

Uso do Telefone Móvel Celular: Existem Riscos Biológicos?

Solidonio Arruda Sobreira¹

RESUMO

Os telefones celulares emitem radiação eletromagnética não ionizante entre 800 e 2000MHz aproximadamente. Os tecidos absorvem a radiofrequência emitida pelos celulares, sendo a absorção especialmente dependente da potência de saída do celular. Vários fatores regulam a potência do celular e a absorção da radiofrequência: distância entre a antena do celular e o usuário, obstáculos físicos interpostos entre o celular e a estação transmissora, mudanças de estação transmissora, número de estações e o tráfego de conexões. Alguns trabalhos pontuais têm descrito que a radiofrequência dos celulares é capaz de aumentar a temperatura cerebral, alterar o padrão de ondas do eletro-encefalograma e o desempenho cognitivo do usuário. Rupturas simples e duplas no DNA também foram descritas, bem como o aparecimento de linfomas e melanomas. Contudo, a maioria dos

¹ Farmacêutico Bioquímico (UFPB). Especialista em Hematologia e Hemoterapia (UFC). Mestre em Genética (UFPB). Professor de Biofísica da FAMENE/FACENE. Endereço: Av. Nossa Senhora de Fátima, 1932, Torre, João

estudos epidemiológicos demonstra que a radiofrequência dos celulares não aumenta o risco de tumores em amostras humanas. Os trabalhos favoráveis ao risco são geralmente questionados devido às limitações metodológicas e pelo fato de utilizarem animais experimentais e modelos transgênicos. Considerando os riscos indefinidos da telefonia celular, algumas medidas de radioproteção são sugeridas, minimizando bastante os níveis de absorção da radiofrequência.

Palavras-Chave: Campos eletromagnéticos. Telefone celular. Efeitos da radiação.

Historicamente, os sistemas de telefonia móvel foram desenvolvidos desde a década de 70. Entretanto, somente no início da década de 80, os telefones móveis passaram a ser amplamente utilizados na América do Norte (RSC, 1999). Atualmente, os telefones móveis são usados por cerca de 1,6 bilhões de pessoas em todo mundo (AHLBOM, 2004). Nos Estados Unidos, o número de usuários da telefonia celular foi estimado em 92 milhões no ano 2000, crescendo em torno de um milhão de novos usuários a cada mês (FRUMKIN, 2001).

O uso generalizado da telefonia celular tem levantado dúvidas sobre o seu potencial deletério (AHLBOM, 2004). Isto porque os tecidos absorvem parte da radiação eletromagnética emitida pelos celulares (RSC, 1999), sugerindo uma possível correlação entre a exposição às ondas de radiofrequência e o aparecimento de tumores intracranianos (FRUMKIN, 2001).

O poder de lesão da radiação eletromagnética depende diretamente de sua energia. Fótons suficientemente energéticos podem ionizar o meio material retirando elétrons orbitais. O processo de ionização produz lesões nas biomoléculas porque rompe ligações químicas. Ademais, a ionização também provoca a radiólise da água, contribuindo para a formação de radicais livres que potencializam o aparecimento de lesões (GARCIA, 1998).

FUNCIONAMENTO DA TELEFONIA MÓVEL CELULAR

Os Telefones Celulares (TCs) emitem ondas de radiofre-qüência entre 800 e 2000MHz aproximadamente, as quais estão localizadas na faixa das microondas dentro do espectro eletro-magnético (JOHANSEN, 2001; FDA, 2003). Quando o telefone celular (TC) está em modo de espera (*stand-by*), ainda emite sinais de radiofreqüência, porém de baixíssimo nível (FDA, 2003). Os fótons da radiofreqüência não têm energia suficiente para ejetar elétrons do meio material e dos tecidos vivos. Por esta razão, a radiação emitida pelos celulares é do tipo não ionizante (FRUMKIN, 2001).

Os primeiros sistemas de telefonia móvel eram analógicos e operavam numa faixa de freqüência de 450 a 900MHz. Estes sistemas vêm sendo substituídos pelos aparelhos digitais, os quais emitem ondas moduladas numa freqüência mais elevada (1800 a 1900 MHz), porém com menor potência de saída em relação aos modelos analógicos (AHLBOM, 2004). A potência de saída de um TC típico está em torno de 0,25W, o que produz uma absorção de energia específica de 1,5W/Kg aproximadamente (VAN LEEUWEN, 1999).

A tecnologia celular opera através um sistema de zonas geograficamente delimitadas. Estas zonas são chamadas de células. Cada célula tem sua própria estação base, que tanto recebe como emite ondas de rádio. Quando uma chamada é feita de um TC, um sinal eletromagnético é enviado da antena do TC até a estação de transmissão. A estação responde a este sinal ajustando um canal de radiofreqüência disponível, por onde sinais modulados de rádio serão simultaneamente recebidos e transmitidos. (FRUMKIN, 2001).

A operadora ajusta o nível de potência de cada TC a ela conectado, sendo a potência regulada para o nível mais baixo capaz de manter a qualidade conexão. Este ajuste de potência é adaptável e permanente, de tal modo que a potência de um TC pode variar até mesmo dentro de uma mesma chamada (LÖNN, 2003). A variação de potência depende de vários fatores, notadamente a distância entre o TC e a estação transmissora, obstáculos físicos interpostos entre

o TC e a estação, e mudanças de estação transmissora que ocorrem quando o TC está em movimento (LÖNN, 2003).

ABSORÇÃO ESPECÍFICA DAS ONDAS DE RADIOFREQÜÊNCIA (SAR)

A antena de um TC é a fonte primária dos sinais de radio-freqüência. Devido à grande proximidade entre o usuário e a antena, a exposição aos sinais de radiofreqüência é muito maior na telefonia celular do que em outros sistemas de telefonia móvel (FRUMKIN, 2001). A absorção das ondas de radiofreqüência é maior no lado da cabeça em que o TC é utilizado, alcançando níveis máximos na região da antena (DIMBYLOW, 1999).

Quando o corpo é exposto à radiofreqüência, ele absorve uma quantidade da energia eletromagnética. Esta absorção é mensurada através de uma grandeza biofísica designada como "*Nível Específico de Absorção (SAR)*", a qual é geralmente expressa em Watts/Kilograma (Tabela I). Nos Estados Unidos, o limite máximo permitido de SAR para telefonia celular é de 1,6 W/Kg (FDA, 2003). O nível SAR depende de vários fatores, incluindo o tipo de antena, a localização da antena e o modo como o TC é utilizado. Contudo, o fator mais importante para absorção da radiofreqüência é a potência de saída do TC (LÖNN, 2003).

Tabela I – Limites Preconizados pelo Código de Segurança 6 (Canadá) para Exposição aos Campos de Radiofreqüência da Telefonia Móvel Celular¹

Parte do Corpo Exposta	Limite Crítico de SAR (W/Kg)	
	Trabalhadores	Público Geral

Corpo Inteiro	0,4	0,08
Cabeça, Pescoço e Tronco	8,0	1,6
Membros	20,0	4,0

Embora as revisões mais recentes não preconizem um limite de absorção para visão, o código sugere que o nível SAR para os olhos não deve ultrapassar 0,2W/Kg. Adaptado de RSC (1999).

Outros fatores importantes que controlam o nível de absorção da radiofreqüência incluem:

A Distância Entre a Antena e o Usuário: a absorção da radiofreqüência diminui dramaticamente com o aumento da distância. Infelizmente, a antena de um TC está integrada ao corpo do aparelho. Nos chamados "*car telephones*", utiliza-se uma antena remota situada fora do carro, o que diminui bastante os níveis SAR de absorção (FRUMKIN, 2001; LÖNN, 2003; FDA, 2003).

Presença de Obstáculos Físicos: barreiras físicas (edifícios, vegetação, relevo, etc.) dificultam a conexão entre o TC e a estação transmissora, forçando o TC a operar com maior potência de saída para manter a conexão. O simples fato de o TC ser utilizado dentro ou fora de casa produz variações de potência e absorção SAR (FRUMKIN, 2001, LÖNN, 2003).

Mudanças de Estação de Transmissão: quando o usuário está em movimento, saindo dos limites de uma célula e adentrando em outra, a conexão é repassada de uma estação de transmissão para outra (*handover*). Esta mudança também pode resultar do programa de controle da própria operadora, que modifica a estação transmissora para melhorar o tráfico de comunicações. A ocorrência de "*handovers*" aumenta a absorção da radiofreqüência, pois a potência do TC é geralmente ajustada para o nível mais alto durante um "*handover*" (WIART, 2000; AHLBOM, 2004).

O Número de Células Presentes na Região: localidades providas de poucas estações de transmissão forçam o TC a operar com maior potência. Como as estações estão geograficamente esparsas, a distância entre o TC e a estação de transmissão aumenta. Com efeito, o TC aumenta a potência de saída para manter a conexão (FRUMKIN,

2001; LÖNN, 2003).

O Tráfico de Conexões: nas áreas urbanas, onde o tráfico de conexões é maior, também cresce a frequência de "handovers". Isto compensaria parte do efeito protetor relacionado ao maior número de estações transmissoras das áreas urbanas (LÖNN, 2003).

O Tipo de Telefone Celular: os modelos analógicos mais antigos operam com uma potência de saída maior que os modelos novos digitais (AHLBOM, 2004).

Tempo de Conexão: obviamente, quanto maior for o tempo de conexão, maior será a exposição aos sinais de radiofrequência (FDA, 2003).

ESTUDOS FAVORÁVEIS AO DANO BIOLÓGICO

As pesquisas sobre os efeitos da radiofrequência têm produzido resultados bastante controvertidos, e muitos estudos têm revelado limitações na metodologia empregada. Ainda assim, alguns trabalhos pontuais têm sugerido que a radiofrequência de baixa energia pode acelerar o desenvolvimento de tumores (FDA, 2003).

Em uma revisão patrocinada pela *Royal Society of Canada* (RSC), é descrita uma entidade nosológica chamada de "*Síndrome da Radiofrequência*" (*Radiofrequency Radiation Sickness Syndrome*). Esta síndrome é definida como uma doença humana sistêmica, causada pela exposição crônica e recorrente à radio-frequência de baixa intensidade. As manifestações clínicas são variáveis, comumente subjetivas, e geralmente desaparecem quando cessa a exposição. Estas manifestações seriam: o aparecimento de tumores, irritabilidade, fadiga, dificuldade de concentração, perda do apetite, depressão, suicídio, insônia, perda de memória, desordens hematológicas, reprodutivas e cardio-vasculares. A "*Síndrome da Radiofrequência*" é descrita por alguns autores soviéticos, entretanto não é reconhecida nos Estados Unidos, sendo ainda uma entidade clínica bastante controvertida (RSC, 1999).

VAN LEEUWEN (1999) acentua que a radiofrequência dos

TCs (0,25W) produz efeitos de natureza térmica, sendo suficiente para provocar o aquecimento da temperatura cerebral. O aumento máximo é da ordem de 0,11°C.

Segundo CURCIO (2005), a exposição a um TC típico (0,25W; 902MHz) pode alterar o padrão normal de ondas do eletroencefalograma (EEG). Alterações espectrais foram observadas em algumas áreas da banda alfa, principalmente quando o EEG era registrado no momento da utilização do TC. Dados de KOIVISTO (2000) sugerem que o TC deprime a capacidade cognitiva do usuário para realização de cálculos aritméticos.

Vários sintomas estão sabidamente associados ao uso dos TCs. As sensações mais frequentes são de queimação nas regiões auriculares e dor surda nos lobos temporal e occipital. Geralmente, os sintomas são reversíveis, e começam nos primeiros minutos após o início da chamada (HOCKING, 1998). Segundo SANDSTRÖM (2001), há um risco maior de cefaléia, fadiga e aquecimento da região auricular em usuários da telefonia celular analógica.

Dois trabalhos inquietantes relataram quebras no DNA de roedores produzidas pela radiofrequência de baixa intensidade. O primeiro descreve um aumento significativo dose-dependente de quebras simples de cadeia quatro horas após a exposição (LAI, 1995). Já o segundo relata quebras simples e duplas produzidas por ondas contínuas e intermitentes (500 pulsos/s) de baixa intensidade (2450MHz). O autor sugere que as lesões possam resultar da energia da radiofrequência agindo diretamente sobre o DNA, ou ainda de um acometimento dos mecanismos normais de reparo celular (LAI, 1996).

REPACHOLI (1997) descreve um excesso significativo de linfomas em ratos transgênicos expostos cronicamente a ondas intermitentes de 900MHz. Contudo, o FDA americano (*Food and Drug Administration*) acentua que a utilização de animais transgênicos pode fornecer resultados duvidosos, uma vez que estes animais já são predispostos a desenvolver tumores, mesmo na ausência dos sinais de radiofrequência (FDA, 2003).

STANG (2001) sugere uma possível relação causal entre a exposição ocupacional à radiofrequência e o aparecimento de

melanoma uveal. Foram entrevistados 118 voluntários portadores de melanoma e 475 voluntários normais para fins de controle. Foi observado um risco significativo de melanoma uveal nas exposições aos TCs, particularmente no grupo designado como "exposição provável ou evidente". Apesar dos resultados significantes, STANG (2001) acentua que os resultados encontrados não são definitivos devido às limitações metodológicas do estudo.

EVIDÊNCIAS EPIDEMIOLÓGICAS

Estudos epidemiológicos bem planejados revelam que não há uma associação consistente entre o uso do celular e o risco aumentado de tumores intracranianos (FRUMKIN, 2001).

JOHANSEN (2001) realizou um grande estudo retrospectivo sobre o uso de celulares e a incidência de vários tipos de tumores. Cerca de 420 mil usuários dinamarqueses foram investigados desde 1982 até 1995. Não foi demonstrada qualquer associação significativa entre o uso do TC e o risco de leucemia, tumores cerebrais, tumores nas glândulas parótidas e no sistema nervoso central. A incidência de tumores não demonstrou qualquer associação significativa com o tempo de utilização do celular, idade do usuário, data da primeira subscrição na operadora ou tipo de celular (análogo ou digital). Nenhuma associação significativa foi demonstrada entre o uso do TC, a localização do tumor ou classificação específica do tumor.

Resultados semelhantes são apresentados por INSKIP (2001) em um estudo controlado. Foi investigado um total 782 pacientes americanos entre 1994 e 1998. Os resultados mostraram que o uso cumulativo do TC não aumentou o risco geral de tumores intracranianos, tampouco aumentou o risco específico de determinados tumores (glioma, meningioma e neuroma acústico). O risco não foi aumentado pelo tempo de utilização (≥ 60 minutos/dia), ou pelo uso crônico e regular (≥ 5 anos). Nenhuma relação significativa foi demonstrada entre a lateralidade do tumor e o lado em que o TC é utilizado. Os dados refutam a hipótese de que o uso a curto prazo

aumente o risco de tumores intracranianos.

LÖNN (2005) investigou todos os casos de glioma e meningioma diagnosticados em regiões selecionadas da Suécia, particularmente entre os anos 2000 e 2002. Controles randomizados foram estratificados de acordo com a idade, gênero e área residencial. Os testes de regressão logística revelaram que o risco de glioma e meningioma não foi aumentado significativamente pelo TC. Do mesmo modo, o risco não foi aumentado pelo uso crônico (> 10 anos), tampouco a lateralidade do tumor em relação ao lado em que o TC é utilizado.

FRUMKIN (2001) revisou três grandes estudos controlados sobre o uso dos TCs, todos envolvendo portadores de tumores cerebrais em casuísticas americanas e suecas. Segundo o mesmo autor, não há evidências epidemiológicas suficientes que comprovem uma associação consistente entre o uso dos celulares e o aparecimento de tumores cerebrais. Outros resultados desta revisão incluem: nenhum tipo específico de tumor cerebral está associado significativamente ao uso de celulares; não há relação consistente entre a localização do tumor (incluindo a lateralidade) e o uso do TC; nenhum estudo epidemiológico mostrou uma relação dose-resposta entre o uso do TC e o risco de tumores cerebrais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A radiofrequência emitida pelos celulares permanece um tema bastante controverso na literatura. Enquanto alguns experimentos pontuais mostram um risco biológico consistente, a maioria dos estudos epidemiológicos afasta um provável efeito carcinogênico da telefonia celular. Os resultados favoráveis ao risco são geralmente questionados devido às limitações metodológicas, ou pelo fato de utilizarem animais experimentais e modelos transgênicos (FDA, 2003). Apesar das divergências, permanece o fato de que os dados atualmente disponíveis são insuficientes para avaliar os efeitos a longo-prazo da exposição aos TCs (INSKIP, 2001).

Em uma revisão intitulada "*Cell Phone Facts*", o FDA (2003) americano transcreve a seguinte conclusão sobre o risco associado aos celulares: "*Se estes aparelhos oferecem algum risco, e que atualmente não é conhecido, este risco é provavelmente muito pequeno*". Considerando os riscos indefinidos da telefonia celular, algumas medidas de radioproteção podem ser adotadas, minimizando bastante os níveis SAR de absorção da radiofrequência. Estas medidas seriam:

Reduzir o Tempo de Conversação: o tempo de exposição à fonte radioativa deve ser o menor possível (OKUNO, 1986). Esta medida de radioproteção também é válida para as radiações não ionizantes. Portanto, quanto menor for o tempo de conexão, menor será a exposição aos sinais da radiofrequência.

Aumentar a Distância entre o Usuário e o TC: a exposição eletromagnética é diretamente proporcional ao tempo e inversamente proporcional ao quadrado da distância – $E \propto T/d^2$ (OKUNO, 1986). Como os celulares não utilizam antenas remotas, o próprio aparelho pode ser afastado do usuário. Neste sentido, viva-voz, microfones e fones remotos de ouvido podem ser úteis, principalmente para as longas conversações.

Evitar Utilizar o Celular no Interior de Automóveis: além de aumentar o risco de acidentes automobilísticos (BEDFORD, 2005), o uso do celular dentro de automóveis aumenta a potência do TC e a probabilidade de "*handovers*".

Evitar Utilizar o TC em Áreas Rurais ou Longínquas: devido à maior distância entre o TC e a estação, a potência de saída e o nível SAR são maiores nas áreas rurais pouco providas de estações (LÖNN, 2003).

REFERÊNCIAS

AHLBOM, A. *et al.* Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. **Environmental Health Perspectives**, v. 112, n. 17, 2004, p. 1741-

1754.

BEDFORD, D. *et al.* The use of hand held mobile phones by drivers. **Irish Medical Journal**, v. 98, n. 10, 2005, p. 248.

CURCIO, G. *et al.* Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. **Neuroscience Research**, v. 52, n. 3, 2005, p. 265-270.

DIMBYLOW, P. J., MANN, S. M. Characterization of energy deposition in the head from cellular phones. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 83, n. 1, 1999, p.113-117.

FDA (Food and Drug Administration). **Cellular phone facts: consumer information on wireless phones (2003)**. Disponível em < <http://www.fda.gov/cellphones> >. Acesso em: 11 jun. 2006.

FRUMKIN, H. *et al.* Cellular phones and risk of brain tumors. **Ca - A Cancer Journal For Clinicians**, v. 51, n. 2, 2001, p. 137-141.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 1998.

HOCKING, B. Symptoms associated with mobile phone use. **Occupational Medicine**, v. 48, n. 6, 1998, p. 357-360.

INSKIP, P. D. *et al.* Cellular-telephone use and brain tumors. **The New England Journal of Medicine**, v. 344, n. 2, 2001, p.79-86.

JOHANSEN, C. *et al.* Cellular telephones and cancer: a nationwide cohort study In: DENMARK. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 93, n. 3, 2001, p. 203-207.

KOIVISTO, M. *et al.* Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. **Neuroreport**, v. 11, n. 2, 2000, p.413-415.

LAI, H.; SINGH, N. P. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. **Bioelectromagnetics**, v. 16, n. 3, 1995, p. 207-210.

_____. Single and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. **International Journal of Radiation Biology**, v. 69, n. 4, 1996, p. 513-521.

LÖNN, S. *et al.* Output power levels from mobile phones in different geographical areas: implications for exposure assessment. **Occupational Environmental Medicine**, v. 61, n. 9, 2003, p. 769-772.

_____. Long-term mobile phone use and brain tumor risk. **American Journal of Epidemiology**, v. 161, n. 6, 2005, p. 526-535.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986.

REPACHOLI, M. H. *et al.* Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. **Radiation Research**,

v. 147, n. 5, 1997, p.631-640.

RSC (THE ROYAL SOCIETY OF CANADA). **A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices (1999)**. Disponível em <http://www.rsc.ca/files/publications/expert_panels/RF//RFreport-en.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2006.

SANDSTRÖM, M. *et al.* Mobile phone use and subjective symptoms: comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. **Occupational Medicine**, v. 51, n. 1, 2001, p. 25-35.

Stang, A. *et al.* The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. **Epidemiology**, v. 12, n. 1, 2001, p. 7-12.

VAN LEEUWEN, G. M. *et al.* Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. **Physics in Medicine and Biology**, v. 44, n. 10, 1999, p. 2367-2379.

WIART, J. *et al.* Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones. **Electromagnetic Compatibility IEEE Transactions On**, v. 42, n. 4, 2000, p. 376-385.