

Capítulo I

Campos de Radiofrequência e seus Efeitos Biológicos

Na esfera física, matéria e energia interagem entre si de muitas formas e em muitos níveis. De particular interesse para a biologia é como a energia eletromagnética interage com a matéria, especialmente a matéria orgânica, e como isso afeta, de alguma maneira, a forma e a função das células vivas, tecidos e organismos. Para as ciências da saúde, essas interações podem ter interesse quanto aos seus efeitos danosos sobre os organismos, principalmente os seres humanos.

Nos últimos 100 anos, um grande esforço de investigação científica descobriu e estudou a natureza e propriedades da radiação eletromagnética e como ela interage com a matéria em geral e a matéria viva, em particular. A parte visível do espectro eletromagnético, que era o único fenômeno conhecido pelo homem até o final do século 19, foi bem estudada quanto a uma série de tais interações. Na verdade, as formas de vida existem na Terra, em sua maior parte, unicamente como resultado de algumas dessas interações, como é o caso da fotossíntese, que é capaz de transformar energia luminosa em carboidratos. Com a descoberta de outras formas de energia eletromagnética, como os raios X, raios gama e ultravioleta, que não são visíveis ao olho humano, outros mecanismos e efeitos da interação matéria-energia foram descobertos. Por exemplo, o caráter destrutivo dos raios-X sobre moléculas, células e organismos foi descoberto apenas quando radiologistas começaram a desenvolver doenças malignas da pele após a exposição extensa e prolongada aos raios-X no início do século 20, o que levou ao extenso estudo científico sobre a natureza desses efeitos, bem como à elucidação do seu potencial genotóxico (tais como a indução de mutações no material genético das células, a morte celular, etc.).

Em consequência desses estudos, a ciência determinou que, com relação aos seus efeitos sobre os átomos, moléculas e suas ligações, o espectro eletromagnético pode ser dividido em dois tipos.

- 1) Frequências que possuem energia suficiente para remover elétrons dos orbitais externos de alguns átomos, produzindo íons, deste modo (átomos carregados eletricamente), um processo que é chamado de ionização, e;
- 2) frequências que não têm energia suficiente para produzir ionização, e que interagem com a matéria em outras formas, tais como a produção de vibrações mecânicas nos átomos, que são dissipadas na forma de energia térmica.

Portanto, a energia eletromagnética foi classificada como sendo **ionizante e não-ionizante**, embora seja excessivamente simplificado associar estas propriedades apenas à frequência, pois o potencial de ionização depende não só da mesma, mas também das propriedades da matéria sobre a qual incidem, especificamente da vulnerabilidade das ligações moleculares à ionização. Por exemplo, a fotossíntese depende de uma etapa de ionização, causada pela luz amarela, que é geralmente considerada como uma frequência não ionizante. Outros exemplos são os efeitos da luz sobre a melatonina na pele, a

síntese de vitamina D e o mecanismo molecular da visão nas células da retina.

Fontes naturais e artificiais

A energia eletromagnética é encontrada em toda parte no Universo, e tem muitas fontes naturais, como o próprio Sol (de longe a maior fonte para a Terra, particularmente para a luz visível, mas também para outras frequências, como ultravioleta e infravermelho), outras estrelas (raios X e radiação cósmica) e planetas (ondas de rádio), a magnetosfera da Terra, etc. Na verdade, a uma determinada temperatura, qualquer organismo vivo emite energia eletromagnética, incluindo nossos próprios corpos.

No século passado, com a descoberta de aplicações práticas e novos dispositivos que utilizam a energia eletromagnética, como tubos de raios X, fontes de raios gama para tratamento médico, lâmpadas infravermelhas, radiocomunicadores, lasers, linhas de transmissão elétrica, motores e dínamos, transmissões de rádio e TV, dispositivos eletromagnéticos e eletrônicos, etc., o ambiente em que vivemos tem sido gradualmente e cada vez mais "invadido" por fontes artificiais que se sobrepõem às fontes eletromagnéticas naturais. A maioria dessas emissões, sendo invisível e com propriedades desconhecidas quanto à interação com os organismos vivos, começou a gerar temores quanto aos seus possíveis efeitos prejudiciais sobre a saúde. Este medo é uma resposta natural e aconteceu com praticamente todas as novas tecnologias, tais como o telégrafo, o telefone, a televisão, o computador, o telefone celular, e assim por diante.

As intensidades das emissões dessas fontes artificiais variam muito: elas podem ir desde as extremamente elevadas (como fornos de micro-ondas, lasers e maser de alta potência, rádio comunicação de longo alcance e antenas de radar) às extremamente baixas (como em satélites geossíncronos de comunicação e dispositivos de comunicação de dados de curto alcance, como na tecnologia Bluetooth). Deste modo, algumas dessas fontes podem ter efeitos prejudiciais óbvios, tais como a cocção de material biológico em fornos de micro-ondas, enquanto outras parecem não ter qualquer efeito, como o pequeno comando sinalizador sem fio que usamos para abrir portas de garagem.

Mais recentemente, devido ao enorme crescimento das comunicações móveis sem fio, especialmente os telefones celulares, começou a crescer a preocupação do público e da ciência sobre os possíveis efeitos da sua utilização em massa, tanto das estações rádio-base quanto dos telefones portáteis. Essa preocupação, por sua vez, provocou um aumento das pesquisas científicas sobre a possibilidade da radiação não-ionizante (RNI), principalmente nas frequências do espectro utilizadas nestas tecnologias, ter efeitos biológicos a curto, médio ou longo prazo, bem como se ela poderia representar um perigo à saúde das populações humanas. Na verdade, qualquer efeito danoso detectável, mesmo que uma porcentagem muito pequena das pessoas afetadas, pode ser muito importante, devido à ampla utilização dessas tecnologias pela população, pelo número monumental de pessoas expostas ao RNI em bases diárias, e pelos impactos sociais e econômicos sobre a saúde.

Esta pesquisa começou a aparecer em números significativos a partir dos anos 1970s e tem crescido exponencialmente desde então, gerando um enorme conjunto de informações publicadas. Associações científicas, comissões governamentais e agências e grupos internacionais se reuniram para analisar o assunto, gerando um grande número de relatórios técnicos e recomendações, que têm sido atualizadas regularmente. Grupos

cooperativos multicêntricos de pesquisa em larga escala foram formados e deram início a investigações epidemiológicas combinando grandes números de pacientes em cada país, e exigindo muitos recursos humanos e financeiros. Todo esse imenso aparato, maior do que o envolvido na maioria das doenças humanas, passou a ser alimentado pela apreensão pública, principalmente em países desenvolvidos, e pela necessidade de se instituir normas de proteção e medidas cautelares, de introduzir limites de segurança e de regras impostas pelo Governo para regulação e para a disseminação de informações sobre os efeitos de campos eletromagnéticos (CEM) produzidos pelo próprio homem.

Justificativas para esta revisão

Apesar de já terem sido publicadas muitas revisões competentes e exaustivas da literatura sobre os efeitos biológicos e da saúde dos campos eletromagnéticos não-ionizantes (por exemplo, ICNIRP, 2009, Marino, 2008a, 2008b, 2009), temos muitas razões para acreditar que uma nova revisão de literatura realizada por especialistas da América Latina neste campo é justificada, essencialmente por dar uma perspectiva regional sobre esta matéria.

Em primeiro lugar, embora haja um pequeno corpo de pesquisas realizadas nesta área em países da América Latina, é importante trazê-las à luz, bem como rever e discutir as suas conclusões. Algumas dessas contribuições regionais podem fornecer uma contribuição significativa para o corpo total do conhecimento, uma vez que refletem particularidades sociais, ambientais, profissionais ou técnicas dos países latino-americanos.

Em segundo lugar, existem hoje na região preocupações crescentes sobre os possíveis efeitos na saúde das RNI sobre populações humanas expostas a ela, principalmente devido ao crescimento explosivo das comunicações móveis e redes de dados sem fio na América Latina nas últimas décadas.

Em um recente relatório estatístico, foi afirmado que:

“...a penetração da telefonia móvel na América Latina e Caribe foi de aproximadamente 80% no início de 2009, bem acima da média mundial, que foi de cerca de 58%. Com 458 milhões de pessoas que possuíam um telefone celular no início de 2009, a América Latina e Caribe detinham em conjunto cerca de 12% dos 3,97 bilhões de assinantes móveis no mundo. Vários países, incluindo o Brasil, a Argentina, a Jamaica, o Uruguai e a Venezuela ultrapassaram recentemente o limiar de “100% de penetração” (Latin America Mobile Communication Statistics, Maio de 2009). De acordo com um relatório da GSM Association, a América Latina e o Caribe lideram o mercado mundial em termos de porcentagem de crescimento do sistema GSM, somando mais de 74 milhões de novos clientes no período de um ano, de março de 2005 a março de 2006, quase duplicando a sua base de assinantes, com uma taxa de crescimento de 97%.”

O medo dos efeitos dessas tecnologias sobre a saúde tem ocorrido de forma onipresente em praticamente todas as classes sociais e econômicas na América Latina, apesar da ampla utilização de telefones celulares por parte da população, e é frequentemente alimentada por relatos na imprensa leiga, que reproduzem, de uma forma não crítica, o que a imprensa internacional publica. Além disso, um apelo generalizado à legislação mais restritiva por parte dos políticos tem produzido muitas leis que não são solidamente

apoiadas por evidências científicas, o que muitas vezes vêm causando mais mal do que bem. Assim, a análise e o parecer de cientistas latino-americanos são importantes, e adiciona um fator muito importante de confiança. Além disso, os cientistas latino-americanos são, obviamente, mais conscientes das especificidades do uso das RNI, legislação e aplicação de regulamentos, etc., na região.

Portanto, a revisão da literatura foi realizada com estes objetivos e abordagens em mente, e sempre que possível revisamos as contribuições latino-americanas ao corpo da pesquisa mundial, e emitimos recomendações em relação à sua importância, aplicabilidade e viabilidade em países latino-americanos.

Com o objetivo de encontrar documentos relevantes e de alta qualidade publicados neste campo na América Latina, pesquisamos três bases de dados da literatura:

1. LILACS (Literatura Latino Americana em Ciências da Saúde, mantida pelo Centro Regional de Informação em Saúde para América Latina e Caribe, uma agência da Organização Panamericana da Saúde, que se concentra em revistas científicas e médicas publicadas na região.);
2. MEDLARS, um banco de dados da literatura mantido pela U.S. National Library of Medicine, e
3. A base de publicações científicas mantida pelo EMF-WHO Program (Programa de Campos Eletromagnéticos e Saúde, coordenado pela Organização Mundial de Saúde).

A estratégia de busca usada consistiu em usar os nomes dos países da América Latina em conjunto com palavras-chave adequadas. Não foram considerados artigos e livros publicados por cientistas e técnicos de origem latino-americana, mas que não trabalham em países da região.

Limitação de Escopo

Com esses objetivos em mente, a revisão da literatura e análise crítica que se segue limitou o seu âmbito aos efeitos biológicos e sobre a saúde dos campos eletromagnéticos não-ionizantes (denominados em conjunto de **bioefeitos**), restringindo-nos à gama das frequências utilizadas para a radiodifusão e comunicação por ondas de rádio e micro-ondas, tais como aquelas utilizadas em rádio e televisão, comunicação móvel de voz de dados, redes sem fio de comunicação de dados, etc.

Cobrimos na revisão não somente os possíveis efeitos diretos da exposição sobre os profissionais que trabalham com essas radiofrequências (RF), bem como sobre o público em geral (tanto usuários quanto não usuários de equipamentos terminais), mas também os efeitos indiretos de RF, tais como a interferência radioelétrica sobre dispositivos médicos. A revisão não cobriu, intencionalmente, outras fontes menos relevantes de radiações não-ionizantes, tais como fontes de maior potência de RF, fontes de luz visível de alta intensidade, de raios ultravioleta não-ionizante, de raios infravermelho, ou fontes de frequências extremamente baixas (ELF, em inglês), tais como as usadas na transmissão de energia elétrica de corrente alternada.

Efeitos Biológicos da Radiação Não-Ionizante

A abordagem tradicional e mais eficaz para estudar relações de causa-efeito nas ciências biológicas é através da experimentação com células e organismos. A **Radiobiologia** é o campo das ciências biológicas que tenta esclarecer como as diversas formas de interação com a radiação afetam os seres vivos de todos os tipos. **Bioeletromagnetismo** é o ramo da Radiobiologia que abrange o estudo de campos eletromagnéticos, tanto ionizantes quanto não-ionizantes, seja eles natural ou artificialmente gerados. Estas pesquisas podem ser puras ou aplicadas, mas a maioria das pesquisas aplicadas têm como alvo a eventual aplicabilidade do conhecimento adquirido aos seres humanos, tais como a vulnerabilidade à RF gerada externamente por dispositivos como transmissores de TV e telefones celulares.

Nesta seção, analisaremos os dados experimentais coletados sobre os efeitos biológicos da energia eletromagnética de alta frequência, especialmente na faixas de frequência de rádio e de micro-ondas, entre 100 kHz e 10 GHz, realizado em experimentos *in vivo* e *in vitro*, exceto em seres humanos, o que será abordado no próximo capítulo.

Este capítulo inclui culturas de células e tecidos isolados *in vitro* ou *in vivo* (animais íntegros), principalmente em mamíferos, que são fisiologicamente e geneticamente mais similares aos seres humanos do que as bactérias, vermes ou insetos. Desta forma, espera-se que este conhecimento possa ser transferido aos seres humanos, os quais, por motivos éticos, não podem ser usados para a maioria dos tipos de experimentos.

Modelos *in vitro* têm sido amplamente utilizados para estudar interações de campos eletromagnéticos não-ionizantes ao nível de moléculas e dos mecanismos bioquímicos que funcionam em níveis celulares. Eles incluem o metabolismo celular e tecidual, as vias e cascatas bioquímicas, o transporte de íons através das membranas e no interior das células, a divisão e o crescimento celulares, o sistema de genes e a expressão gênica, a síntese de proteínas, codificação e transdução de informações do DNA, RNA, enzimas, e muitos outros. Teoricamente, todos os aspectos dessa imensa e complexa fábrica celular podem ser investigadas em relação à RF. Uma ressalva importante, porém, é que os efeitos descobertos em nível molecular ou celular não significam automaticamente que eles sejam relevantes para o funcionamento anormal ou tenham consequências para a saúde de todo o organismo (D'Inzeo, 2009, Repacholi, 1998).

Os modelos *in vivo* utilizados para a experimentação com RF são centrados principalmente em mamíferos, quase sempre pequenos roedores reproduzidos em laboratório, como ratos e camundongos. Há muitas vantagens na utilização destas espécies: elas têm mais de 70% de seus genes em comum com o *Homo sapiens*, são mamíferos de sangue quente, com a fisiologia e sistemas bioquímicos semelhante, são fáceis de reproduzir e manter em cativeiro, têm uma vida útil relativamente curta e uma alta taxa de reprodução (ideais para os estudos genéticos e de exposição por toda a vida) e podem ser tão geneticamente homogêneos quanto ser queira, incluindo linhagens que são geneticamente programadas para serem altamente suscetíveis ao câncer e outras doenças.

No que diz respeito à capacidade de transferir ou aplicar os conhecimentos adquiridos por meio de experiências com esses animais, isso é bem mais difícil. Por um lado, ratos e camundongos são pequenos, assim a absorção de radiação e a propagação de RF dentro dos seus corpos são diferentes das em seres humanos, inclusive para os órgãos

sensoriais, o cérebro e o sistema hematopoiético, que são muito pouco protegidos da radiação externa por seus ossos finos. Além disso, a biologia dos roedores é totalmente oposta a dos primatas em geral: são principalmente noturnos e subterrâneos, e por isso têm pouca proteção desenvolvida pela evolução contra a radiação solar e outros tipos de radiações. Isso pode torná-los mais sensíveis à frequência eletromagnética não ionizante do que o *Homo sapiens*. Além disso, a biologia comportamental, memória e habilidades cognitivas não podem ser facilmente extrapoladas para os seres humanos.

A grande liberdade de realizar experiências sistemáticas com células vivas ou organismos permite uma extensa coleta de dados e a variação de muitos parâmetros, tais como a utilização de várias densidades de energia de RF, por exemplo, em muitos esquemas de exposição diferentes. Um maior número de variáveis pode ser estudado de forma simultânea ou isoladamente. Em um exemplo dos estudos de exposição experimental em ratos, 151 variáveis fisiológicas e clínicas foram registradas. O número de indivíduos em estudos de exposição de animais é normalmente mais elevado do que aqueles utilizados na experimentação humana, mas é muito menor do que em estudos epidemiológicos humanos.