

Artigo Original

recebido em 06/11/2001 e aceito em 11/12/2002

Interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos ocasionada por telefonia celular

Electromagnetic interference in electromedical equipment caused by cellular telephones

Suzy Cristina Bruno Cabral
Sérgio Santos Mühlen

Departamento de Engenharia Biomédica
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação,
Centro de Engenharia Biomédica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
13081-970 Campinas, São Paulo, Brasil.
suzy@ceb.unicamp.br
smuhlen@ceb.unicamp.br

Resumo

Interferência eletromagnética (EMI) é a ocorrência de alterações funcionais em um determinado equipamento devido a sua exposição a campos eletromagnéticos. Os efeitos das EMIs são particularmente preocupantes quando ocorrem em equipamentos eletromédicos, sobretudo se estão monitorando ou dando suporte à vida de um paciente. Considerando que o aumento no número de fontes de radiofrequências presentes no ambiente hospitalar aumenta a probabilidade de ocorrência de EMI nos equipamentos eletromédicos, o objetivo desse trabalho é quantificar e classificar as alterações funcionais perceptíveis em determinados equipamentos eletromédicos quando expostos aos campos elétricos produzidos por telefones celulares, operando nas potências média e máxima. Inicialmente foi realizada a medida da intensidade do campo elétrico produzido pelo telefone celular operando nas potências média e máxima, a diversas distâncias da antena receptora de medida. Em seguida os equipamentos eletromédicos selecionados foram expostos aos campos elétricos medidos anteriormente. Os resultados das etapas experimentais permitiram observar um número significativo de alterações funcionais nos equipamentos eletromédicos testados, com graus variáveis de severidade.

Palavras Chave: Equipamento eletromédico; Interferência eletromagnética; Telefonia celular.

Abstract

Electromagnetic interference (EMI) is the occurrence of functional alterations in a certain equipment due to its exposition to electromagnetic fields. The EMI effects are of particular concern when they occur in medical devices, especially when these devices are monitoring or supporting a patient's life. Considering that the growth in the number of radio frequency sources in hospitals increases the probability of EMI occurrence in medical devices, the aim of this work is to classify the perceptible functional alterations in some medical devices when exposed to the electrical fields produced by cellular phone, operating at maximum and medium power. In this study it has been first measured the intensity of the electrical field produced by cellular phone operating at medium and maximum power and different distances from the receiver measurement antenna. Afterwards the medical devices were exposed to the electrical fields measured previously. The experimental results allowed to observe a significant number of functional alterations in the medical devices tested, with different levels of severity.

Keywords: Cellular phone; Electromagnetic interference; Medical device.

Extended Abstract

Introduction

Electromagnetic interference (EMI) is the occurrence of functional alterations in a certain equipment due to its exposition to electromagnetic fields. The EMI effects are of particular concern when they occur in medical devices, especially when these devices are monitoring or supporting a patient's life.

The growth in the number and types of radio frequency (RF) sources in hospitals increases the probability of EMI occurrence in medical devices, creating an additional risk condition to patients.

Cell phones are becoming very popular in Brazil, especially in concentrated urban areas, because of its convenience and the problems on conventional communications. Inside hospitals, patients, visitors, employees and doctors use them routinely to facilitate their normal and emergencial communications.

In Brazil, the Sanitary Vigilance National Agency (ANVISA) of the Ministry of Health has determined that all electro-medical equipment sold in the country must comply with the prescriptions of the NBR-IEC 60601-1 safety standard, and the NBR-IEC 60601-1-2 collateral standard (electromagnetic compatibility – EMC).

To effectively manage the risks due to non-compatibility between electro-medical equipment and RF sources it is essential to evaluate the malfunctions that may occur when the RF immunity of the medical device is exceeded, the RF emitters that can cause interference and at which distance of them the interference is detectable.

Methods

The experimental part of this work was carried out in two steps: 1) measurement of the electric field intensity produced by the cell phones and 2) observation of functional alterations occurred in the electro-medical equipment during their exposition to the measured electric fields.

The Brazilian EMC standard NBR-IEC 601-1-2 applied to electro-medical equipment prescribes that these devices shall be designed to operate without functional alterations in the presence of electric field intensity up to 3 V/m. In order to avoid reflections and environment interference (furniture, obstacles, walls) the tests took place at the UNICAMP Sports Gym, which provides more than 10 m of free space in all directions, metallic structure in all faces (except floor) and no inside RF sources. The measurements were realized under IEC-CISPR 16-1, 16-2, and IEEE C95-3 standards prescriptions, with a spectrum analyzer (TEK-2710) centered at 835 MHz, and connected to a dipole antenna of $\frac{1}{2} \lambda$. Two cell phones

(Motorola Star Tac and Lite II, both AMPS) were used as interference sources.

The immunity of electro-medical equipment to the electric field was evaluated in the same setup in a qualitative way: the observed alterations occurred during the exposition to electric fields were classified in three categories according to the risk to patient (1. no perceptible alteration, 2. perceptible alteration without hazard to its functioning, and 3. perceptible alteration with hazard to its functioning).

The electro-medical equipment were chosen among those most frequently used on ICU, post-surgery area, monitoring and life support; they had to be portable and independent of special installations or physiologic simulators: infusion pumps, cardiac monitors, oxymeters and non-invasive pressure meters, resulting in a total of 27 devices evaluated.

Results

The electric field strength measurements showed that the cell phones produce fields greater than 3 V/m under distances up to 2.0 m (parallel antenna polarization) and 0.2 m (orthogonal polarization). EMI has been found in 67% of the evaluated electro-medical equipment, half of that representing real risk to the patient.

Discussion

Our experimental results agree with those of almost all related publications. Even adopting a single standard for a management program of EMI, it is difficult to establish a safe distance between cell phone and medical equipment due to the differences observed amongst cell phones, RF susceptibility of medical equipment and relative positions between them. In the hospital environment the problem is certainly worse, considering all interactions between medical and non-medical devices simultaneously, presence of furniture and the patient itself, connected to all these devices.

Many medical equipment have shown to be not suitable to operate in a hostile electromagnetic environment, increasing the patient's risky condition.

The tested medical equipment were assembled mostly between 1994 and 2000. Even recent medical technologies presented susceptibility to cell phones, probably because EMI was not considered to be a concern in their design. In such conditions, where compatibility of these two technologies seems difficult to be achieved, to establish an EMI management policy is the most realistic and responsible action for hospitals to face their EMI problems. The use of cell phones inside the hospital does not necessarily determine appearance of EMI on medical devices, but increases significantly the probability of its occurrence.

Introdução

Interferência eletromagnética (EMI) é a ocorrência de alterações funcionais em um determinado equipamento devido a sua exposição aos campos eletromagnéticos. Os efeitos das EMIs são particularmente preocupantes quando ocorrem em equipamentos eletromédicos (EEM), pois muitas vezes estão monitorando parâmetros fisiológicos importantes ou mesmo dando suporte à vida de pacientes.

O ambiente hospitalar é rico tanto em número quanto em diversidade de equipamentos eletro-eletrônicos, sendo assim propício ao aparecimento de fenômenos de EMI.

Este problema vem se agravando em função do número crescente de equipamentos presentes no ambiente hospitalar: equipamentos ligados diretamente às atividades médicas, equipamentos de apoio e infra-estrutura hospitalar e equipamentos portáteis trazidos ao ambiente hospitalar pelos profissionais, pacientes e visitantes, como é o caso da telefonia móvel celular.

A telefonia móvel celular vem se tornando popular no Brasil, em especial nas áreas de maior concentração urbana. Este meio de comunicação está fazendo parte do cotidiano de milhares de pessoas, pela comodidade oferecida e pelos problemas nas comunicações convencionais. Nos hospitais, pacientes, visitantes, empregados e médicos utilizam-no rotineiramente para facilitar as comunicações normais e de emergência.

Muitas instituições internacionais, como a "Food and Drug Administration" (FDA), publicaram nos últimos anos resultados de estudos associando incidentes ocorridos em equipamentos médicos com a proximidade de telefones portáteis. Um dos primeiros trabalhos que observou a influência dos campos eletromagnéticos no desempenho dos equipamentos eletromédicos foi apresentado por Silberberg (1993), e que serviu de base para os trabalhos realizados posteriormente.

Para gerenciar efetivamente a compatibilidade eletromagnética entre EEM e emissores de radiofrequências (RF) no ambiente hospitalar, é necessário conhecer as falhas que podem ocorrer quando a imunidade dos equipamentos eletromédicos é excedida, quais emissores podem causar interferências e qual a distância entre eles para a qual a interferência é detectável.

É sabido que os transmissores de RF podem interferir na operação normal dos equipamentos eletrônicos, mas as causas da interferência não são totalmente conhecidas ou documentadas. A ausência de evi-

dências reprodutíveis das EMIs em EEM tem levado algumas instituições a relaxar as restrições ao uso de equipamentos interferentes, exceto talvez em áreas de cuidados intensivos com alta densidade de equipamentos de suporte à vida. Então, para avaliar a existência de interferência e poder atribuí-la a determinada fonte é importante a adoção de padrões ou normas de estudo referentes à EMI.

Atualmente diversos comitês normativos trabalham na formulação ou na revisão de normas cujo escopo é a interferência e/ou a compatibilidade eletromagnética (EMC). Três dos principais são a "International Electrotechnical Commission / Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques" (IEC/CISPR), o "American National Standards Institute" (ANSI) e o "Institute of Electrical and Electronics Engineers" (IEEE).

No Brasil, de acordo com a Resolução nº 444 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA) de agosto de 1999, os EEM comercializados no país devem estar em conformidade com as prescrições da norma geral ABNT/NBR-IEC 60601-1 e das normas particulares ABNT/NBR-IEC 60601-2 que definem exigências particulares com relação à segurança elétrica. Estas normas remetem à norma colateral brasileira ABNT/NBR-IEC 60601-1-2, que traz prescrições relativas à EMC em EEM.

Objetivo do trabalho

O objetivo desse trabalho é estudar os efeitos das radiações eletromagnéticas provenientes da telefonia móvel celular no desempenho de diversos EEM normalmente presentes no ambiente hospitalar.

A partir da comprovação das interferências, os resultados podem servir como base para o início do estabelecimento de uma política para gerenciamento e restrição do uso de fontes de rádio frequência no ambiente hospitalar.

Materiais e Métodos

A parte experimental deste trabalho foi desenvolvida em duas etapas: a primeira consistiu na medida da intensidade do campo elétrico produzido pelos telefones celulares, e a segunda na observação das alterações funcionais ocorridas nos EEM durante a sua exposição aos campos elétricos medidos.

A imunidade e a EMI nesse trabalho são relacionadas com a intensidade de campo elétrico capaz de produzir perturbações na operação normal dos EEM sob teste. Este foi o parâmetro adotado, pois é o mesmo seguido pelas normas consideradas.

Diversos fatores influenciam na distribuição dos campos elétricos e na sua medida: a posição da fonte emissora, a distância da fonte emissora à antena de medida, a polarização da antena de medida, a altura de ambas com relação ao solo (influência das reflexões), entre outros. Portanto é importante a adoção de uma metodologia que torne os testes reprodutíveis. Para isso foram desenvolvidas normas que servem como guias para a medida de campos elétricos e para o estudo de susceptibilidade em equipamentos eletro-eletrônicos. Foram selecionadas as seguintes normas para serem utilizadas em ambas as etapas experimentais:

- IEC-CISPR 16-1: especifica as características e o desempenho desejáveis dos equipamentos utilizados para as medições, bem como as características do local para realização dos testes;
- IEC-CISPR 16-2: especifica a metodologia para realização de medições de campos eletromagnéticos e verificação de imunidade;
- IEEE Standard C95-3: trata de aspectos relacionados à medida de campos eletromagnéticos em radiofrequência ou microondas;
- NBR-IEC 60601-1-2: norma de compatibilidade eletromagnética aplicada a equipamento eletromédico.

Medida da Intensidade do Campo Elétrico Produzido pelo Telefone Celular

O objetivo dessa etapa é confrontar a intensidade do campo elétrico produzido pelo telefone celular com o limite normativo prescrito para os EEM. A norma de compatibilidade eletromagnética NBR-IEC 60601-1-2/97 aplicada a equipamentos eletromédicos prescreve que estes devem ser projetados para operar sem alterações funcionais na presença de intensidades de campo elétrico de até 3 V/m na faixa de frequências de 26 MHz a 1 GHz. O módulo do campo elétrico medido com o analisador de espectro foi comparado com o módulo do campo elétrico calculado de acordo com a equação 1 para evidenciar a condição de campo distante e a adequação do ambiente de medidas: quanto mais próximos os resultados experimentais dos teóricos, menor a influência de interferências ambientais (Kimmel & Gerke, 1995).

$$|E| = \frac{\sqrt{30 \cdot Pt}}{d} \quad (1)$$

em que: $|E|$ = intensidade do campo elétrico [V/m]; Pt = potência transmitida pela fonte [W]; d = distância entre o ponto de medida e a fonte [m].

Local para os testes: O local mais adequado para a realização de medidas relacionadas à interferência e à compatibilidade eletromagnética é o interior de uma câmara anecóica. Este dispositivo cria um ambiente isolado das interferências externas, de tal modo que dentro dele só existem os campos eletromagnéticos que forem aí gerados, e portanto os efeitos detectados nos EEM sob teste serão devidos exclusivamente a estes campos. O ambiente hospitalar, por outro lado, possui diversas fontes de radiofrequência além do telefone celular, como é o caso dos equipamentos de radiocomunicação utilizados pelos funcionários da manutenção e da segurança, os bisturis elétricos, transformadores, etc. Além disso, a própria mobília existente no hospital pode causar reflexões e influenciar nas medidas.

Devido ao caráter exploratório deste primeiro trabalho e seus objetivos, o ambiente neutro seria o mais adequado para a caracterização das EMIs percebidas nos EEM, mas não foi possível dispor de uma câmara anecóica na fase experimental. Assim, foram adotadas as prescrições da norma da IEC-CISPR 16-2 para a realização de medidas em campo aberto. De acordo com esta norma, é necessário considerar o ruído ambiental na frequência de medida, que deve ser pelo menos 6 dB abaixo do nível das medidas. Durante as medições, este ruído nunca superou 40 dB abaixo dos níveis das medidas, satisfazendo plenamente as exigências normativas.

O local escolhido para a realização das medidas foi o Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP, que reúne as seguintes características: distâncias superiores a 10 m em todas as direções sem a presença de obstáculos, ausência de fontes de RF internas durante a realização das medidas, e estrutura metálica aterrada em todas as faces (exceto o piso).

Equipamento de medida: Foi utilizado um analisador de espectro Tektronix modelo 2710 ajustado da seguinte forma: RBW (resolution bandwidth): 300 kHz; Frequência: centrada em 835 MHz (frequência do canal utilizado pelos telefones celulares durante os testes). Ao analisador de espectro foi conectada uma antena dipolo de $\frac{1}{2} \lambda$.

Fontes de interferência: Foram adotados como fontes de interferências os telefones celulares Motorola Star Tac e Motorola Lite II, ambos utilizando infraestrutura celular do tipo AMPS (Advanced Mobile Phone Service).

Condições de operação do telefone celular: A potência de emissão do telefone celular não é fixa. Ela é ajustada pela estação de rádio base (ERB) com a qual

o telefone celular está em comunicação. Assim, em condições normais de operação, é praticamente impossível medir a intensidade do campo elétrico produzido pelo telefone celular já que esta é variável e depende da qualidade da comunicação com a ERB. Para a realização das medidas foi necessário fixar a potência de saída dos telefones celulares em um valor independente do comando da ERB. Isto é possível através de um código de programação próprio de cada aparelho. O único fabricante que disponibilizou este código foi a Motorola, e por esta razão apenas telefones celulares desta marca foram utilizados.

As medidas foram realizadas com os telefones celulares operando nas potências máxima e média, que para cada aparelho significaram valores diferentes.

Posicionamento dos equipamentos para realização das medidas: Os equipamentos foram posicionados seguindo as recomendações da norma IEC-CISPR 16-1, exemplificadas na Figura 1.

Como a maior distância de medida utilizada nos testes foi 2 m, a elipse foi delimitada com $R = 2$. Tanto a fonte quanto a antena de medida estavam posicionadas a 1,10 m do solo para minimizar o efeito das reflexões. A Figura 2 apresenta uma visão geral da disposição dos equipamentos nas medições.

As medidas foram realizadas com a antena da fonte emissora (telefone celular) mantida na polarização vertical, e a antena de medida (dipolo) posicionada nas polarizações horizontal e vertical. Para que as medidas estivessem o mais livre possível dos efeitos de campo próximo, foi calculado o campo distante da antena de medida de acordo com a equação 2 (Paul, 1992) apresentada abaixo:

$$cd = \frac{2d^2}{\lambda} \quad (2)$$

em que: cd = distância da antena ao campo distante [m]; d = dimensão dos elementos da antena para a frequência considerada [m]; λ = comprimento de onda na frequência de medida [m]. Substituindo $d = 0,12$ m e $\lambda = 0,36$ m (em 835 MHz), resulta $cd = 0,08$ m.

Como a primeira medida foi tomada a 10 cm da antena, esta pode ser considerada como em campo distante. As leituras consecutivas foram obtidas com incrementos de 10 cm até a distância máxima de 2 m. Em cada ponto analisado foram realizadas 10 medições de campo elétrico. Os resultados apresentados nas Figuras 6 e 7 representam a média das 10 medições em cada ponto. Não houve variação maior que 10% entre os valores máximo e mínimo medidos em um mesmo ponto.

Verificação das Alterações Funcionais nos Equipamentos Eletromédicos

O objetivo dessa etapa foi verificar a imunidade dos EEM através da observação das alterações funcionais perceptíveis ocorridas quando os mesmos foram expostos aos campos elétricos produzidos pelos telefones celulares utilizados. Os telefones celulares foram postos em operação nas potências nominais máxima e média, o que significa 600 mW e 300 mW respectivamente para o modelo Star Tac, e 400 mW e 200 mW para o modelo Lite II.

Avaliação da imunidade dos equipamentos: De acordo com a norma IEC - CISPR 16-2, a imunidade dos EEM pode ser avaliada através de medidas objetivas, subjetivas ou uma combinação das duas. No primeiro caso, a avaliação da imunidade do equipamento é verificada através de medidas de correntes e tensões no mesmo, e a interferência é avaliada de forma quantitativa. A avaliação subjetiva é feita através da observação visual e auditiva dos parâmetros apresentados pelo equipamento que está sendo testado,

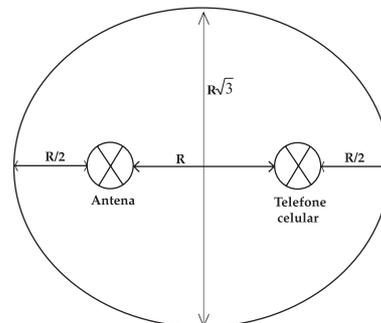


Figura 1: Elipse utilizada para realização dos ensaios.

Figure 1: Ellipse shaped pattern utilized on tests.

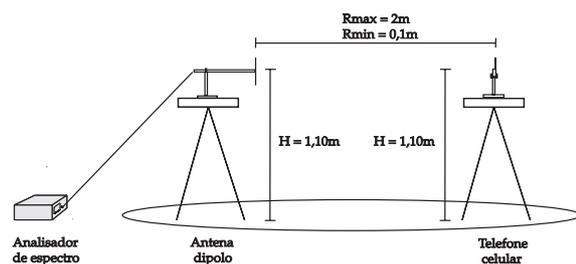


Figura 2: Disposição dos equipamentos para realização das medidas. **Figure 2:** Equipment setup for measurements.

não sendo necessária a utilização de equipamentos especiais para teste (ex: simuladores de funções ou detectores de corrente de fuga).

Nos testes realizados nesse trabalho foram feitas avaliações subjetivas, sendo consideradas como interferências as alterações perceptíveis no funcionamento dos EEM dos seguintes tipos: acionamento indevido de alarmes (sem que houvesse alguma justificativa perceptível na condição de funcionamento do equipamento), alterações nas formas de ondas apresentadas ou nos resultados das leituras de parâmetros fisiológicos quando estes não sofreram alteração, alterações no comportamento do equipamento durante as etapas de programação ou mesmo alterações da própria programação.

Equipamentos selecionados: Os equipamentos eletromédicos utilizados nos testes foram selecionados por se incluírem em um ou mais dos seguintes critérios: são comumente utilizados em UTI, recuperação pós-cirúrgica, monitoração e suporte à vida; são portáteis e independentes de instalações especiais; não necessitam de simuladores das funções fisiológicas; foram disponibilizados pelo serviço médico ao qual pertencem, para integrar esta pesquisa. A Tabela 1 apresenta a seleção de equipamentos resultante da aplicação destes critérios.

Local para realização dos testes: Os testes com os EEM também foram realizados no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP para que não houvesse diferença no campo elétrico já medido.

Fontes de Interferências: Nos testes com os EEM foram usadas as mesmas fontes utilizadas para as medidas dos campos elétricos (telefones celulares Motorola Star Tac e Motorola Lite II).

Posicionamento dos equipamentos: Os EEM foram posicionados como mostra a Figura 3. Para os equipamentos que fazem uso de sensores, estes foram conectados a um voluntário que permaneceu posicionado fora da elipse, para evitar possíveis reflexões no seu corpo.

Como podem existir faces do equipamento mais suscetíveis às EMIs do que outras, os testes foram feitos realizando rotações de 90° nos EEM, totalizando 4 posições diferentes em cada medida. As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados dos testes com os EEM.

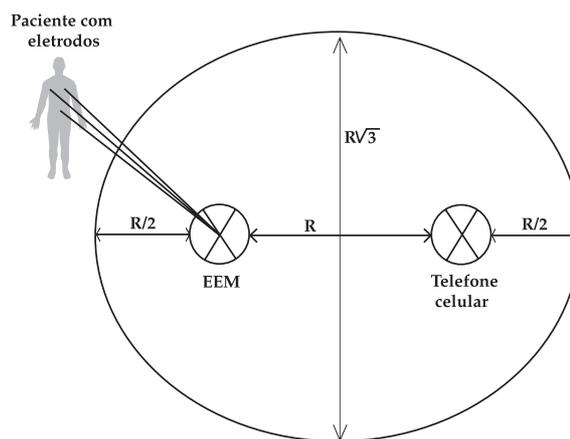


Figura 3: Elipse com o EEM posicionado no local da antena de medida. **Figure 3:** Medical device located on the measurement antenna place, inside the ellipse.

Tabela 1: Equipamentos selecionados para os testes **Table 1:** Medical devices selected for tests

Equipamento	Fabricante	Modelo	Nº de amostras
Bomba de Infusão	Baxter	Flo Gard DCR	03
	LIFEMED	LF 2001	03
	JMS	OT 601	03
Monitor Cardíaco	Dixtal	920	01
	FUNBEC	4-1 TC/FC	02
	ANAMED	Vital Line	01
	Marquette	EAGLE 1000	01
	Datex	SAT LITE	03
Oxímetro	BCI	Micro Span 3040	03
	Nellcor	-----	03
	Novamatrix	Oxypleth	03
Pressão Não Invasiva	Dixtal	DX 2710	01
Total de equipamentos testados			27

Resultados

As Figuras 4 e 5 apresentam a comparação entre os valores dos campos elétricos calculados de acordo com a equação 1 e os campos elétricos medidos com o analisador de espectro para os dois modelos de telefones celulares.

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados das medidas dos campos elétricos nas polarizações vertical e horizontal da antena de medida, emitidos pelos telefones celulares Motorola Star Tac e Motorola Lite II respectivamente.

É possível notar que em muitas medidas os campos elétricos emitidos ultrapassam o limite de 3 V/m, para o qual os EEM são projetados, se observarem as prescrições da norma NBR-IEC 60601-1-2.

As alterações funcionais observadas nos equipamentos eletromédicos foram classificadas em 3 categorias de riscos, que são as seguintes; **Categoria 0:** O equipamento não apresentou alteração perceptível no seu funcionamento; **Categoria 1:** O equipamento apresentou alteração perceptível porém não houve prejuízo no desempenho de sua função; **Categoria 2:** O equipamento apresentou alteração perceptível com prejuízo no desempenho de sua função.

Esta classificação foi feita porque as interferências produziam condições de risco com gravidades variáveis para o paciente.

As Figuras 8 e 9 apresentam as distribuições das alterações observadas nos EEM pelas categorias de risco para os telefones celulares Motorola Star Tac e Motorola Lite II respectivamente.

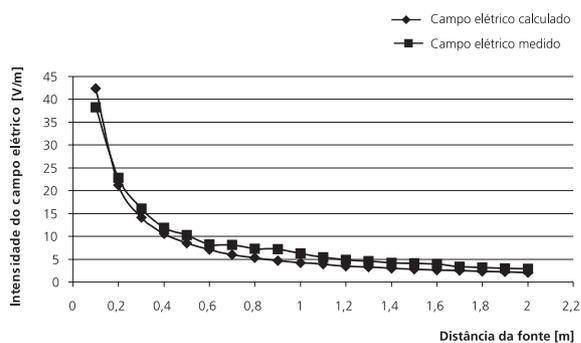


Figura 4. Comparação entre o módulo do campo elétrico calculado para uma fonte operando em 600 mW e o campo elétrico medido do telefone celular Motorola Star Tac operando em potência máxima. *Figure 4. Comparison between the calculated electric field modulus for a 600 mW source and the measured field emitted by a Motorola Star Tac cell phone at maximum power.*

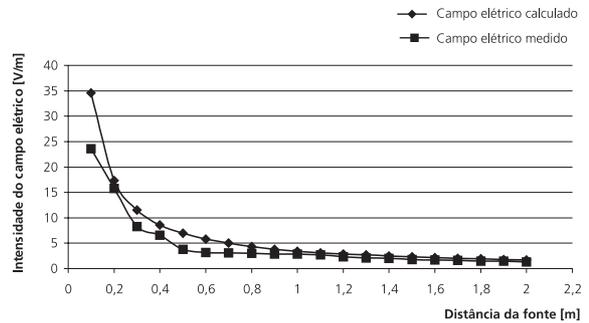


Figura 5. Comparação entre o módulo do campo elétrico calculado para uma fonte operando em 400 mW e o campo elétrico medido do telefone celular Motorola Lite II operando em potência máxima. *Figure 5. Comparison between the calculated electric field modulus for a 400 mW source and the measured field emitted by a Motorola Lite II cell phone at maximum power.*

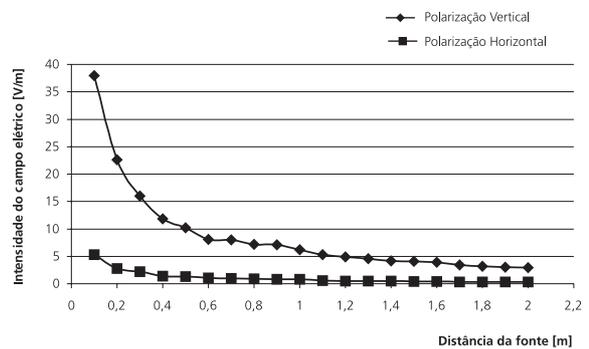


Figura 6. Campo elétrico emitido pelo telefone celular Motorola Star Tac operando em potência máxima. *Figure 6. Electric field emitted by a Motorola Star Tac cell phone at maximum power.*

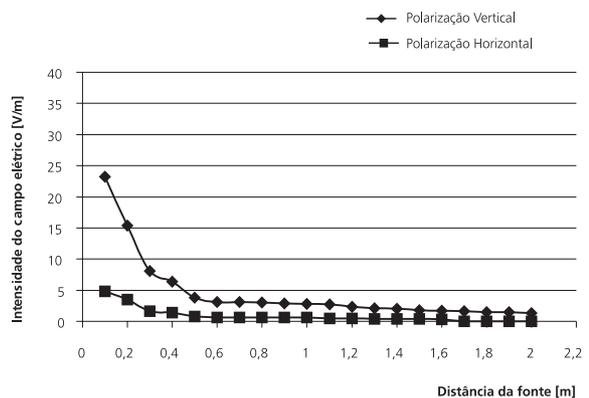


Figura 7. Campo elétrico emitido pelo telefone celular Motorola Lite II operando em potência máxima. *Figure 7. Electric field emitted by a Motorola Lite II cell phone at maximum power.*

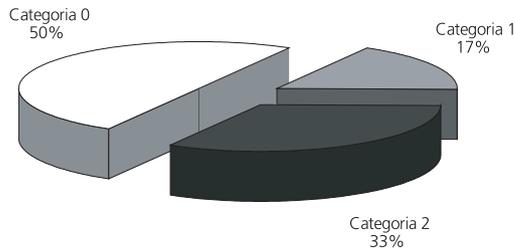


Figura 8. Distribuição das alterações observadas nos EEM quando expostos ao campo elétrico produzido pelo telefone celular Motorola Star Tac operando em potência máxima. **Figure 8.** Alterations distribution observed on the medical devices exposed to the electric field produced by Motorola Star Tac cell phone at maximum power.

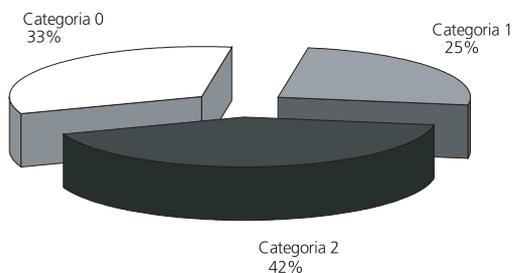


Figura 9. Distribuição das alterações observadas nos EEM quando expostos ao campo elétrico produzido pelo telefone celular Motorola Lite II operando em potência máxima. **Figure 9.** Alterations distribution observed on the medical devices exposed to the electric field produced by Motorola Lite II cell phone at maximum power.

A Tabela 2 apresenta um resumo das alterações observadas nos EEM durante os testes.

Discussão e conclusão

Os resultados experimentais deste estudo referendam a maioria dos resultados de trabalhos que vêm sendo realizados por outras equipes (Adler *et al.*, 1998; Baba *et al.*, 1998; David *et al.*, 2000) em diversos países.

Considerando as Figuras 6 e 7 é possível observar que a 1 m da fonte emissora (telefone celular), o campo elétrico emitido pelo modelo Motorola Star Tac operando em potência máxima é por volta de 6 V/m, valor acima do prescrito pela NBR-IEC 60601-1-2 para EEM (3 V/m). Por outro lado, o campo elétrico emitido pelo telefone celular Motorola Lite II é de 2,9 V/m para a mesma distância e operando em potência máxima; valor que nesse caso está dentro do limite prescrito por aquela norma. Sendo assim, deve-se ter cautela ao estabelecer uma distância mínima de segurança entre fontes emissoras de RF e EEM, pois uma mesma distância pode ser segura para um par fonte/equipamento alvo, e para outro não.

As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados das alterações observadas nos EEM quando expostos aos campos elétricos medidos. A partir destes resultados é possível notar que uma parcela significativa dos EEM testados mostrou-se susceptível aos campos elétricos emitidos pelos telefones celulares avaliados.

Através da Tabela 2 pode-se notar que as alterações não se limitam a mudanças nas formas de onda, mas ocorreram também interferências nos dispositivos que realizam leitura dos parâmetros fisiológicos e nos alarmes. Dos equipamentos testados, nenhum

Tabela 2: Alterações funcionais nos equipamentos eletromédicos testados

Table 2: Functional alterations on the tested medical devices

Equipamento	Interferências Observadas
Bomba de Infusão	<ul style="list-style-type: none"> - Chaveamento de "rede" para "bateria" sem ausência de tensão da rede; - Disparo do alarme de oclusão sem ocorrência de oclusão; - Parada do equipamento; - Disparo do alarme de vazão livre (sem a ocorrência da mesma).
Monitor Cardíaco	<ul style="list-style-type: none"> - Alteração na forma de onda apresentada; - Disparo do alarme de taquicardia; - Desligamento do equipamento.
Oxímetro de Pulso	<ul style="list-style-type: none"> - Alteração na leitura; - Desligamento do equipamento; - Alteração da frequência do bip.
Medidor de Pressão não Invasivo	<ul style="list-style-type: none"> - Insuflamento do manguito sem a realização de leitura; - Leitura incorreta dos valores de pressão.

apresentou alterações perceptíveis quando exposto a campos elétricos abaixo dos 3 V/m.

As alterações observadas nos EEM dependem de diversos fatores, como:

Polarização da antena da fonte emissora: Visto que aproximadamente 80% da radiação é emitida paralela ao eixo longitudinal do elemento radiante (antena), se o componente suscetível do EEM estiver posicionado paralelamente a esta antena, o campo elétrico incidente sobre ele será próximo ao máximo, e nessa condição o equipamento estará mais vulnerável.

Face do equipamento exposta: Isto se deve a aspectos construtivos dos EEM (painéis, blindagens, etc.) assim como o posicionamento dos componentes internos suscetíveis, o que modifica o acoplamento com a fonte de interferência.

Além destes, existem outros fatores que estão ligados às características de funcionamento do EEM, como por exemplo, a maior suscetibilidade em um determinado modo de operação, ou em associação com outros eventos externos. Por exemplo, um dos modelos de bomba de infusão testados se mostrou mais suscetível na programação do modo neonato do que no modo adulto. Estas condições podem manifestar-se conjuntamente e ser ainda modificadas pelas características geométricas do ambiente (reflexões e atenuações), conferindo às EMIs um caráter fortemente aleatório e probabilístico. O mau funcionamento de equipamentos eletromédicos devido às interferências eletromagnéticas é, portanto quase sempre imprevisível e nem sempre reproduzível.

Além dos testes descritos nesse trabalho, cujas potências dos telefones celulares foram controladas, foram realizados outros a título complementar, com outros telefones celulares (outros fabricantes) sem o controle da potência. Nestes testes foram observadas interferências semelhantes às encontradas nos ensaios controlados. Tais resultados não são apresentados aqui de forma sistemática pelas limitações metodológicas dos testes (a potência de saída não era conhecida).

A partir dos resultados é possível constatar que um número significativo de equipamentos eletromédicos não é adequado para operar em ambientes hostis do ponto de vista eletromagnético, apresentando alterações no seu funcionamento. Em tais situações, os pacientes podem ser submetidos a uma condição de risco ainda maior do que aquela decorrente de sua própria condição clínica.

Os equipamentos que foram ensaiados são produtos de gerações tecnológicas diferentes, sendo a maioria fabricada entre os anos de 1994 e 2000. Foi

observado que mesmo os equipamentos mais recentes apresentaram susceptibilidade aos campos elétricos emitidos pelo telefone celular, talvez porque o projeto destes EEM ainda não considere os problemas de EMI. Nessas condições, onde a compatibilidade entre duas tecnologias parece difícil de ser alcançada, o estabelecimento de uma política de gerenciamento aparece como um dos recursos mais responsáveis e realistas para os hospitais gerenciarem os problemas relacionados às EMIs. Enquanto a falta de compatibilidade entre tecnologias oferecer riscos aos pacientes, é essencial que as instituições de saúde estabeleçam programas visando orientar os usuários dos telefones celulares sobre o seu risco potencial em produzir interferência nos EEM. O uso do telefone celular em um ambiente hospitalar não determina o aparecimento de interferência nos equipamentos eletromédicos, mas aumenta significativamente a probabilidade de sua ocorrência.

Referências

- ABNT NBR-IEC 60601-1-2 (1997), *Norma colateral: Compatibilidade Eletromagnética Prescrições e Ensaios em Equipamentos Eletromédicos*, São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 3-12.
- Adler, D., Marguiles, L., Mahler, Y., Israeli, A. (1998), "Measurements of Electromagnetic Fields Radiated from Communication Equipment and Environmental Electromagnetic Noise: Impact on the use of Communication Equipment within the Hospital", *Biomedical Instrumentation & Technology*, v. 32, n. 6, p. 581-590.
- Baba, I., Furuhashi, H., Kano, T., Watanabe, S., Ito, T., Nojima, T., Tsubota, S. (1998), "Experimental Study of Electromagnetic Interference from Cellular Phone with Electronic Medical Equipment", *Journal of Clinical Engineering*, v. 23, n. 2, p. 122-134.
- IEEE, *Std C95.3-1991* (1992), *Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*, New York: IEEE, p. 23-58.
- IEC-CISPR 16-2 (1996), *Methods of Measurement of Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods*, Geneva: International Electrotechnical Commission, p. 13-73
- IEC-CISPR 16-1 (1993), *Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus*, Geneva: International Electrotechnical Commission, p. 15-73.
- Kimel, W., Gerke, D. (1995), *Electromagnetic Compatibility in Medical Equipment: A Guide for Designers and Installers*, New York: IEEE, p. 03-20.
- Paul, C. (1992), *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, Inc., New York: John Wiley & Sons, p. 01-213.
- Silberberg, J. (1993), "Performance Degradation of Electronic Medical Devices Due to Electromagnetic Interference", *Compliance Engineering*, v. 10, n. 5, p. 25-39.

