

Artigo Original

Recebido em 04/06/2007, aceito em 11/12/2008

**Avaliação do ambiente
eletromagnético em
estabelecimentos
assistenciais de saúde**

*Electromagnetic environment
assessment in health care facilities*

Wilson Valente Junior*
Adroaldo Raizer

Departamento de Engenharia Elétrica,
Grupo de Engenharia em Compatibilidade
Eletromagnética – GEMCO/UFSC,
88040-900 Florianópolis, SC
E-mail: valente@eel.ufsc.br

*Autor para correspondência

Resumo

A crescente inserção de tecnologia eletroeletrônica em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), seja como equipamentos terapêuticos, de diagnóstico ou até mesmo suporte vital, tem sido vista pela comunidade científica como a grande responsável pelo aumento dos níveis de energia eletromagnética emitidos ao ambiente hospitalar. Dessa forma, quando a energia eletromagnética presente no ambiente atinge um determinado nível crítico, fica estabelecida uma situação que é propícia ao aparecimento de dois fenômenos indesejados: a interferência eletromagnética (EMI) em equipamentos médicos, e os riscos biológicos (RBL) em seres vivos. Um importante recurso para gerenciar a compatibilidade eletromagnética e evitar o aparecimento destes fenômenos é o conhecimento das características eletromagnéticas presentes nestes ambientes. O objetivo deste trabalho é diagnosticar o comportamento eletromagnético estabelecido em ambientes de grande concentração de fontes emissoras como, por exemplo, o encontrado em centros cirúrgicos, através de uma série de medições *in situ* das grandezas eletromagnéticas envolvidas nestes meios (campos elétricos, campos magnéticos, ruídos conduzidos). Com base nestas medidas é realizada uma avaliação crítica de modo a comparar a situação estabelecida nos EAS e os limites de segurança preconizados por organismos competentes, tanto para EMI quanto para RBL. Como resultado desta análise, começa a existir maior discernimento quanto à real situação do ambiente eletromagnético encontrado em EAS nacionais, subsidiando informações para a definição de diretrizes mais eficientes para implementação de programas de gestão tecnológica que são direcionados às necessidades específicas destes hospitais.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética, Interferência eletromagnética, Risco biológico, Estabelecimentos assistenciais de saúde, Equipamentos eletromédicos.

Abstract

Advances in technology and the increased use of electro-medical equipment (EME) to support medical procedures such as monitoring, diagnosis, therapeutic or even life support are considered as greatly responsible for the increase of electromagnetic energy within health care facilities (HCF) environments. In such circumstances, when electromagnetic energy reaches a certain critical level, a dangerous situation is established and two undesirable phenomena can take place, both electromagnetic interference (EMI) in medical equipment, and biological risks (BLR) in living beings. The knowledge of electromagnetic characteristics shown by these environments can represent an important tool in order to promote electromagnetic compatibility and avoid the appearance of undesirable phenomena. Therefore, this work aims to diagnose the electromagnetic profile established in critical areas, such as operating rooms, through a number of "in situ" measurements concerning electromagnetic quantities present in this environment (electric field, magnetic field, conducted noise). Moreover, a critical evaluation follows in order to compare the established situation within HCF and the safety levels prescribed by regulatory organizations regarding EMI and BLR. As a result of this assessment, a better understanding on the actual situation concerning the electromagnetic environment in HCF can be achieved, allowing clinical engineers to define better directives in order to implement an adequate management programs in these hospitals.

Keywords: *Electromagnetic compatibility, Electromagnetic interference, Biological risks, Health care facilities, Electro-medical equipment.*

Extended Abstract

Introduction

The knowledge of electromagnetic features present in clinical environments can represent an important tool in order to manage electromagnetic compatibility (EMC) and to avoid the appearance of two undesirable phenomena, both electromagnetic interference (EMI) in medical equipment and biological risks (BLR) in living beings. Therefore, this paper aims to identify the electromagnetic profile established in critical areas, such as operating rooms (OR), through a number of "in situ" measurements concerning electromagnetic quantities present in this environment (electric field, magnetic field, conducted noise).

Material and Methods

Electric field strength measurements were made using a system consisting of a laptop (control and data processing), a spectrum analyzer (Rohde & Schwarz, FSH-3), and a set of broadband antennas (Rohde & Schwarz, HFH2-Z2 / HK116 / HL223 / HL040 / HE200). All measurements performed were narrow band and could evaluate emissions in a frequency range from 100 kHz to 3 GHz. In addition, magnetic field strength measurements from 1 Hz to 400 kHz were made using an isotropic field meter (Narda, ELT-400). For conducted emission tests, the spectrum analyzer was connected to a current sensor (Rohde & Schwarz, RF EZ-17).

The measurements aimed to adequately characterize the worst-case present in the HCF environment under test. The methods used were based on IEEE Std. 139 and IEEE Std. C95-3, as fully described by Valente (2006). A typical setup for a radiated emissions test is shown in Figure 1. Figure 2 shows details of an ongoing procedure, which is basically divided in six steps: calibration test, technical documentation, definition of measurement points (a grid of 1×1 m), in rest measurement (with all EME turned-off), clinical simulation, under operation measurement (with EME turned-on).

Referring to EMI, the IEC 60601-1-2 (EMC collateral standard for EME) was adopted in order to evaluate critical points established within the HCF. It defines the 3 V/m and 10 V/m limits for EME radiated immunity (from 26 MHz to 2.5 GHz) for general and life-support equipment respectively. It defines also 3 V (general EME) and 10 V (life support EME) as limits for EME conducted immunity (from 150 kHz to 80 MHz). Referring to BLR, the ICNIRP 1998 guideline was adopted in order to assess electromagnetic field exposure, since it defines the safety levels for occupational and general public from 1 Hz to 300 GHz. Table 1 resumes all safety limits adopted in this work.

Results

Measurements were performed inside several urban hospitals in order to estimate the electromagnetic profile established in operating rooms. Typical results presented by 4 HCF (named Alfa, Beta, Gama, and Delta hospitals) are reported in this paper. For each test, the placement of EME and objects within the room follows the clinical staff directives attempting to configure a usual setup for the standard procedure used in the HCF (Figure 3).

Figure 4 shows the electric field spectrum result (30 MHz to 3 GHz) for Beta hospital. It illustrates two different spectrum situations, both in operation case (EME on) and in rest case (EME

off). This operation case represents the most severe condition observed among all HCF evaluated in this study. It is possible to observe critical electric field strength frequencies and identify their sources, as shown in Table 3 for all HCF aforementioned. Figure 5 shows a magnetic field scattering for low frequencies (1 Hz to 400 kHz) (in operation and in rest case). Higher values occur always near electrosurgical unit electrode (C3 point). Table 4 summarizes the magnetic field results for each HCF presented in this paper. Finally, Figure 6 illustrates the conducted noise results (100 kHz to 100 MHz) for Gama Hospital (worst-case situation so far). Table 5 summarizes conducted noise results for each HCF presented in this paper.

Discussion and Conclusion

This study represents a complete survey of HCF environments in order to assess the electromagnetic profile established in critical areas, such as operating rooms. The results obtained by spectral analysis of radiated and conducted emissions were successful, since they clearly identify specific points to be taken into account in order to promote EMC.

During this work several urban hospitals were evaluated according to the proposed method. Considering all results presented by this study, HCF can be classified in four categories according to EMI situation, and two categories according to BLR situation. This classification is presented in Table 6. Regarding EMI risk, HCF are classified as type I (do not present evidences for EMI), type II (can present radiated EMI caused by external sources), type III (can present EMI caused by internal sources), and type IV (can present conducted EMI caused by internal sources). Referring to BLR, HCF are classified as type A (do not present evidences for BLR) and type B (there are evidences of BLR). According to this classification, the HCF studied in this paper can be stated as: Alfa (type II-A), Beta (type III-A), Gama (type IV-A), and Delta (type I-A).

It is possible to observe that there is a well defined risk of EMI in EME. In addition, this paper shows that EMI risk can be substantially different at each HCF, resulting as a combination of a number of specific aspects (geometric conditions, equipment models, procedures, neighborhood, etc.) which can configure a hazardous situation. Hence, this kind of assessment is recommended to be individually performed in all HCF, in order to define better directives and implement a particular and effective EMC management program at each HCF. On the other hand, ordinary points concerning EMC can also be identified: in all HCF analyzed in this study, RF radiated emissions originated by EME seem to be critical at low RF frequencies (about 30 MHz) and gradually decrease up to 3 GHz. Thus, it may be important to redefine Brazilian EMC standards in order to guarantee a safe condition for the operation of EME.

Regarding human exposure to RF fields, there is no evidence of BLR occurrence in staff and patients within OR environments. However, this assessment has an important role in order to evaluate the genuine situation and to clarify the speculative appeals concerning this controversy.

Introdução

A crescente inserção de tecnologia eletroeletrônica em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) com equipamentos de monitorização e imagem, de diagnóstico, ou até mesmo suporte vital, tem sido vista pela comunidade científica como a grande responsável pelo aumento dos níveis de energia eletromagnética presentes no ambiente hospitalar. Assim, a energia eletromagnética liberada durante o funcionamento de um determinado conjunto de equipamentos, ligados à rotina hospitalar, pode atingir níveis críticos que tornam propício o aparecimento de dois fenômenos indesejados:

- A *interferência eletromagnética* (EMI) em equipamentos eletromédicos;
- Os *riscos biológicos* (RBL) em seres vivos.

Para os casos em que o ambiente de um EAS apresenta níveis elevados de energia eletromagnética, nos quais os equipamentos eletromédicos (EEM) não foram projetados para operar, fica estabelecida uma situação que é propícia ao aparecimento de fenômenos de EMI. Dentre os agravantes para a referida situação, é sabido que diversos EEM, por operarem com sinais de baixo nível de tensão e corrente (típico em sinais provenientes do corpo humano), geralmente apresentam baixa relação sinal/ruído nos seus circuitos de instrumentação. Logo, este aspecto contribui ainda mais para que as induções espúrias se tornem mais significativas e lesivas.

No contexto das tecnologias aplicadas à área médica, é importante ressaltar que a EMI pode submeter os pacientes a uma situação bastante delicada, haja vista que ela acaba por alterar não apenas a funcionalidade de um EEM, mas possivelmente toda uma metodologia de tratamento ou diagnose. Como resultado, os pacientes podem ser expostos a uma condição de risco crítica, onde os danos envolvidos podem ser efetivamente maiores do que a condição já estabelecida pela sua própria situação clínica. Com base nestas afirmações, torna-se evidente que a imunidade dos EEM em estabelecimentos voltados à saúde pública é fundamental para a garantia da qualidade, segurança e confiabilidade do parque tecnológico nos serviços de saúde prestados à população.

De maneira análoga, quando o ambiente de um EAS apresenta níveis elevados de energia eletromagnética, nos quais pode existir a interação de campos eletromagnéticos com tecidos vivos, fica estabelecida uma situação que é propícia ao aparecimento de efeitos biológicos. Em casos em que existe uma excessiva exposição aos campos eletromagnéticos po-

dem ser verificados alguns riscos biológicos, ou seja, efeitos biológicos nocivos capazes de comprometer a saúde dos profissionais e pacientes presentes neste ambiente.

Na literatura técnica existe uma série de estudos que versam sobre a definição de limites seguros para exposição de seres vivos aos campos eletromagnéticos. Por outro lado, as evidências concretas baseadas em pesquisas reprodutíveis sobre a ocorrência de riscos biológicos necessitam de certo tempo para ser estabelecidas, o que contribui para a polêmica do assunto e dá margem a uma série de especulações infundadas. Portanto, com o intuito de preservar a saúde dos profissionais e pacientes presentes nos EAS, torna-se justificada a necessidade de uma avaliação, com rigor científico, dos níveis de campo eletromagnético estabelecidos nestas áreas. A partir desta análise, e a consequente observância aos limites requeridos pelas regulamentações competentes neste escopo, é possível garantir a segurança ocupacional e do público geral presente nos EAS.

Diversos grupos de pesquisa desenvolvem trabalhos no intuito de investigar o conteúdo das emissões eletromagnéticas presentes em ambientes clínicos, sempre buscando identificar e entender “como” e “porque” os fenômenos indesejados (EMI e RBL) podem afetar a operação segura de EEM e a saúde dos seres vivos. Entretanto, apesar da atual demanda de pesquisa nesta área, os testes de compatibilidade eletromagnética (EMC), quando realizados em ambientes clínicos, envolvem uma série de complexidades que não são encontradas em testes de ambiente controlado (Paperman *et al.*, 1996). Além disso, não é trivial encontrar na literatura normativa procedimentos de medição bem definidos e que sejam adequados para realizar o levantamento das emissões eletromagnéticas em ambientes clínicos, onde além da complexidade do sistema em si, ainda é imposta uma série de restrições, como o acesso restrito a determinados setores, o espaço físico limitado, questões de assepsia e limpeza, segurança aos procedimentos clínicos em andamento, e aos pacientes envolvidos neste contexto.

Até hoje os principais trabalhos desenvolvidos para avaliar as emissões eletromagnéticas em ambientes clínicos são baseados em adaptações de normas para campo aberto (OATS – *open area test site*) ou gerais (ANSI, 2004), onde na maioria das vezes são analisados poucos pontos distribuídos no interior do ambiente sob investigação (tipicamente estes ensaios são realizados a 1 ou 3 metros de distância de um de-

terminado EEM), ou apenas em pontos centrais da sala (Nelson e Ji, 1999; Paperman *et al.*, 1996). Ainda assim, a maioria dos trabalhos publicados na área reserva pouco espaço para a apresentação do protocolo de medição em si, suprimindo informações de como realizar na prática uma investigação desta natureza. No intuito de ajudar a suprir esta lacuna técnica, além da avaliação proposta para a caracterização completa do ambiente eletromagnético em EAS, com a tomada de medições *in situ* das grandezas eletromagnéticas (campos elétricos, campos magnéticos, ruídos conduzidos) em centros cirúrgicos (setores de grande concentração tecnológica), este trabalho também apresenta de forma detalhada o método desenvolvido e utilizado para tal fim. Este método foi elaborado de modo a atender tanto ao conjunto de restrições estabelecidas pelo EAS, quanto a satisfazer as questões técnicas definidas pelas principais normas de EMC para a avaliação de emissões eletromagnéticas em ambientes.

O objetivo desta pesquisa vem no sentido de caracterizar as emissões eletromagnéticas presentes em EAS, de modo a subsidiar programas de gestão em EMC. Para tanto, diversos hospitais nacionais de médio/grande porte têm sido avaliados com a aplicação do referido método. Este trabalho relata e discute os resultados obtidos em quatro hospitais semelhantes, de médio porte, com o mesmo nível de complexidade tecnológica, cujos diagnósticos apresentaram características representativas dos dados obtidos pela pesquisa em questão. Os resultados dos demais EAS avaliados recaem sobre os quatro casos aqui apresentados.

Materiais e Métodos

Normas técnicas adotadas

O método aplicado adota protocolos baseados em três tipos de normas técnicas:

Normas para sistemas de medição – Especificam as características técnicas e o desempenho necessário

aos equipamentos e sistemas de aquisição de sinais, como a ANSI C63-2 (ANSI, 1996) e a IEC/CISPR 16-1 (IEC, 1993).

Normas para procedimentos de medição – Definem os métodos e as técnicas de medição que devem ser aplicados para a aquisição adequada das grandezas elétricas de interesse, buscando garantir sua reprodutibilidade e coerência de resultados, como a IEEE Std.139 (IEEE, 1993), a IEEE Std. C95.3 (IEEE, 1992), e a IEC/CISPR 11 (IEC, 2004).

Normas para limites de segurança – Estabelecem os critérios de segurança e os níveis-limite baseados em evidências científicas sobre o aparecimento de determinadas perturbações ou efeitos danosos, os quais se deseja suprimir ou evitar, como a IEC 60601-1-2 e a ICNIRP (a rigor, uma diretriz reconhecida pela Organização Mundial de Saúde – OMS). Os limites preconizados por estes documentos são fundamentais para a presente pesquisa, pois definem o diagnóstico de um ambiente, classificando-o como adequado ou não, seja com relação à operação segura dos EEM (ABNT, 1997; IEC, 2004) ou para a saúde dos seres vivos (ICNIRP, 1998). A Tabela 1 destaca os quatro quesitos utilizados na avaliação dos ambientes sob teste, assim como, os seus respectivos níveis-limite.

Destaca-se que a comparação direta das emissões eletromagnéticas presentes em EAS com os limites de imunidade para EEM (norma IEC 60601-1-2) apresentados na Tabela 1, é comumente utilizada pela literatura técnica como um método para avaliar a possibilidade de EMI em ambientes clínicos (Arnofsky *et al.*, 1995; Davis *et al.*, 1997; Paperman *et al.*, 1996; Phaiboon e Somkuarnpanit, 2000; Young *et al.*, 1997). Entretanto, deve-se estar atento que, por norma, os testes de emissões eletromagnéticas empregam geralmente detectores de pico (ou quase-pico), enquanto os limites de imunidade apresentados são dados em valores RMS. Assim, a comparação direta destes valores

Tabela 1. Resumo dos limites de segurança. **Table 1.** Resume of safety limits.

Limites de segurança adotados				
Segurança de EEM	Norma IEC 60601-1-2			
	Limites	EEM geral	Suporte vital	Faixa de frequência
	Imunidade radiada	3 V/m	10 V/m	26 MHz a 1 GHz (1ª Ed. – 1993) 80 MHz a 2,5 GHz (2ª Ed. – 2005)
Imunidade conduzida	3 V	10 V	80 kHz a 80 MHz (2ª Ed. – 2005)	
Exposição de seres vivos	Diretrizes ICNIRP 1998			
	Limites	Público geral	Ocupacional	Faixa de frequência
	Campos elétricos	870 V/m	1.952 V/m	Limites mais rigorosos na faixa de 10 a 400 MHz
Campos magnéticos	6,25 μ T	30,7 μ T	Limites mais rigorosos na faixa de 1 Hz a 400 kHz	

resulta no estabelecimento de um fator de segurança que está sob consideração na presente pesquisa.

Equipamentos utilizados

Para medições nas faixas de 100 kHz a 3 GHz foi utilizado um *laptop* com *software* de controle e processamento, um analisador de espectro (Rohde & Schwarz, FSH-3) acoplado via cabo coaxial blindado ao sensor de campo elétrico (antenas Rohde & Schwarz HFH2-Z2, HK116, HL223, HL040, HE-200), ou ao sensor de corrente (Rohde & Schwarz, RF EZ-17). Para análise complementar em baixa frequência foi utilizado um medidor isotrópico de campo magnético (Narda, ELT-400) ajustado para avaliação de emissões na faixa de 1 Hz a 400 kHz.

Procedimento de medição

O procedimento de medição implementado é fruto de uma revisão bibliográfica de artigos técnicos, publicações e normas. Seus primeiros resultados começaram a aparecer por volta de 2002 (Valente *et al.*, 2002), e foi publicado e discutido na íntegra em 2006 (Valente, 2006). Em linhas gerais, a configuração típica de ensaio foi desenvolvida com a finalidade de caracterizar adequadamente o pior caso passível de ocorrência no ambiente do EAS sob investigação. Ela consiste em seis passos fundamentais, a saber:

Passo 1 – Pré-calibração: Os resultados dos equipamentos utilizados no ensaio são comparados, em laboratório, com sistemas de medição que também possuem rastreabilidade metrológica. Observa-se a apresentação de desempenho compatível e a coerência de resultados;

Passo 2 – Documentação: Consiste no levantamento de documentação técnica dos EEM presentes no ambiente avaliado, assim como no registro da sua exata localização e disposição. A disposição dos equipamentos e objetos no interior de cada sala sob teste obedece à rotina e às recomendações do corpo clínico de cada hospital. A documentação levantada nesse passo é uma ferramenta importante para viabilizar a reprodutibilidade dos ensaios realizados;

Passo 3 – Definição dos pontos de medição: O ambiente sob investigação deve ser dividido em uma “grade” de 1 m × 1 m e as medidas são tomadas nos pontos de intersecção desta grade (IEEE, 1992). Apenas os pontos livres de obstáculos devem ser medidos (em distâncias de pelo menos 1 m de fontes eletromagnéticas e paredes) de modo a obedecer às especificações técnicas das antenas para o acoplamento efetivo de campos. As medições são tomadas a uma

altura mínima de 1 m em relação ao solo, entretanto, o ângulo de abertura das antenas empregadas garante a recepção de sinais emitidos por fontes posicionadas em planos adjacentes (tanto inferiores, quanto superiores ao plano de medição);

Passo 4 – Medição em repouso: É realizada a medição (geralmente em um ponto central da sala) enquanto todos os equipamentos presentes no ambiente sob investigação encontram-se desligados. Para cada faixa de frequência são levadas em consideração as rotações requeridas tanto por questões de diretividade quanto de polarização. Este passo realiza a caracterização do ambiente externo ao EAS, pois avalia a influência dada, principalmente em razão da sua localização e vizinhança;

Passo 5 – Simulação: Após a caracterização do ambiente externo, é iniciada a etapa de simulação clínica. Os EEM devem operar segundo a supervisão de um profissional ligado à rotina do EAS, de modo a reproduzir a situação típica de operação. A condição crítica deve ser avaliada através do ajuste dos EEM para potência máxima e em seus diversos modos de operação;

Passo 6 – Medição em simulação: Com a simulação em andamento é avaliada a contribuição dos EEM e a combinação das inúmeras fontes de energia presentes no ambiente do EAS. As medições de campo são tomadas em todos os pontos definidos no Passo 3. As diferentes combinações entre o modo de operação dos EEM e os estágios de medição (polarizações, rotações, modos de aquisição) devem ser avaliadas de acordo com o procedimento sincronizado estabelecido pelo protocolo (Valente, 2006). Após o encerramento do ensaio de emissões radiadas, ainda com os EEM em operação, são realizadas as medições de ruído conduzido conforme a CISPR 11.

As principais prescrições normativas que embasam este protocolo são sucintamente apresentadas na Tabela 2.

A configuração típica de ensaio para o levantamento do ambiente eletromagnético radiado em um EAS é apresentada pela Figura 1.

A Figura 2 apresenta o croqui de uma sala cirúrgica investigada. Dentre os equipamentos comumente disponibilizados para a realização da simulação clínica destacam-se: unidades eletrocirúrgicas (UEC) (bisturi elétrico), carros de anestesia com ventilador pulmonar, monitores multiparamétricos, monitores cardíacos, oxi-capnógrafos, medidores de pressão, bombas de infusão (tipo seringa), serras ortopédicas, focos cirúrgicos, etc.

Tabela 2. Resumo das principais prescrições normativas adotadas. **Table 2.** Resume of the main standard prescriptions applied.

Resumo das prescrições normativas utilizadas na medição de campo elétrico				
	Norma	Item	Prescrição normativa	Condição de teste
Parâmetros do sistema	ANSI C63-4	4	Detectores de pico devem ser utilizados para representação da situação de pior caso	Em todas as medições foram utilizadas detecção de pico
	ANSI C63-2	4	Especificação de instrumentos (devem ser seletivos em frequência, com unidade adequada e fornecidos com curva de calibração pelo fabricante)	Foi utilizado o analisador de espectro FSH-3, em unidade de dB μ V/m e com documentação fornecida pela Rohde & Schwarz
		8	Seletividade e largura de banda (BW) (-6 dB)	Por norma, para detectores de pico 100 kHz a 30 MHz (BW = 10 kHz) 30 MHz a 1 GHz (BW = 100 kHz) 1 GHz a 40 GHz (BW = 1 MHz)
		7	Impedância de entrada de 50 Ω	Selecionado para 50 Ω , conforme especificado no manual dos sensores
		13	A exatidão do sistema deve ser melhor que ± 3 dB	Variações de $\pm 1,7$ dB até $\pm 1,9$ dB (dependendo da antena utilizada) para um nível de confiança de 95%, k = 2. Fontes de incerteza: analisador FSH-3, perdas nos cabos e conectores, antenas, casamento de impedância (VSWR).
15	Especificação de Sensores	Conjunto de 4 antenas lineares e direcionais (uma para cada faixa de frequência e com especificação de AF definida pelo fabricante)		
Especificações do procedimento de medição	IEEE Std. 139	2.1	Agrupamento de EEM que são instalados em uma mesma área e operam ao mesmo tempo devem ser utilizados para medição e avaliação do ambiente	Os equipamentos foram agrupados segundo sua disposição típica de operação na rotina hospitalar
		2.2	Inspeção física dos EEM	A inspeção física dos EEM foi realizada pelo eng. clínico responsável do estabelecimento avaliado, no início de cada jornada
		2.3	Determinação dos locais de medição	A área do ambiente avaliado foi dividida em uma "grade" de 1 m ² de acordo com a especificação da norma IEEE Std. C95-3
		2.4	Ajuste dos EEM para situação de máxima emissão eletromagnética	Os equipamentos que permitem ajuste foram regulados para potência nominal máxima (ex: UEC)
		2.5.1	Verificação da condição de operação dos equipamentos de medição e antenas	Antenas utilizadas de acordo com a operação especificada pelo fabricante: a) AF calibrado para 1 m de distância b) Montagem em suporte próprio c) Utilização de cabos blindados d) Verificação de sobrecarga do analisador
		2.5.2	Verificação da calibração do sistema	A verificação da calibração do sistema foi realizada em laboratório antes de cada jornada de medição. Os resultados foram obtidos por comparação com equipamentos que possuem rastreabilidade metrológica
		2.6	Determinação do espectro de frequências (assinatura eletromagnética)	Realizado utilizando-se o analisador de espectro na opção "hold maximum" (situação de pior caso)
		2.8	Antenas posicionadas entre 1 e 4 m do solo. Realizar rotação das antenas tanto para direção quanto para polarização	Todas as medições foram realizadas de acordo com as prescrições estabelecidas Rotação das antenas em 360° (Diretividade); Medição de polarização vertical e horizontal.
	3	Documentação do ensaio	Baseado nas recomendações da norma	
	IEEE Std. C95-3	5	Divisão da área avaliada em uma "grade" de 1 m ² . As medições devem ser realizadas em cada intersecção da "grade".	A cada jornada foram medidos todos os pontos de intersecção da "grade", exceto aqueles em que se encontram a menos de 1 m de distância de fontes eletromagnética ou paredes (conforme especificado pelo fator de calibração do fabricante)
Limites	NBR IEC 60601-1-2	36	Especificação do nível de imunidade para EEM	Foi utilizado o limite de 3 V/m para EEM Geral e 10 V/m para EEM de Suporte Vital (de 26 MHz a 2,5 GHz)
	ICNIRP 1998	10	Especificação do limite de exposição para seres vivos	Foram utilizadas as especificações para público geral e ocupacional definidas pela diretriz.

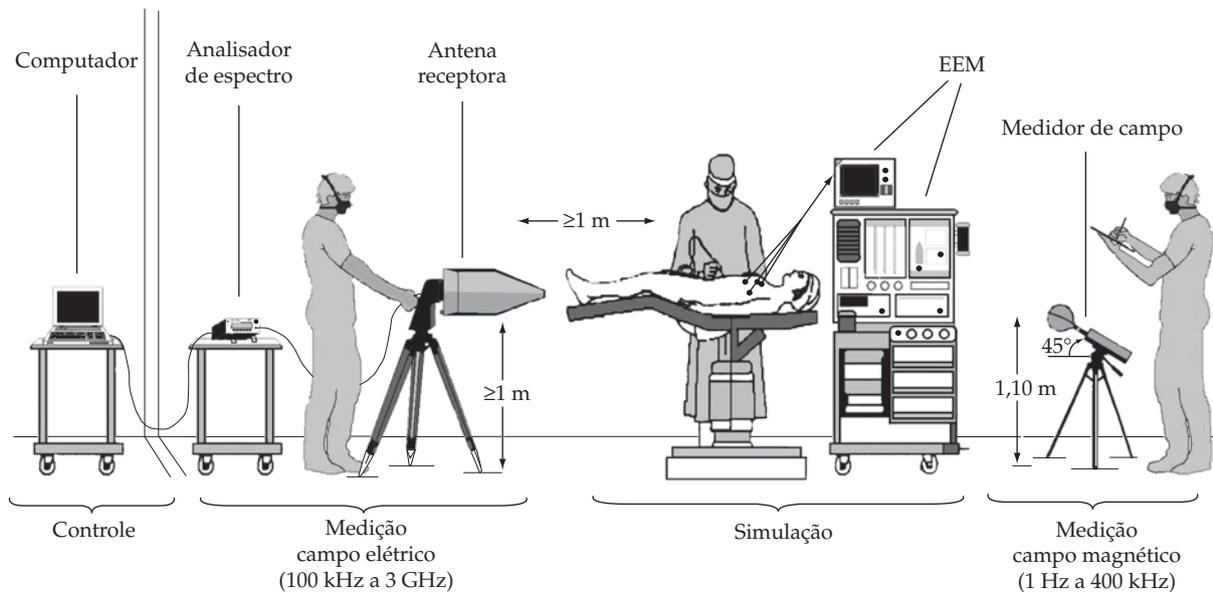


Figura 1. Configuração típica de um ambiente sob teste de emissões radiadas. **Figure 1.** Typical setup for radiated emission tests.

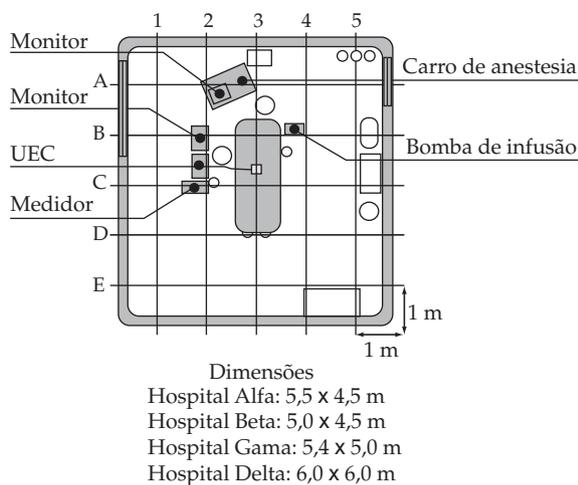


Figura 2. Exemplo da disposição típica dos EEM no interior de um ambiente avaliado. **Figure 2.** Example of EME typical allocation within an environment under test.

Características técnicas e processamento de dados

Medições de campo elétrico – As medições de campo elétrico realizadas nesta pesquisa avaliaram emissões na faixa de 100 kHz a 3 GHz. O campo elétrico resultante (E_{total}) em um determinado ponto de medição é obtido através do somatório quadrático das suas componentes: polarização horizontal (E_{pH}) e vertical (E_{pV}), conforme a equação:

$$E_{total} = \sqrt{(E_{pH})^2 + (E_{pV})^2} \quad (1)$$

O somatório definido por esta equação é realizado para cada frequência dentro do espectro de interesse – todos os campos em (1) são dados em V/m e já consideram as perdas do sistema (AF – fator de antena, Pc – perdas no cabo/atenuadores). O campo elétrico total é calculado para cada um dos pontos de medição avaliados no interior do ambiente. Ele representa o valor máximo de intensidade de campo obtido naquela região da sala.

Para representar a situação de pior caso estabelecida no ambiente é realizado um pós-processamento que busca, dentre todos os pontos de medição, a máxima intensidade de campo elétrico para cada frequência dentro da faixa avaliada (Figura 3).

Medições de campo magnético – As medições de campo magnético realizadas verificaram as emissões em baixa frequência, de 1 Hz a 400 kHz, onde o interesse maior está voltado à avaliação da exposição de seres vivos, conforme a diretriz ICNIRP. Para todos os pontos da grade foram tomadas as medidas de indução magnética máxima, em valores de pico, RMS e em valor percentual (para público geral e ocupacional – segundo o somatório de frequências definido na diretriz). A partir destes dados é possível traçar o mapeamento espacial das intensidades de campo e observar a sua distribuição no interior da sala avaliada (Figura 4).

Medições de ruído conduzido – As medições de ruído conduzido avaliaram as emissões na faixa de

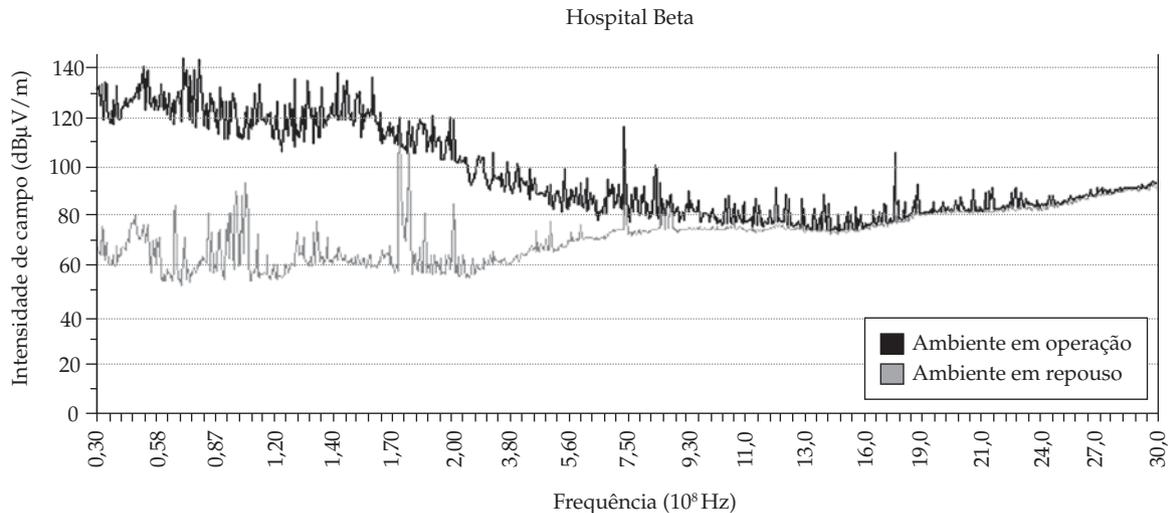


Figura 3. Exemplo do espectro de frequências para emissões radiadas (hospital Beta). **Figure 3.** Example of frequency spectrum for radiated emissions (Beta hospital).

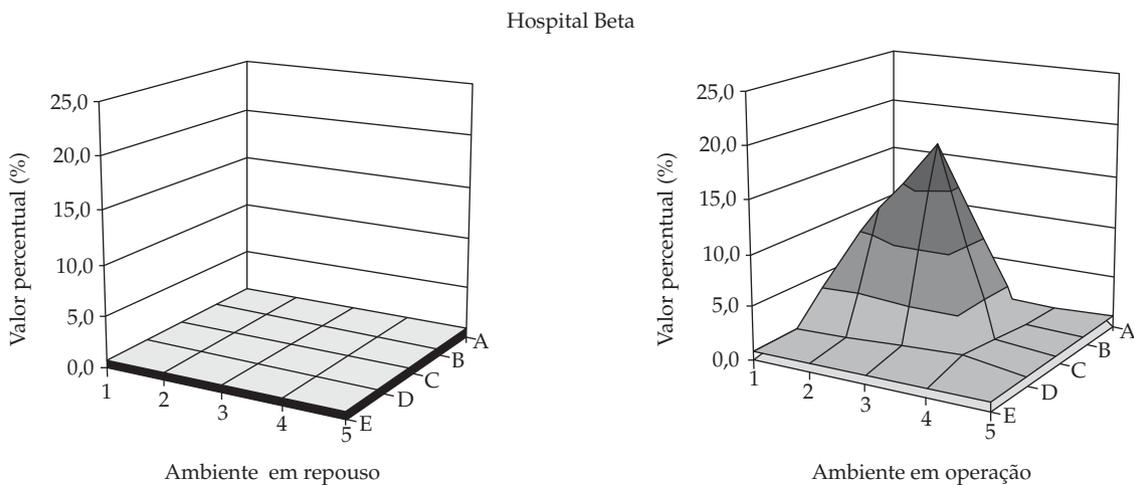


Figura 4. Exemplo do mapeamento de campo magnético (hospital Beta) relativo à ICNIRP 1998. **Figure 4.** Example of magnetic profile (Beta hospital) relative to ICNIRP 1998.

frequência que se estende de 100 kHz a 100 MHz. As medidas foram tomadas em modo comum junto ao cabo de alimentação de cada EEM, por meio de uma ponteira de corrente e o auxílio de uma rede de estabilização de impedância de $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$. A partir destas medidas é realizado um pós-processamento que busca o máximo ruído conduzido obtido para cada frequência dentro da faixa avaliada. Assim, fica definido o espectro de pior caso para o ruído conduzido estabelecido no EAS (Figura 5).

Resultados

O protocolo de medições desenvolvido tem sido aplicado para avaliar o ambiente eletromagnético em di-

versos hospitais nacionais de médio/grande porte. Os resultados mais significativos encontrados até agora são apresentados nesta seção com dados obtidos durante o ensaio de quatro EAS: Hospitais Alfa, Beta, Gama, e Delta.

A Figura 3 ilustra um espectro de campo elétrico na faixa RF (30 MHz a 3 GHz), tanto para o ambiente em repouso (EEM desligados) quanto para o ambiente em operação (EEM em simulação clínica). Estes resultados foram obtidos durante os ensaios realizados no Hospital Beta, cujos valores de campo foram os mais críticos encontrados nesta pesquisa.

A avaliação destes espectros permite a sistematização das medições de campo elétrico para cada EAS

sob investigação. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos quatro ambientes citados anteriormente, onde os valores mais significativos são identificados segundo a frequência de operação da sua fonte principal, incluindo o incremento médio de ruído durante a operação dos EEM e a faixa crítica observada para cada hospital (onde os sinais são superiores ao definido para imunidade dos EEM).

A Figura 4 ilustra um mapeamento espacial de indução magnética em baixa frequência (1 Hz a 400 kHz), tanto para o ambiente em repouso (EEM desligados) quanto para o ambiente em operação (EEM em simulação clínica).

É possível notar que o valor de campo magnético máximo ocorre sempre próximo à região de operação da caneta da UEC, isto é, próximo ao ponto C3 no caso da Figura 4. A Tabela 4 resume as avaliações de indução magnética para cada um dos hospitais apresentados neste trabalho.

A Figura 5 ilustra um espectro de ruído conduzido na faixa de 100 kHz a 100 MHz, obtido durante o funcionamento dos EEM. Este resultado foi observado durante o ensaio realizado no Hospital Gama, cujos valores de ruído foram os mais críticos encontrados.

A Tabela 5 resume os resultados de ruído conduzido para cada um dos quatro ambientes mencionados anteriormente.

Tabela 3. Resultados de campo elétrico. **Table 3.** Electric field results.

Medidas de campo elétrico (100 kHz a 3 GHz)						
EAS	Frequência (MHz)	Ambiente em repouso		Ambiente em operação		Identificação da fonte principal
		dB μ V/m	V/m	dB μ V/m	V/m	
Hospital Alfa	31,7	85,19	0,02	132,5	4,22	Ruído EEM
	204,0	133,43	4,69	134,82	5,51	TV-VHF
	100,9	134,48	5,30	136,03	6,33	Rádio FM
	537,3	118,32	0,82	118,32	0,82	TV-UHF
	852,7	107,16	0,23	124,13	1,61	Serviço de comunicação
	878,3	115,46	0,59	123,21	1,45	Celular (bandas A e B)
	1.731	127,5	2,37	127,5	2,37	Celular (banda C)
<i>Incremento médio de ruído (EEM ligados): 13,39 dB</i>				<i>Faixa de frequência crítica: 31,7 MHz a 273,3 MHz</i>		
Hospital Beta	71,4	62,11	0,00	143,54	15,03	Ruído EEM
	54,4	76,1	0,01	138,8	8,71	TV-VHF
	100,9	93,27	0,05	119,6	0,95	Rádio FM
	739,0	108,92	0,28	115,37	0,59	TV-UHF
	852,7	93,05	0,04	93,05	0,04	Serviço de comunicação
	885,07	87,14	0,02	88,83	0,03	Celular (bandas A e B)
	1.731	105,72	0,19	105,72	0,19	Celular (banda C)
<i>Incremento médio de ruído (EEM ligados): 24,62 dB</i>				<i>Faixa de frequência crítica: 30,6 MHz a 163 MHz</i>		
Hospital Gama	32,8	70,03	0,00	124,13	1,61	Ruído EEM
	96,1	126,75	2,18	126,75	2,18	Rádio FM
	204,0	122,28	1,30	132,45	4,19	TV-VHF
	603,3	107,03	0,22	111,25	0,37	TV-UHF
	955,3	105,09	0,18	105,09	0,18	Serviço de comunicação
	874,7	102,57	0,13	107,01	0,22	Celular (bandas A e B)
	1.810	108,15	0,26	108,44	0,26	Celular (banda C)
<i>Incremento médio de ruído (EEM ligados): 18,83 dB</i>				<i>Faixa de frequência crítica: 67,4 MHz a 204 MHz</i>		
Hospital Delta	75,2	63,85	0,00	93,57	0,05	Ruído EEM
	102,8	104,11	0,16	110,66	0,34	Rádio FM
	199,4	86,10	0,02	97,73	0,08	TV-VHF
	591,6	82,15	0,01	102,48	0,13	TV-UHF
	866,7	98,45	0,08	102,98	0,14	Celular (bandas A e B)
	1.883	85,36	0,02	85,36	0,02	Celular (banda C)
	2.146	68,29	0,00	92,46	0,04	Rede wireless (telemetria)

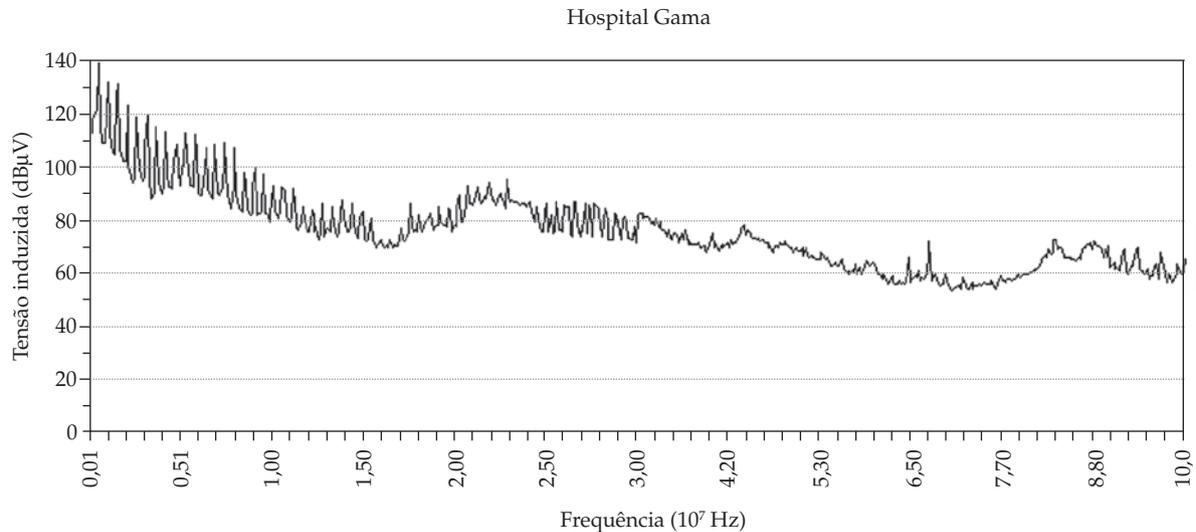


Figura 5. Exemplo do espectro de frequências para ruído conduzido (hospital Gama). **Figure 5.** Example of frequency spectrum for conducted noise (Gama hospital).

Tabela 4. Resultados de campo magnético. **Table 4.** Magnetic field results.

EAS	Medidas de indução magnética (1 Hz a 400 kHz)							
	Ambiente em repouso				Ambiente em operação			
	Valor de pico (μT)	Valor RMS (μT)	Público geral (%)	Ocupacional (%)	Valor de pico (μT)	Valor RMS (μT)	Público geral (%)	Ocupacional (%)
Hospital Alfa	0,848	0,456	0,995	0,405	1,880	0,970	17,090	6,872
Hospital Beta	0,996	0,512	0,946	0,432	1,834	0,992	19,090	5,897
Hospital Gama	1,505	0,701	1,205	0,449	1,925	1,019	6,179	2,002
Hospital Delta	1,338	0,706	1,191	0,449	3,941	1,880	12,330	7,043

Tabela 5. Resultados de ruído conduzido. **Table 5.** Conducted noise results.

EAS	Medidas de ruído conduzido (100 kHz a 100 MHz)				Identificação da fonte principal
	Frequência (MHz)	Ambiente em operação		dBµV	
		V			
Hospital Alfa	0,1	113,6	0,48		Ruído EEM (harmônico da UEC)
Hospital Beta	0,9	124,42	1,66		Ruído EEM (harmônico da UEC)
Hospital Gama	0,5	138,96	8,87		Ruído EEM (harmônico da UEC)
Hospital Delta	15,5	105,87	0,20		Ruído EEM (harmônico da serra ortopédica)

Discussão e Conclusão

Os resultados obtidos com a avaliação detalhada das características de EMC encontradas nos EAS sob análise atingem com sucesso o objetivo proposto pelo trabalho, de diagnosticar a situação estabelecida em ambientes clínicos com a aplicação do protocolo de medições apresentado. Assim, à luz desta pesquisa, começa a existir um maior discernimento quanto a real situação do ambiente eletromagnético encontrado em EAS nacionais.

As grandezas mensuradas neste trabalho (campo elétrico, campo magnético e ruído conduzido), por meio da análise espectral, subsidiam informações im-

portantes para o desenvolvimento de programas de gestão em EMC mais eficientes a serem implementados em cada hospital investigado. A partir de agora, a discussão técnica para formulação destes programas conta com um diagnóstico em EMC que estabelece um panorama específico das principais fontes de energia eletromagnética presentes no EAS, que devem ser controladas por configurarem um risco conhecido à segurança dos procedimentos clínicos. Um exemplo de estudo para controle das fontes de emissão radiada no Hospital Beta, empregando as medições aqui realizadas e técnicas de cálculo numérico, é apresentado em Valente *et al.* (2008).

Um ponto de destaque na abordagem utilizada reside no fato de que cada EAS avaliado apresenta um diagnóstico diferenciado, o que evidencia o poder de análise do protocolo desenvolvido. Até hoje foi possível observar quatro categorias distintas de diagnóstico em relação ao problema da EMI, e duas categorias relativas ao problema de RBL. A Tabela 6 define os tipos de diagnósticos que têm sido comumente identificados pelo presente método.

Os hospitais cujos resultados de ensaio foram apresentados neste trabalho são diagnosticados com base nesta classificação. O primeiro deles, o Hospital Alfa, é classificado como diagnóstico Tipo II-A, pois mostrou uma situação bastante delicada em relação a fontes eletromagnéticas externas, mesmo quando todos os EEM estavam em repouso. Tal característica vai ao encontro de conclusões alcançadas por outros trabalhos, que destacam a importante influência de fontes externas, como sinais de rádios FM, TV e de telefonia celular, no ambiente interno ao EAS (Arnofsky *et al.*, 1995; Boisvert *et al.*, 1991; Cabral e Mühlen, 2002; Davis *et al.*, 1997, 1998; Phaiboon e Somkuarnpanit, 2000; Vlach *et al.*, 1995; Young *et al.*, 1997).

O Hospital Beta é um exemplo de um diagnóstico Tipo III-A, pois foram observados problemas de emissões radiadas originadas pelo funcionamento dos próprios EEM (fontes eletromagnéticas internas). Mais uma vez, estes resultados referendam conclusões obtidas por outras pesquisas, e confirmam os EEM como potenciais fontes de EMI (Bandopadhyay e Varkey, 1995; David *et al.*, 2000; Nelson e Ji, 1999; Paperman *et al.*, 1996). Cabe ressaltar que a maioria dos EEM presentes nesta avaliação eram tecnologias mais antigas, que provavelmente não foram projetadas sob os atuais critérios de EMC, e podem justificar o considerável incremento de ruído emitido de forma radiada ao ambiente. Assim, é recomendada uma maior investigação sobre os equipamentos que contribuem com as emissões radiadas na faixa crítica estabelecida, visando sua adequação ou renovação.

O Hospital Gama é classificado como diagnóstico Tipo IV-A, pois apresentou problemas de emissões

conduzidas, em uma situação que é bastante peculiar de emissões provenientes da UEC e seus ruídos harmônicos. Embora este modelo de UEC ainda esteja em utilização no hospital, trata-se de um equipamento antigo que, segundo o seu fabricante, foi descontinuado. Este aspecto pode justificar o nível excessivo de ruído conduzido, uma vez que o seu projeto provavelmente não considerou as atuais recomendações de EMC.

Por fim, o Hospital Delta é classificado como diagnóstico tipo I-A, pois apresentou um ambiente compatível ao funcionamento adequado dos EEM. Destaca-se que o parque tecnológico deste EAS é referência nacional, com equipamentos de última geração que foram projetados conforme as técnicas modernas de EMC de modo a garantir a sua conformidade com relação às normas técnicas vigentes.

A investigação do ambiente eletromagnético nestes hospitais apresenta evidências importantes sobre o panorama geral dos ambientes estabelecidos em EAS nacionais. Mesmo que ainda seja ponderada uma maior demanda de investigações, para fundamentar definitivamente as conclusões aqui retratadas, algumas características em comum aos ambientes avaliados merecem destaque, tanto com relação à interferência eletromagnética, quanto para questões referentes aos riscos biológicos.

Considerações quanto à interferência eletromagnética

A partir dos resultados obtidos pela caracterização eletromagnética dos ambientes avaliados, pode-se afirmar que há um risco comprovado para existência de fenômenos de EMI em diversos equipamentos médicos. Além disso, fica claro que este risco se apresenta de maneira diferenciada para cada EAS, pois ele é dependente de aspectos específicos da sua configuração, localização e de seu parque tecnológico. Apenas com a avaliação global das tecnologias envolvidas no contexto de cada EAS pode-se garantir a segurança e a funcionalidade dos EEM em operação. Logo, a dis-

Tabela 6. Classificação de diagnósticos. **Table 6.** Diagnostics classification.

Classificação de diagnóstico para EAS		
Avaliação	Diagnóstico	Característica
EMI	Tipo I	Não apresenta evidências para problemas de EMI
	Tipo II	Apresenta evidências para EMI radiada provocada por fontes externas
	Tipo III	Apresenta evidências para EMI radiada provocada por fontes internas
	Tipo IV	Apresenta evidências para EMI conduzida provocada por fontes internas
RBL	Tipo A	Não apresenta evidências para RBL
	Tipo B	Apresenta evidências para RBL

seminação deste tipo de investigação deve ser incentivada em hospitais de todo país.

A análise desenvolvida neste trabalho parte do princípio de que todos os EEM presentes nos EAS estejam em conformidade com os requisitos de imunidade estabelecidos pela norma colateral de EMC vigente no Brasil (NBR IEC 60601-1-2). Para equipamentos que não atendam estes requisitos (como os equipamentos pertencentes a uma geração tecnológica mais antiga) a EMI pode ocorrer mesmo para níveis inferiores aos 3 V/m (radiada) e 3 V (conduzida) utilizados por este trabalho como parâmetro de imunidade.

Outro ponto de destaque, segundo os resultados obtidos, é a tendência decrescente para o perfil de contribuição dos ruídos espúrios originados pelos EEM em função da frequência de suas emissões (ilustrado pela Figura 3). Em todos os hospitais avaliados foi possível observar que a manifestação dos ruídos RF radiados em frequências mais baixas (cerca de 30 MHz) é notavelmente mais intensa do que a sua manifestação em frequências mais altas (próximas a 3 GHz). O fator preocupante em relação a esta conclusão reside no indício de que a faixa crítica para imunidade de EEM pode estar abaixo da frequência de 80 MHz (onde o limite de imunidade radiada de 3 V/m tem sido sistematicamente excedido em diversos EAS). Levando-se em conta que a segunda edição da norma IEC 60601-1-2 suprimiu o limite de imunidade para frequências de 26 MHz a 80 MHz (IEC, 2004), observa-se que esta faixa de frequências fica em descoberto em relação à primeira edição da norma (ABNT, 1997). Este aspecto pode estabelecer um problema crítico, pois caracteriza uma lacuna normativa justamente na faixa de frequências onde os EAS mais carecem, abrindo margem para o aparecimento de EMI em uma circunstância crucial. Isto define uma questão técnica importante que merece destaque, pois subsidia uma rediscussão quanto à adequação das normas internacionais de EMC frente à realidade do parque tecnológico encontrado em EAS nacionais e das necessidades do panorama brasileiro.

Por fim, também baseado no perfil de contribuição decrescente de emissões radiadas em função da frequência, é possível observar que a influência dos EEM na faixa de operação reservada para telefonia celular tem se mostrado baixa ou pouco correlacionada. Logo, existe um indicativo de que a composição das emissões eletromagnéticas presentes nestas frequências é proporcionada essencialmente pelo sistema de telefonia em si. Uma política de gestão para a definição de zonas de “restrição ao uso” baseada na influ-

ência das estações rádio-base (ERB) presentes nos arredores do EAS e no número de aparelhos circulantes no ambiente pode ser suficiente para evitar problemas de EMI nesta faixa de frequências.

Considerações quanto aos riscos biológicos

Segundo a análise realizada por esta pesquisa, baseada nas prescrições da diretriz ICNIRP 1998, não existe evidência para o aparecimento de riscos biológicos em profissionais e pacientes presentes no ambiente dos centros cirúrgicos avaliados. Os resultados apresentados seguem a linha de conclusões obtidas por outros trabalhos, que avaliaram estes fenômenos em ambientes tipicamente urbanos (Wollinger, 2003).

Os resultados obtidos durante a medição de campo magnético na faixa de 1 Hz a 400 kHz, apresentam valores em conformidade com o limite estabelecido pela ICNIRP. Já na faixa crítica de 10 a 400 MHz, os valores de campo elétrico apresentados também estão bem abaixo dos limites preconizados para exposição de seres vivos. A verificação de campos elétricos nestas frequências possui um importante papel na avaliação da exposição de seres vivos, principalmente em razão da existência de sinais de alta intensidade de campo, como rádios FM, TV e alguns sistemas de comunicação. Além disso, a regulamentação de níveis de campo eletromagnético neste intervalo de frequências é a mais rigorosa, pois é justamente onde existe a maior absorção de energia pelo ser humano (os comprimentos de onda se aproximam às dimensões do corpo).

Por fim, cabe destacar que embora as evidências para o estabelecimento de risco biológico nestes ambientes tenham se mostrado fracas, este tipo de avaliação possui um importante papel no sentido de proporcionar um embasamento científico para o assunto. Assim, iniciativas dessa natureza devem ser incentivadas, para avaliar rigorosamente a real situação estabelecida e diminuir os apelos especulativos que cercam esta polêmica.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR IEC 60601-1-2**: equipamento eletromédico – Norma colateral: compatibilidade eletromagnética – prescrições e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 10 p.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI. **ANSI C63.2-1996**: American national standard for electromagnetic noise and field strength instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – specifications. New York: ANSI, 1996. 25 p.

- _____. **ANSI C63.4-2003**: American national standard for methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 kHz to 40 GHz. New York: ANSI, 2004. 135 p.
- ARNOFSKY, S.; DOSHI, P.; FOSTER, K. R.; HANOVER, D.; MERCADO, R.; SCHLECK, D.; SOLTYS, M. Radio-frequency field surveys in hospitals. In: IEEE Annual Northeast Bioengineering Conference, 21., Bar Harbor. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1995. p. 129-131.
- BANDOPADHYAY, S.; VARKEY, J. K. EMI susceptibility characteristics of electromedical equipment in a typical hospital electromagnetic environment with particular reference to electrocardiography. In: International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, Madras. **Proceedings...** Madras: Society of EMC Engineers (India), Madras Chapter, 1995. p. 266-272.
- BOISVERT, P.; SEGAL, B.; PAVLASEK, T.; RETFALVI, S.; SEBE, A.; CARON, P. Preliminary survey of the electromagnetic interference environment in metropolitan hospitals. In: IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Cherry Hill. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1991. p. 214-219.
- CABRAL, S. C.; MÜHLEN, S. S. Interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos ocasionada por telefonia celular. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 18, n. 3, p. 141-149, 2002.
- DAVID, Y.; BUKHARI, A. R. S.; PAPERMAN, W. D. Management of electromagnetic interference at a hospital environment. **Journal of Clinical Engineering**, v. 25, n. 2, p. 95-103, 2000.
- DAVIS, D.; SKULIC, B.; SEGAL, B.; VLACH, P.; PAVLASEK, T. Hospital emergency room electromagnetic environment. In: International Conference IEEE/EMBS, 19., Chicago. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1997. v. 6, p. 2543-2546.
- DAVIS, D. SKULIC, B.; SEGAL, B.; VLACH, P.; PAVLASEK, T. Variation of emergency-room electromagnetic-interference potential. In: IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Atlanta. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1998. v. 4, p. 1996-1999.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION - ACNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). **Health Physics**, v. 74, n. 4, p. 494-522, 1998.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 60601-1-2**: medical electrical equipment: general requirements for safety – collateral standard: electromagnetic compatibility – requirements and tests. Geneva: IEC, 2004. 219 p.
- _____. **IEC/CISPR 11**: industrial, scientific and medical (ism) radio-frequency equipment: electromagnetic disturbance characteristics – limits and methods of measurement. Geneva: IEC, 2004. 85 p.
- _____. **IEC/CISPR 16-1**: specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods: radio disturbance and immunity measuring apparatus. Geneva: IEC, 1993. 73 p.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE. **IEEE Std 139-1988**: recommended practice for the measurement of radio frequency emission from industrial, scientific, and medical (ism) equipment installed on user's premises. New York: IEEE, 1993. 17 p.
- _____. **IEEE Std C95.3-1991**: recommended practice for the measurement of potential hazardous electromagnetic fields – RF and microwave. New York: IEEE, 1992. 87 p.
- NELSON, R. M.; JI, H. Electric and magnetic fields created by electrosurgical units. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, v. 41, n. 1, p. 55-64, 1999.
- NELSON, R. M.; JI, H. Electric field strengths created by electrosurgical units. In: IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Chicago. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1994. p. 366-370.
- PAPERMAN, D.; DAVID, Y.; MARTINEZ, M. Testing for EMC (electromagnetic compatibility) in the clinical environment. **Journal of Clinical Engineering**, v. 21, n. 3, p. 207-211, 1996.
- PAPERMAN, W. D.; DAVID, Y. Management of EMI in the hospital environment. In: Joint EMBS/BMES Conference, Houston. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2002. v. 3, p. 1946.
- PHAIBOON, S.; SOMKUARNPANIT, S. Modeling and analysis the effect of radio-frequency fields in hospitals to the medical equipment. In: IEEE TENCON 2000, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2000. v. 1, p. 92-95.
- VALENTE JR., W.; FERREIRA, K. M.; RAIZER, A.; GARCIA, R. Estudo de metodologia para o levantamento dos ambientes eletromagnéticos em estabelecimentos assistenciais de saúde. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 18., São José dos Campos. **Anais...** Rio de Janeiro: SBEB, 2002. 209 p.
- VALENTE JR., W. **Avaliação do ambiente eletromagnético em estabelecimentos assistenciais de saúde**. 2006. 206 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2006.
- VALENTE JR., W.; DALLA'ROSA, A.; RAIZER, A.; PICHON, L. The use of TLM and Kriging methods for electromagnetic compatibility management in health care facilities. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 44, n. 6, p. 1478-1481, 2008.
- VLACH, P.; SEGAL, B.; PAVLASEK, T. The measured & predicted electromagnetic environment at urban hospitals. In: IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Atlanta. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1995. p. 4-7.
- WOLLINGER, P. R. **Estudo dos níveis de radiação eletromagnética em ambiente urbano**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2003.
- YOUNG, C.; AHMED SAOUDY, S.; BUDWILL, S. EMI levels at a "Patient Care Location" in a hospital. In: IEEE Canadian Conference on Electrical And Computer Engineering, St. Johns. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1997. v. 2, p. 625-628.

