

E-mail: glaucio@cetuc.puc-rio.br

<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-healthFAQ/toc.html>