

Interferência Eletromagnética (EMI) em Equipamentos Eletromédicos (EEMs) Proveniente da Telefonia Celular

Danilo César de Azevedo Dantas

Proposta de Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - Campus II como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Telecomunicações

Marcelo Sampaio de Alencar, Dr.
Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil
©Danilo César de Azevedo Dantas, Dezembro de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D192i Dantas, Danilo César de Azevedo
2005 Interferência eletromagnética da telefonia celular em equipamentos eletromédicos/ Danilo César de Azevedo Dantas. — Campina Grande, 2005. 55f. il.

Inclui bibliografia.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar.

1— Equipamento Médico – Interferência – Aparelho Celular 2— Telefone Celular – Interferência – Equipamento Eletromédico I— Título

CDU 615.47:621.395.721.5



**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA DA TELEFONIA CELULAR EM
EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

DANILO CESAR DE AZEVEDO DANTAS

Dissertação Aprovada em 30.12.2005



MARCELO SAMPAIO DE ALENCAR, Ph.D., UFCG
Orientador



BENEDITO GUIMARÃES AGUIAR NETO, Dr.-Ing., UFCG
Componente da Banca



JOSÉ EWERTON POMBO DE FARIAS, Dr., UFCG
Componente da Banca



JACICARLOS DE LIMA ALENCAR, Dr., UFCG
Componente da Banca



ROSALINA JENNER ROSAS, Mestre, UFCG
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE – PB
Dezembro - 2005

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Amauri e Maria José, que sempre me aconselharam, mostrando-me que o melhor caminho é aquele que se segue com honestidade e para que os objetivos sejam alcançados basta ter força de vontade e acreditar em Deus para guiar sempre que necessitar. Dedico ainda à minha Noiva, Heloísa, e às minhas irmãs, Débora, Diana e Daniela, pelo incentivo nos momentos que sempre precisei.

Agradecimentos

- A Deus, por sempre ter me presenteado com as coisas que almejei na minha vida;
- Aos meus pais, Amauri e Zezé, pelo apoio e ensinamentos durante toda a minha vida;
- À minha noiva, Heloísa, pelo carinho, compreensão e apoio sempre que precisei;
- Às minhas irmãs, Débora, Diana e Daniela, pelo carinho e apoio;
- Ao professor Marcelo Sampaio de Alencar, pelos ensinamentos, confiança e oportunidade que me foi dada;
- Ao meu amigo Fabricio pela amizade e incentivo nos momentos em que precisei;
- Ao meu amigo Filipe pela ajuda na elaboração deste trabalho;
- Ao Dr. João Carlos, Sr. Adilson e toda a equipe do Hospital Antônio Targino que sempre foram muito receptivos e apoiaram na íntegra todo o projeto;
- Às pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para concretização deste objetivo;
- Ao professor Joabson, pelo apoio dado com o empréstimo do medidor de campo de propriedade do CEFET-PB, que foi fundamental para realização deste trabalho;
- Ao CNPQ que financiou a parte inicial deste trabalho.
- À TIM - Nordeste celular que cedeu o rádio transmissor utilizado nos experimentos.

Resumo

A interferência eletromagnética (EMI) é a ocorrência de alterações funcionais em equipamentos eletrônicos quando estes são imersos em campos eletromagnéticos. Neste trabalho foram estudadas possíveis alterações no funcionamento de equipamentos eletromédicos (EEMs) quando submetidos a campos eletromagnéticos na faixa de frequência 850MHz, bem como verificar os níveis de radiação eletromagnética emitida pelos próprios equipamentos médicos. Além disso foi feito um levantamento da intensidade dos campos eletromagnéticos no ambiente hospitalar quando da ausência de telefones celulares e equipamentos médicos. Para isso foram utilizados EEMs disponibilizados na UTI do Hospital Antônio Targino pelos diretores desse hospital e equipamentos geradores de radiação eletromagnética, a saber: dois telefones celulares do sistema AMPS, sendo um analógico e um digital, operando em potência máxima, 600mW, ajustado para o canal de teste na frequência de 835MHz; e um rádio transmissor analógico utilizado em estações radiobase do sistema AMPS operando na faixa de 850MHz. Com os resultados encontrados, as pesquisas anteriormente realizadas que comprovam a existência de alterações funcionais nos equipamentos médicos quando estão submetidos à radiação eletromagnética emitida pelo celulares são ratificadas. Além disso, é mostrado ainda que não só os telefones celulares são geradores de radiação eletromagnética. Determinados EEMs podem gerar campos eletromagnéticos tão intensos quanto os criados pelos telefones celulares.

Abstract

The electromagnetic interference (EMI) is the occurrence of functional alterations in electronic equipment when these are immersed in electromagnetic fields. In this work possible alterations in the electrical medical equipment (EEMs) functioning had been studied when submitted to electromagnetic fields in the frequency band 850MHz, as well as verifying the levels of electromagnetic radiation emitted by the proper medical equipment. Moreover a survey of the intensity of the hospital environment electromagnetic fields in the absence of cellular telephones and medical equipment was made. For this they had been used EEMs disponibilizados in the UTI of the Antonio Targino Hospital for the directors of this hospital and generating equipment of electromagnetic radiation, to know: two cellular telephones of system AMPS, being analogical and a digital one, operating in maximum power, 600mW, adjusted for the canal of test in the frequency of 835MHz; and an analogical transmitter used in radio base stations of system AMPS operating in the band of 850MHz. With the found results, the research previously carried through that they prove the existence of functional alterations in the medical equipment when they are submitted to the electromagnetic radiation emitted by the cellular ones is ratified. Moreover, it is shown still that the cellular telephones are not only generating of electromagnetic radiation. Some EEMs can generate so intense electromagnetic fields how many the servant for the cellular telephones.

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Objetivos	3
3	A telefonia celular	4
4	O ambiente hospitalar	6
4.1	Os aparelhos eletromédicos	8
4.1.1	Monitor Cardíaco	8
4.1.2	Oxímetro	11
4.1.3	Bomba de infusão	13
4.1.4	Respiradores	16
4.1.5	Marcapasso	18
5	Estudos relacionados a EMI em equipamentos médicos	21
6	Metodologia de trabalho	25
6.1	Local de realização dos testes	25
6.2	Equipamentos	25
6.2.1	Equipamentos utilizados como fonte de radiação	27
6.2.2	Equipamentos médicos utilizados nos testes	30
6.2.3	Equipamento utilizado nas medições	33
6.3	Experimentos	33
6.3.1	Medição do campo elétrico nos interiores das salas da UTI sem a presença dos telefones celulares e dos EEMs	34
6.3.2	Medição dos campos eletromagnéticos emitidos pelos EEMs	35
6.3.3	Verificação dos efeitos causados no funcionamento dos EEMs pela radiação eletromagnética emitida pelos celulares	36
6.4	Normatização para os testes	39

6.5	Cronograma	41
7	Resultados e discussões	42
7.1	Medição do campo elétrico nos interiores das salas da UTI sem a presença dos telefones celulares e dos EEMs	42
7.2	Medição dos campos eletromagnéticos emitidos pelos EEMs	43
7.3	Verificação dos efeitos causados no funcionamento dos EEMs pela radiação eletromagnética emitida pelos celulares	44
7.3.1	Monitores cardíacos	44
7.3.2	Bombas de Infusão	45
7.3.3	Oxímetro	45
7.3.4	Respiradores	46
7.3.5	Marcapasso	46
8	Conclusões	49
9	Propostas para trabalhos futuros	52
	Bibliografia	53

Lista de Símbolos e Abreviaturas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AMPS – Advanced Mobile Phone System

CCC – Central de Comutação e Controle

CEM – Compatibilidade Eletromagnética

ECG – Eletrocardiograma

EM – Eletromagnético

EMI – Electromagnetic Interference

EEM – Equipamento Eletromédico

ERB – Estação Radiobase

GSM – Global System for Mobile Communications

IEC – International Electrotechnical Commission

NTT – Nippon Telephone & Telegraph

UTI – Unidade de Tratamento Intensivo

PHS – Personal Handyphone System

TRC – Tubo de Raios Catódicos

Lista de Tabelas

3.1	Relação de aparelhos de rádio frequência com sua faixa de trabalho, potência máxima de emissão e tipo de modulação utilizada.	5
6.1	Intensidade do campo elétrico para diversas distâncias da fonte de emissão. . . .	29
6.2	Relação dos aparelhos médicos testados.	33
6.3	Densidade de potência e campo elétrico para diversas distâncias da antena do transmissor.	38
6.4	Cronograma	41
7.1	Campo elétrico medido no interior da Sala 2 sem a presença de telefones celulares e EEMs	43
7.2	Campo elétrico máximo medido próximo a cada um tipo de equipamento médico.	43
7.3	Vazões de infusão de alguma bombas de infusão quando imersas ou não no campo eletromagnético criado pelos celulares.	45
7.4	Frequências respiratórios de alguns aparelhos quando estão imersos ou não no campo eletromagnético emitido pelo telefones celulares	46

Lista de Figuras

4.1	Monitor cardíaco padrão utilizado em várias UTIs.	9
4.2	Configurações para fixação dos eletrodos na caixa torácica do paciente.	10
4.3	Diagrama esquemático de um tubo de raios catódicos utilizado em monitores cardíacos comuns.	10
4.4	Oxímetro padrão indicador da pulsação sanguínea e da concentração de oxigênio no sangue.	11
4.5	Bomba de infusão de uso geral.	14
4.6	Respirador Newport.	16
4.7	Ilustração dos componentes de um marcapasso.	19
5.1	Porcentagem de equipamentos afetados para cada tipo de transmissor	23
6.1	Sala utilizada na UTI no Hospital Antônio Targino	26
6.2	Sala utilizada na UTI no Hospital Antônio Targino	26
6.3	Telefones celulares usados nos experimentos.	27
6.4	Comportamento dos campos elétricos próximos aos telefones celulares	30
6.5	Representação tridimensional da intensidade do campo elétrico em função da distância para o telefone celular.	31
6.6	Rádio transmissor analógico (850 MHz)	31
6.7	Interface do software Local control.	32
6.8	Diagrama de irradiação da antena utilizada pelo rádio transmissor	32
6.9	Medidor de campo EMR-300 da Wandel & Goltermann	34
6.10	Ilustração dos pontos onde foram realizadas as medições de campo.	35
6.11	Osciloscópio Tektronix digital.	39
7.1	Medição realizada com o osciloscópio digital com a base de tempo ajustada em 1s/div e a escala de tensão em 1Volt/div.	47
7.2	Visualização do pulso emitido pelo marcapasso de forma ampliada com a base de tempo do osciloscópio igual 250ms.	48

Capítulo 1

Introdução

A interferência eletromagnética (EMI) é a ocorrência de alterações funcionais em um determinado equipamento quando estes são imersos em campos eletromagnéticos. Com o aumento crescente na venda dos celulares em todo mundo, é cada vez maior a presença destes aparelhos nos ambientes hospitalares, seja por profissionais da área, técnicos de manutenção, pacientes ou visitantes. Isto tem gerado um certo receio entre a comunidade científica e profissionais da área sobre as possíveis alterações funcionais nos equipamentos eletromédicos causadas por tal radiação.

Os equipamentos eletromédicos (EEMs) quando imersos em um campo eletromagnético, a depender da intensidade de campo e da faixa de frequência da radiação, podem vir a sofrer alterações funcionais (CABRAL; MÜHLEN, 2002). Por tratar-se de equipamentos essenciais ao suporte à vida de enfermos internados nos hospitais, é cada vez mais urgente a necessidade de identificar-se essas alterações no seu funcionamento, bem como quantificá-las para se ter noção do quanto prejudicial elas são.

Dentre as evoluções tecnológicas desenvolvidas pelos fabricantes de EEMs podem-se destacar: o aperfeiçoamento nas formas de apresentação dos resultados, tornando mais fácil a leitura por parte dos profissionais da área; o maior controle sobre o estado de saúde dos pacientes, alertando sobre possíveis complicações clínicas; portabilidade, com o desenvolvimento de peças e componentes cada vez menores; o menor consumo de energia elétrica no seu funcionamento; e principalmente a capacidade de interoperabilidade com outros equipamentos. Em detrimento aos benefícios trazidos pelas novas tecnologias, determinadas partes dos microcomponentes utilizados nos EEMs funcionam como microantenas, emitindo e recebendo radiação eletromagnética, impossibilitando muitas vezes o uso em conjunto com outros aparelhos, como por exemplo os celulares.

Atualmente, existe ainda outro complicador no controle das emissões de radiação eletro-

magnética em ambientes hospitalares. Trata-se das redes sem fio, que vêm sendo vastamente utilizadas nos hospitais com o intuito de facilitar a comunicação nas mais diversas formas. Essas redes podem abranger uma região de até algumas centenas de metros (AKAMINE; CAL, 1994), e permitem acesso à rede convencional e à internet com taxas de transmissão razoáveis.

Há um consenso a respeito da problemática. Pesquisadores e fabricantes trabalham incessantemente para desenvolver novos produtos e tecnologias sem comprometer a susceptibilidade às radiações eletromagnéticas dos equipamentos, atendendo a exigências mínimas estabelecidas pelos órgãos regulatórios.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pretende-se propor medidas para aumentar a segurança no uso e fabricação dos EEMs auxiliando órgãos como ANVISA, ANATEL e INMETRO a estabelecerem normas regulamentares referentes ao assunto, bem como criar um programa educativo e preventivo para o gerenciamento das EMIs no ambiente hospitalar.

Capítulo 2

Objetivos

Este trabalho tem por objetivos:

- Avaliar possíveis alterações no funcionamento de equipamentos médicos, portáteis ou não, quando imersos em um campo eletromagnético na faixa de 850 MHz;
- Realizar um estudo sobre a distribuição do campo eletromagnético no local de estudo com a ausência de aparelhos celulares;
- Verificar se os próprios equipamentos médicos são geradores de radiação eletromagnética, podendo a vir interferir em outros equipamentos que estejam a sua volta.

Capítulo 3

A telefonia celular

O primeiro país no mundo a implantar a tecnologia da telefonia móvel celular foi o Japão. Em 1978 a NTT (Nippon Telephone & Telegraph) colocou em operação um sistema de telefonia bem parecido com AMPS padrão americano, modelo idealizado pela AT&T na década de 1970 e posto em prática apenas no ano de 1983, quando foram comercializados os primeiros telefones celulares nos EUA.

Historicamente, esses aparelhos são conhecidos como os de primeira geração, e dentre suas principais peculiaridades está o fato de serem construídos a partir da tecnologia analógica desenvolvida na época, usarem modulação em frequência para voz e modulação digital FSK para sinalização. Os diversos sistemas criados diferenciavam-se basicamente quanto à banda de frequência utilizada e o número de canais alocados.

Um sistema celular típico é composto dos seguintes elementos: unidade móvel, estação radiobase (ERB) e central de comutação e controle (CCC).

Nesses primeiros sistemas, projetava-se a área de cobertura de modo que fosse a mais ampla possível, podendo chegar até 10 km, implicando em altos níveis de potência eletromagnética emitida pelos transmissores, tanto das ERBs quanto dos aparelhos móveis.

A potência emitida por uma unidade móvel do sistema de primeira geração varia entre 600 mW, para o padrão AMPS, e 1 W para o sistema europeu. As estações móveis instaladas em automóveis chegam a irradiar uma potência eletromagnética equivalente a 3 W.

Com o passar dos anos, a demanda de aparelhos celulares cresceu enormemente. Isso gerou uma saturação do sistema, pois a sua capacidade de tráfego não acompanhou o crescimento do número de celulares vendidos. Além da limitação da largura de faixa reservada às comunicações móveis celulares, a própria ideologia do sistema AMPS impossibilitava a expansão do sistema celular.

Baseado neste fato, os estudiosos e companhias telefônicas investiram nos sistemas celulares

digitais, a partir de que surgiram os seguintes padrões: GSM, TDMA e CDMA. Dentre algumas vantagens desses sistemas, podem ser citadas: maior eficiência espectral, melhor qualidade de voz, facilidade para comunicação de dados, maior imunidade às interferências, criptografia da informação e maior sensibilidade dos receptores.

Uma característica marcante dos sistemas celulares digitais é que, em geral, as dimensões das células são bem menores que as do padrão analógico, permitindo a diminuição da potência emitida pelas ERBs em áreas metropolitanas com grande concentração de pessoas.

Em média, quando comparados aos sistemas analógicos, os sistemas digitais aumentam a capacidade de tráfego telefônico em pelo menos 3 vezes (CASTRO, 2003).

No caso do sistema TDMA, a potência média efetiva irradiada (EIRP) pela ERB não deve exceder 8 dBW, que equivale a 6,3 W. Já para as estações móveis, a depender de sua classe, pode emitir de -2 dBW (631 mW) até +6 dBW (3,98 W). Nesse sistema, assim como também nos outros padrões digitais, a potência emitida pela estação móvel é controlada em função de sua distância à ERB na qual está alocada, aumentando desta forma o tempo de uso entre recargas da bateria desses aparelhos (ALENCAR, 2004).

A potência eletromagnética emitida pelas estações móveis do sistema GSM varia de acordo com a sua finalidade. Os terminais portáteis emitem até 1 W, no entanto, a potência média transmitida é menor que isso, graças ao controle de potência realizado pela ERB.

Na Tabela 3.1 são expostos alguns dados técnicos de sistemas de telefonia sem fio mais comuns, relacionando suas bandas de frequências de operação, potência máxima de saída dos seus transmissores e tipo de modulação utilizadas (TARUSAWA Y.; NOJIMA, 2001). Com a análise desses dados, é possível verificar que os telefones celulares emitem energia eletromagnética em maior quantidade quando comparada aos terminais PHS, por isso as chances de que os equipamentos médicos venham a ter seu funcionamento influenciado pelo campo eletromagnético são bem maiores quando estiverem operando próximo aos telefones celulares.

Tipo de Telefone Móvel	Banda de Frequências	Máxima Potência de Saída	Modulação
Celular Analógico	800MHz	600mW	$\pi/4$ QPSK
Celular Digital	800MHz e 1,8GHz	600mW	FM
Terminal PHS	1,9GHz	80mW	$\pi/4$ QPSK

Tabela 3.1: Relação de aparelhos de rádio frequência com sua faixa de trabalho, potência máxima de emissão e tipo de modulação utilizada.

Capítulo 4

O ambiente hospitalar

Neste trabalho, a UTI do hospital foi escolhida como local para realização dos experimentos pelos seguintes motivos:

- É a área com o maior número de equipamentos eletromédicos reunidos em um mesmo espaço;
- Nas horas de visitas aos pacientes há uma concentração excessiva de pessoas no recinto, sendo estas potenciais usuárias do serviço móvel celular, aumentando assim a probabilidade de que existam fontes de radiação eletromagnética em maior número;
- Pelo fato de tratar-se de uma unidade de terapia intensiva, os pacientes nela alojados estão geralmente em estado de saúde grave, obrigando o uso dos aparelhos eletromédicos;
- Os variados tipos de aparelhos eletromédicos ligados muito próximos uns dos outros, associado à presença da radiação eletromagnética em níveis elevados, podem aumentar as chances de falha nestes equipamentos de suporte à vida.

Os serviços de Terapia Intensiva são áreas hospitalares destinadas a pacientes em estado crítico, que necessitam de cuidados altamente complexos e controles específicos. O tratamento intensivo baseia-se no conceito de que, mesmo que a variedade de doenças seja grande, o mecanismo de morte está sempre limitado a um número relativamente pequeno de fenômenos fisiológicos, passíveis de serem influenciados (GOMES, 1988).

A UTI deve ser planejada de forma a proporcionar ao paciente e à equipe médica:

- Observação individual e do espaço ocupado pelo paciente;
- Espaço suficiente para mobilização do paciente e locomoção do pessoal;
- Tranqüilidade e ambiente agradável;

- Atendimento a pacientes de ambos os sexos, sem discriminação de grupos etários;
- Meios para intercomunicação;
- Fácil acesso;
- Boa iluminação;
- Privacidade, por meio da separação dos leitos com biombos;
- Rápido atendimento, facilitando a dinâmica dos serviços.

Pelo fato do paciente necessitar de um monitoramento contínuo, ficaria muito dispendioso se fosse reservada uma equipe médica para cada um deles. Por esse motivo, na UTI os leitos são alojados em um mesmo recinto, no qual todos os pacientes podem ser monitorados visualmente durante todo o tempo.

Dentre os equipamentos médicos essenciais ao funcionamento de uma UTI estão:

- Desfibrilador e cardioversor;
- Ventilômetro;
- Marcapasso cardíaco;
- Monitores cardíacos;
- Oxímetro;
- Respiradores ciclados a volume e a pressão;
- Ressuscitador manual;
- Aparelho para medida do débito cardíaco;
- Polígrafo.

Muitos foram os estudos realizados até hoje na área da distribuição de campo eletromagnético em ambientes hospitalares.

Em estudos realizados pela Universidade de Montreal, Canadá, verificou-se que cerca de 50% das chamadas telefônicas originadas no ambiente hospitalar duram até 8 segundos, e 95% delas duram no máximo 1 minuto. Por outro lado, o campo elétrico máximo medido foi equivalente a $85 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, para todas as faixas de frequências (VLACH P.; LIU-HINZ, 1995). As faixas de

freqüências tomadas por base no trabalho referenciado foram as seguintes: 148-174 MHz, 425-480 MHz e 825-850 MHz.

Don Davis e sua equipe de trabalho realizaram algumas medições da intensidade do campo elétrico gerado por fontes de radiação na faixa de 1,9GHz em corredores de diversos hospitais. Do trabalho, é possível afirmar que o campo eletromagnético na região central dos corredores é maior que nas laterais próximas às paredes e decai em menor intensidade se comparado ao espaço livre. Outro fato importante a ser ressaltado nesse trabalho, relaciona-se à independência entre a intensidade do campo elétrico próximo ao solo e a distância à fonte de radiação, permanecendo constante durante toda a extensão do corredor (DAVIS D.; SEGAL, 2001).

Com os resultados obtidos por Davis, observa-se que os aparelhos eletromédicos não devem ser colocados em funcionamento próximos ao chão, pois nesta área o campo eletromagnético é mais intenso e independe da distância à fonte de radiação.

Trabalho semelhante ao de Vlach e Liu foi também realizado por Phaiboon e Somkuarnpanit. Na ocasião, eles mediram a intensidade do campo eletromagnético no interior e exterior dos dois principais hospitais de Bangkok nas freqüências de 55 a 1918 MHz. A máxima intensidade de campo no interior do hospital foi de 83,12 dB μ V/m na faixa do PSH (1915 MHz) enquanto que no seu exterior a máxima foi de 103,47 dB μ V/m na faixa de TV (55 MHz), ambos no mesmo hospital (PHAIBOON S.; SOMKUARNPANIT, 2000).

Uma das propostas deste trabalho é fazer um levantamento dos níveis de intensidade de campo eletromagnético no interior da UTI quando nela não tiver nenhum aparelho celular, visando identificar possíveis radiações provenientes do ambiente externo, bem como identificar os possíveis aparelhos eletromédicos geradores de radiação.

4.1 Os aparelhos eletromédicos

Esta seção é dedicada aos equipamentos médicos propostos para avaliação das alterações funcionais causadas pelas interferências eletromagnéticas geradas por celulares.

4.1.1 Monitor Cardíaco

Os monitores cardíacos, são aparelhos destinados a visualizar e acompanhar continuamente a atividade cardíaca do paciente, por meio do traçado de ECG (eletrocardiograma) mostrado no tubo de raios catódicos do monitor, no qual também pode ser indicada a freqüência cardíaca (BARRETO, 1993). Na Figura 4.1 é mostrado um monitor cardíaco em pleno funcionamento.

A monitoração eletrocardiográfica tem como objetivo detectar, por intermédio de eletrodos fixados à pele, os sinais elétricos gerados pelo coração e mostrá-los sob a forma de eletro-



Figura 4.1: Monitor cardíaco padrão utilizado em várias UTIs.

cardiograma contínuo (PIVA J. P.; CARVALHO; GARCIA, 1997). Por meio da análise das ondas eletrocardiográficas podem-se detectar muitas alterações na frequência, no ritmo e na condução cardíaca.

Para a monitoração cardíaca, são necessários basicamente três eletrodos. Dois deles captam a atividade elétrica cardíaca enquanto o terceiro serve como aterramento, que retiram do circuito os outros sinais que não sejam única e exclusivamente os de interesse da atividade cardíaca. Para uma melhor captação dos sinais, os eletrodos são cobertos por uma película de gel condutor que ajuda na condução elétrica e garante a imobilidade dos eletrodos quando fixados.

Na Figura 4.2 são mostradas três configurações diferenciadas para posicionamento dos eletrodos na caixa torácica. Os eletrodos também podem ser fixados na face externa dos membros inferiores e superiores.

Configuração tipo A:

Positivo – lado esquerdo do tórax, abaixo da última costela palpável, linha média clavicular;

Negativo – ombro direito, abaixo da clavícula;

Aterramento – ombro esquerdo, abaixo da clavícula.

Configuração tipo B:

Positivo – quarto espaço intercostal, borda externa direita;

Negativo – ombro esquerdo, abaixo da clavícula;

Aterramento – ombro direito, abaixo da clavícula.

Configuração tipo C:

Positivo – lado esquerdo do tórax, abaixo da última costela; na linha axilar média;

Negativo – ombro esquerdo, abaixo da clavícula;

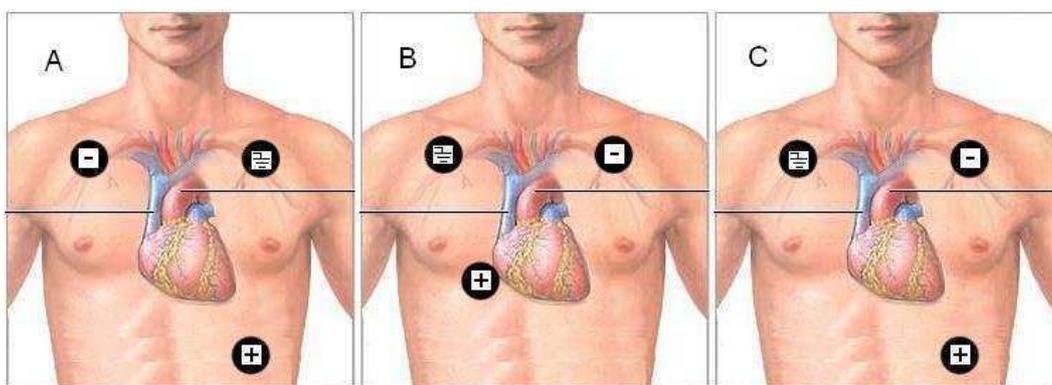


Figura 4.2: Configurações para fixação dos eletrodos na caixa torácica do paciente.

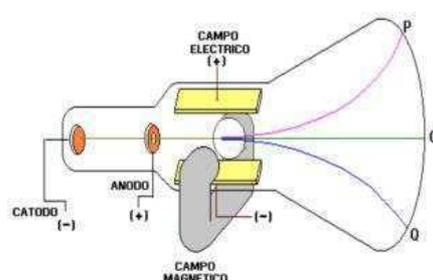


Figura 4.3: Diagrama esquemático de um tubo de raios catódicos utilizado em monitores cardíacos comuns.

Aterramento – ombro direito, abaixo da clavícula.

Os sinais elétricos da atividade cardíaca captados pelos eletrodos são levados até o monitor cardíaco por fios metálicos. Nos monitores mais comuns, a transdução de sinais elétricos para uma grandeza mensurável e interpretável pela junta de profissionais da área de saúde é realizada com tubos de raios catódicos (TRC).

Os TRCs são transdutores que convertem em movimentação de um feixe de elétrons sobre uma tela fluorescente e fosforescente os potenciais elétricos variáveis aplicados às suas placas defletoras, tornando-os visíveis em suas formas e mensuráveis em seus parâmetros de amplitude, período e fase (EPAMINONDAS, 1999).

Na Figura 4.3 é apresentado um modelo padrão de um TRC e o seu funcionamento é descrito da seguinte forma: entre o ânodo e o cátodo existe um filamento, denominado canhão eletrônico, que pelo fenômeno da termo emissão libera elétrons quando expostos a uma elevada diferença de potencial. Livres na câmara de emissão, os elétrons são atraídos pelos eletrodos com polarização crescentemente positiva e acelerados em direção à tela do monitor. Focalizados em um feixe eletrônico, os elétrons passam por uma região de deflexão onde suas direções são modificadas



Figura 4.4: Oxímetro padrão indicador da pulsação sanguínea e da concentração de oxigênio no sangue.

de acordo com o interesse do projetista do equipamento. Os elétrons em alta velocidade ao se chocarem com a tela, composta de camadas de sais, entre os quais o Sulfeto de Zinco, emitem luz, possibilitando a leitura desejada.

No caso específico do projeto dos monitores cardíacos, isso é feito de forma que o deslocamento horizontal do feixe de elétrons seja feito de forma que a varredura completa de um ciclo de tela dure em cerca de 10 segundos, enquanto que, o deslocamento vertical é determinado pela atividade cardíaca transmitida através dos eletrodos ligados ao tórax do paciente.

Por se tratar de um equipamento de alta sensibilidade a interferências externas, existe uma grande probabilidade de que ocorra um mau funcionamento nos monitores cardíacos quando expostos a campos eletromagnéticos, principalmente no que tange ao traçado da curva exibida na tela do monitor.

Outro problema muito freqüentemente encontrado no funcionamento desses equipamentos é originário de interferências elétricas geradas por outros equipamentos ou por má fixação dos eletrodos, principalmente o que serve como aterramento. Portanto, para que se isolem esses efeitos dos causados exclusivamente pela fonte eletromagnética, é preciso que se faça um bom aterramento dos equipamentos eletromédicos que se encontram próximos ao monitor cardíaco durante os testes, tendo o cuidado de fixar bem todos os eletrodos.

4.1.2 Oxímetro

O oxímetro, aparelho apresentado na Figura 4.4, pode ser definido como um aparelho que mede a pulsação sanguínea do paciente e indica a quantidade de oxigênio dissolvida no sangue (TONUCCI, 2001) (KAWAMOTO, 2001). Para isso, fornece medidas contínuas e não invasivas da saturação da hemoglobina pelo oxigênio no sangue arterial durante o seu transporte até os tecidos para sua utilização nos processos oxidativos intracelulares.

Na corrente sanguínea, as moléculas de oxigênio são encontradas de duas diferentes formas:

dissolvidas no plasma ou ligadas às hemácias. Considerando que a pressão sangüínea relativa média de uma pessoa normal seja de aproximadamente 100 mmHg, o oxigênio encontra-se dissolvido no sangue arterial na proporção de 0,3 ml de O_2 para cada 100 ml de sangue.

A presença de hemoglobina no sangue é o fator mais importante no transporte de oxigênio pelas hemácias. O oxigênio liga-se quimicamente à molécula de hemoglobina de maneira reversível o que aumenta a solubilidade efetiva do O_2 no sangue, quando comparada a outros tecidos. Um grama de hemoglobina pode-se combinar com 1,34 ml de O_2 . O sangue, em condições clínicas normais, tem cerca de 10 a 15 gramas de hemoglobina a cada 100 ml. Isto significa dizer que, a cada 100 ml de sangue, encontram-se de 13,4 a 20,1 ml de O_2 ligado à hemoglobina do sangue.

Dessa maneira, conclui-se que entre a quantidade de oxigênio dissolvida no plasma e a transportada pela hemoglobina, esta última forma constitui o conteúdo arterial de oxigênio cujo valor é de 13,7 a 20,4 ml de O_2 por 100 ml de sangue. Apesar de quantitativamente existir uma participação bastante diferente entre as duas maneiras de transporte do oxigênio, é a pressão relativa do sangue arterial que determina a quantidade de oxigênio que se liga à hemoglobina.

O oxímetro consiste de um sensor especial colocado na extremidade do dedo ou no lobo da orelha, composto de um par de LEDs (Light Emitting Diodes) de baixa tensão, e de um fotoreceptor interligados a uma central microprocessada que fornece as medições. Os diodos emissores de luz emitem a luz em ciclos intermitentes, alternando a luz vermelha (660 nm) e luz infravermelha (940 nm), seguido de um período de inatividade, nenhuma luz é emitida. A partir da leitura realizada pelo fotosensor, a unidade microprocessada calcula os níveis de saturação de oxigênio no sangue (SpO_2) e a pulsação sangüínea naquele momento.

A pulsação sangüínea é medida pelo uso da técnica pletismográfica (técnica utilizada para determinar o fluxo sangüíneo) enquanto a SpO_2 é dada em termos percentuais (%) e determinada usando o princípio da oximetria espectrofotométrica (análise da absorção luminosa pelo tecido sangüíneo) e por meio da absorção relativa de cada onda, podendo ser calculada a partir da Equação 4.1.2

$$[SpO_2] = 100 \cdot \frac{[HbO_2]}{[HbO_2] + [Hb]} \quad (4.1)$$

Em que,

$[SpO_2]$ é a saturação percentual de oxigênio pela hemoglobina;

$[HbO_2]$ é a oxihemoglobina;

$[Hb]$ é a desoxihemoglobina.

A hemoglobina desoxigenada (desoxihemoglobina) absorve 10 vezes mais a luz vermelha que a hemoglobina oxigenada (oxihemoglobina), que por sua vez, transmite a luz vermelha e absorve a luz infravermelha.

Além da absorção pela hemoglobina do sangue arterial pulsátil, a luz emitida pelos diodos emissores de luz também sofre absorção por outros tecidos, que incluem sangue venoso, capilar e sangue arterial não-pulsátil. O oxímetro de pulso corrige esta interferência na absorção da luz, separando o componente pulsátil da absorção do componente estático não pulsátil.

A saturação da hemoglobina determinada pelo oxímetro de pulso pode não ser igual à saturação real da hemoglobina no sangue arterial. Isto porque no cálculo realizado pelo aparelho, não são consideradas eventuais variações da hemoglobina tais como carboxihemoglobina (molécula de hemoglobina ligada ao monóxido de carbono) e metemoglobina (moléculas de hemoglobinas que foram oxidadas por agentes como ferricianetos e nitritos ou drogas como sufamidas, fenacetina, etc.), que são incapazes de se ligarem ao oxigênio, de maneira reversível. Se essas variedades de hemoglobina não estiverem presentes no sangue, a $[SpO_2]$ medida será exata.

Na operação do oxímetro devem ser tomados alguns cuidados que evitam erros nas medições, dentre os quais podem ser citados: o sensor colocado na extremidade do dedo ou do lobo da orelha deve ser protegido caso a luz ambiente seja intensa, qualquer que seja a fonte; os deslocamentos do paciente, a depender de como sejam feitos, podem ocasionar erros nas leituras dos oxímetros; controlar a concentração de alguns corantes venosos como: azul de metileno, índigo carmim fluoresceína e verde indocianina.

Além dessas situações, existem ainda alguns casos clínicos que podem interferir também no funcionamento desses aparelhos, a saber: metemoglobinemia, carboxiemoglobina, redução da perfusão da extremidade, hipóxia, anemia e presença de certos compostos químicos no sangue. A pigmentação da pele não deverá influenciar na leitura do Oxímetro.

4.1.3 Bomba de infusão

A bomba de infusão, apresentada na Figura 4.5 é um equipamento eletromédico que tem por finalidade introduzir no sistema circulatório de pacientes, substâncias líquidas e agentes farmacológicos por via intravenosa, epidural (na medula nervosa da coluna vertebral) ou intra-arteriais de forma controlada e estabilizada (BUTTON, 2003).

Este equipamento vem sendo bastante estudado nas últimas décadas, face à sua grande importância na reabilitação dos enfermos e a vasta utilização nas mais diversas ocasiões, como por exemplo:

- Manutenção dos níveis apropriados de fluidos de um paciente durante e após cirurgias, tratamento de queimaduras e controle de desidratação em pacientes pediátricos;



Figura 4.5: Bomba de infusão de uso geral.

- Nutrição parenteral (endovenosa) total (TPN) de pacientes;
- Para manter a veia aberta, facilitando a administração de medicamentos em uma emergência. O KVO (*Keep Vein Open*) é um recurso de bombas de infusão programáveis, representado pela infusão mínima ao final da infusão, mantendo o vaso aberto;
- Infusão de drogas, em quantidades efetivas e não tóxicas, de forma contínua (hormônio do crescimento) ou intermitente (antibióticos).

No entanto, a aplicação mais importante das bombas de infusão é a relacionada com a administração contínua de drogas, já que a efetividade de um determinado medicamento só é atingida após uma certa concentração na corrente sanguínea e pode ser letal quando os níveis de concentração ultrapassarem os limites de segurança estabelecidos para cada tipo de droga.

Existem basicamente três mecanismos de infusão, sendo eles: equipo com controlador de fluxo manual, controlador de infusão e bombas de infusão.

O controlador de fluxo manual consiste em um recipiente com o líquido a ser infundido e um equipo, constituído de um tubo, uma câmara de gotejamento e uma pinça rolete para comprimir o tubo e controlar o fluxo de líquidos administrado ao paciente. A pressão relativa de infusão é dada pela diferença entre pressão hidrostática da coluna de água e a pressão invasiva do paciente, que na normalidade varia em torno de 10 mmHg. Esse método é uma forma barata de infusão. No entanto, o fluxo de líquidos injetados é muito susceptível às variações de pressão

tanto da coluna de líquidos, à medida que o líquido vai sendo liberado, quanto da pressão arterial apresentada no paciente em um determinado momento.

No controlador de infusão é acrescentado ao sistema manual um controle elétrico do fluxo de líquidos injetados no paciente, que pode ser automático ou semi-automático. No sistema automático, a quantidade de líquido a ser injetada por unidade de tempo, após o ajuste realizado pelo operador, é monitorada a todo instante, e à medida que essa vazão se modifica ao longo do tempo, existe um controle automático que tenta equilibrá-la deixando-a dentro de níveis aceitáveis. Já no caso dos sistemas semi-automáticos, ao ser verificada a variação na quantidade de substâncias injetada, um alarme é ativado informando ao operador do equipamento que alguma anormalidade no funcionamento ocorreu, necessitando de alguma providência dele para que o estado normal de operação seja restabelecido.

As bombas de infusão são equipamentos bem mais complexos. Para o estabelecimento de uma pressão relativa maior que a intra-vascular é utilizada a ação de motores, atingindo valores tão altos quanto os necessários para uma determinada infusão, sendo possível desta forma, aumentar ou diminuir o fluxo transmitido controlando apenas o torque aplicado pelo motor, que em sua maioria é de corrente contínua. Além disso, esses aparelhos dispõem de um controle bem mais acurado, podendo-se injetar quantidades de medicamentos na vazão em que se deseje de forma contínua e constante.

Nesta pesquisa, é dada atenção ao último tipo de mecanismo de infusão, visto que nos dois primeiros, a probabilidade de alteração funcional causada pela radiação eletromagnética é inexistente, para o caso do controlador de fluxo manual, e muito baixa para o caso dos controladores de infusão.

As bombas de infusão possuem uma unidade de processamento que dentre outras funções interpreta os dados de entrada referentes às características da infusão, calculando o fluxo injetado no paciente, e quando alguma anormalidade no processo ocorre, é ela também a responsável por disparar um alarme específico, alertando ao operador a existência de uma má funcionalidade. Os alarmes são ativados nas seguintes situações: existência de bolhas de ar nos tubos, cessamento da injeção de líquido por oclusão do sistema, término da infusão ou bateria fraca. Além disso, a unidade de processamento é ainda capaz armazenar dados referentes à sua programação e realizar a interconexão com computadores e outros aparelhos eletromédicos.

Caso exista alguma alteração na vazão de medicamentos injetados no paciente, os seguintes problemas podem acontecer:

- Respostas retardadas (fluxo baixo) ou tóxicas (fluxo alto) ao paciente;
- Aumento da possibilidade de ocorrência de flebite e tromboflebite (infecção e entupimento de vasos, respectivamente);



Figura 4.6: Respirador Newport.

- Infiltrações e extravazamentos no local de aplicação, podendo causar necrose;
- edema pulmonar, afetando função renal e cardíaca;
- problemas metabólicos;
- embolia pulmonar.

Em uma bomba de infusão, sua unidade de processamento é a parte mais susceptível à radiação eletromagnética, e sendo esta unidade, a principal responsável pelo funcionamento correto da bomba, é provável que ocorra alguma anormalidade quando ligada próxima a fontes de radiação eletromagnética como os celulares.

4.1.4 Respiradores

Os respiradores são equipamentos eletromédicos capazes de controlar o fluxo, a pressão e a distribuição dos gases inspirados pelos pulmões do paciente, quando esses, por si só, não conseguem exercer essas funções espontaneamente (PIVA J. P.; CARVALHO; GARCIA, 1997). Na Figura 4.6 é mostrado um respirador em pleno funcionamento.

Tais aparelhos são divididos em categorias de acordo com o seu regime de trabalho, e classificados da seguinte forma:

- Respiradores ciclados por pressão;
- Respiradores ciclados a volume;
- Respiradores ciclados a tempo;
- Respiradores ciclados por pressão negativa.

Os três primeiros tipos de respiradores supracitados têm seu princípio de funcionamento baseado na ventilação por pressão positiva, o que significa dizer que o aumento da pressão na região bucal força a entrada de ar para os pulmões, ocorrendo o inverso na expiração. O último tipo de respirador listado trata-se de um ventilador por pressão negativa. A diferença é que neste caso, cria-se uma pressão pulmonar relativa menor que a do ambiente, obtendo o mesmo efeito dos outros respiradores, que é respiração mecânica forçada (PIVA J. P.; CARVALHO; GARCIA, 1997).

Os respiradores ciclados a pressão tem como fator determinante do início e do final do ciclo a pressão do ar medida nos pulmões. Inicialmente ajusta-se um valor máximo de pressão e, após atingido esse valor durante a insuflação, o ciclo é revertido e o ar contido nos pulmões passa a ser exalado até o estabelecimento de uma pressão relativa mínima, também previamente ajustada, iniciando novamente o ciclo da respiração. Nesse tipo de mecanismo de respiração, a pressão máxima ajustada para o ciclo de inspiração deve ser sempre inferior aos limites adequados, pois caso seja superior, o risco de hiperventilação é grande, acarretando sérios riscos ao paciente.

Já os respiradores ciclados a volume têm o seu ciclo de funcionamento determinado e limitado pelo volume de ar contido no cilindro de pressurização de ar do aparelho, que será injetado nos pulmões do paciente. Esse volume deverá ser ajustado pelo médico, e deverá estar aquém dos valores ideais para evitar possíveis danos ao enfermo. A vantagem desse tipo de respirador reside no fato dele não sofrer com a influência do agravamento ou melhora do quadro geral de saúde do doente, insuflando sempre a mesma quantidade de ar para os seus pulmões em cada ciclo.

Os respiradores ciclados a tempo seguem o mesmo princípio de funcionamento dos já citados anteriormente, no entanto utilizam o tempo como base para determinar o fim e o início do ciclo respiratório.

Os ventiladores ciclados por pressão negativa são menos comuns, e suas aplicações restringem-se a pacientes com doença pulmonar intrínseca, como por exemplo distúrbios neuromusculares em pulmões de crianças.

Atualmente, a maioria dos respiradores disponíveis às equipes médicas dos hospitais são controlados eletronicamente, sendo este o motivo da denominação "ventiladores eletrônicos". Esses equipamentos são controlados por um microprocessador que gerencia, comanda e monitora o paciente, corrigindo regulagens e verificando continuamente todo o sistema de ventilação do paciente (BARRETO, 1993). Por meio de um teclado alfanumérico, o operador inclui os dados da ventilação a ser realizada, bem como informações sobre o paciente e, a partir dessas informações, o microprocessador controla as variáveis da ventilação, que são: pico da pressão inspiratória (PIP), o volume corrente (VC) e o tempo inspiratório (TI).

Dentre as principais vantagens dos ventiladores eletrônicos sobre seus antecessores estão:

- Sistema ventilatório e umidificador microprocessados e com indicador memorizador de defeitos;
- Seis modos de ventilação: CMV, ASSIST CMV, SIMV/IMV, AMV, TIME CYCLE e CPAP;
- Ventilador de alto fluxo;
- Princípio de demanda e fluxo contínuo para respiração espontânea;
- Display que mostra todos os parâmetros e leituras realizadas durante a ventilação;
- Compressor de ar interno com chaveamento automático por falta de pressão na tubulação, dentre outras.

Face à sua alta complexidade no controle de atuação dos respiradores, é de extrema importância que se conheçam os efeitos da incidência de radiação eletromagnética sobre a unidade microprocessada desses equipamentos. Outrossim, os respiradores são equipamentos essenciais de suporte à vida de enfermos, e caso trabalhem em regime diferente do que se considera como normal, podem acarretar sérios danos à saúde do paciente, podendo levá-lo à morte.

4.1.5 Marcapasso

O marcapasso é um equipamento que gera pulsos elétricos para o coração quando este, naturalmente, não consegue desempenhar essa função perfeitamente.

O ciclo cardíaco normal é constituído das seguintes etapas: despolarização celular; contração miocárdica, que constitui o ciclo fisiológico; e movimento cinético do sangue e das válvulas cardíacas que compõe o ciclo cardíaco propriamente dito.

A contração muscular cardíaca, principal responsável pelo fluxo sanguíneo dentro do sistema circulatório como um todo, é resultado de um estímulo elétrico das células miocárdicas, necessitando para isto que elas estejam despolarizadas. O pulso elétrico origina-se nas células marca-passo do nó sino-atrial. Esse pulso dissipa-se pelas células do músculo atrial até chegar ao nó atrioventricular (nó AV), onde sofre um retardo fisiológico. Este retardo é que vai originar a contração seqüencial do átrio e ventrículo, que são isolados eletricamente, de forma harmônica. Muitas vezes, falhas nesse isolamento, são responsáveis por diversas anomalias e patologias já conhecidas, como a Síndrome de Wolf Parkinson White e por certas taquiarritmias. O estímulo elétrico propaga-se aos ventrículos por meio do feixe de His e seus ramos, distribuindo-se por todo o miocárdio ventricular por intermédio das fibras de purkinje (OPIE, 2001),(LAVITOLA, 2001).

O coração pode, em determinadas situações, (doença do nó sinusal, bloqueio átrio-ventricular, hipersensibilidade do seio carotídeo, entre outras), perder a capacidade de gerar um número certo

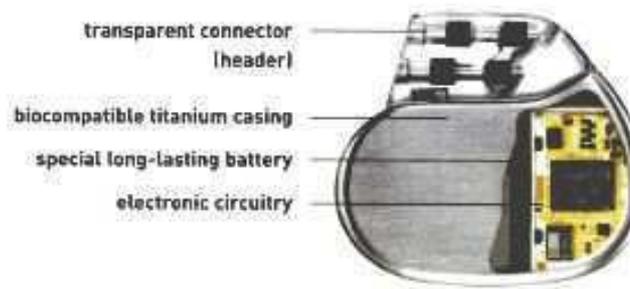


Figura 4.7: Ilustração dos componentes de um marcapasso.

de batimentos cardíacos. Como resultado da frequência anormal, o coração bombeia menos sangue e causa sintomas tais como fadiga, falta de ar, tonturas, cansaço fácil, palpitações e desmaios.

O marcapasso é usado nessas situações justamente para normalizar os batimentos cardíacos, exercendo a função das células marca-passo do nó sino-atrial. Na grande maioria dos casos, esses equipamentos são instalados no peito em baixo da pele próximo ao ombro, e o seu eletrodo ligado ao átrio direito, ou ao ventrículo direito do coração, ou a ambos no caso dos de dupla-câmara.

Os primeiros aparelhos marcapassos desenvolvidos geravam pulsos de amplitude e frequências constantes. Por outro lado, percebeu-se que o coração ao ser estimulado, em determinados momentos, começava a apresentar estímulos próprios, gerando uma "competição" com os estímulos elétricos gerados pelo marcapasso. A partir disso surgiu o conceito do sistema de realimentação, no qual esses aparelhos são capazes de identificar os estímulos cardíacos naturais, cessando seu funcionamento ou entrando em atividade novamente quando percebido qualquer anormalidade nos batimentos.

Além disso, atualmente, os marcapassos mais modernos são capazes de regular a frequência dos estímulos elétricos a partir do nível de atividade e temperatura do paciente.

Os componentes básicos de um marcapasso, ilustrado na Figura 4.7, são: um gerador que produz estímulos elétricos e um ou dois cabos (eletrodos) que levam estes estímulos ao coração para garantir os batimentos cardíacos. Por sua vez, os geradores são constituídos dos seguintes componentes:

- Placa do circuito de controle, com a tecnologia CMOS;
- Microprocessador que controla a quantidade de pulsos emitidos por unidade de tempo;
- Bateria de lítio-iodo;

- Carcaça de titânio.

Já que a unidade controladora da geração de pulsos dos marcapassos não é isolada eletromagneticamente, existe a possibilidade de que ocorram alterações funcionais quando submetidos à radiação, sendo imprescindível que se conheçam perfeitamente tais alterações.

Capítulo 5

Estudos relacionados a EMI em equipamentos médicos

A partir da segunda metade de década de 1980 com o advento do telefone celular seguida da sua comercialização em larga escala, a comunidade científica e profissionais que trabalham na área começaram a se preocupar com os possíveis males que essa nova tecnologia pudesse vir causar no funcionamento dos equipamentos médicos.

A partir daí, iniciou-se um processo contínuo de pesquisas científicas que visa não só a determinação destas possíveis alterações funcionais nos EEMs como também proposições de medidas que ajudem no controle das emissões eletromagnéticas nos ambientes hospitalares.

Os resultados das pesquisas publicados e distribuídos para a comunidade, auxiliam os órgãos responsáveis por elaborar normas regulatórias a estabelecerem níveis mínimos de susceptibilidade eletromagnética que os EEMs devem suportar quando submetidos à radiação.

Em 1994 Kok-Swang e Irwin verificaram que a imunidade dos EEMs variava com a frequência e a intensidade dos campos irradiantes (TAN; HINBERG, 1994). Todos os equipamentos médicos testados apresentaram algum tipo de alteração funcional, sendo que apenas um deles atendia às exigências da norma IEC padrão 801-3 (imunidade de 10 V/m). O limiar de susceptibilidade dos aparelhos era determinado a partir da detecção de alguma alteração no funcionamento dos aparelhos, incluindo falhas, distorções das informações exibidas em *displays* e disparos de alarmes.

Dentre os equipamentos estudados na pesquisa referenciada acima, estão: bomba de infusão, respiradores artificiais, desfibriladores, oxímetros de pulso, incubadora, monitor fetal e monitor fisiológico. Dos resultados obtidos, verificou-se que o equipamento com menor imunidade foi a incubadora, apresentando alterações funcionais quando imersos em campos eletromagnéticos com intensidade de apenas 0,012 V/m na faixa de 80 a 150 MHz, enquanto que a bomba de infusão se mostrou um equipamento mais robusto à interferência eletromagnética, chegando a

funcionar sem qualquer alteração quando irradiados em um campo de até 10 V/m.

Em 1999, cientistas coreanos publicaram alguns resultados de testes relacionados à susceptibilidade eletromagnética de equipamentos médicos (BAE; KIM, 1999). Para isso, utilizaram dois transmissores, PT1 e PT2, portáteis operando na faixa de 222,45 - 222,975 MHz e 430 - 470 MHz com uma potência de 1,9 W 3,0 W respectivamente. Simularam ainda um teste padrão de acordo com a norma IEC 1000-4-3 com as seguintes características: transmissores operando na faixa de 30 a 1000 MHz modulado em amplitude com uma senóide de 1kHz 80%.

Os resultados mostraram que, no caso do teste padrão realizado, 53,3% dos equipamentos médicos testados tiveram seu funcionamento afetado quando submetidos à radiação. Para os testes realizados com os transmissores portáteis, o número de equipamentos que teve seu funcionamento influenciado foi bem maior, cerca de 80% do total apresentaram problemas funcionais. A alteração mais importante e evidente detectada entre todos os aparelhos, ocorreu no monitor cardíaco quando irradiado com o transmissor PT2, 430 - 470 MHz e 3,0 W, em que houve uma total deformação na forma de onda registrada, impedindo qualquer possibilidade de leitura correta no equipamento.

Dentre as várias alterações funcionais encontradas, as mais comuns foram: distorções nas formas de onda apresentadas, diminuição ou aumento de uma determinada variável medida, desligamento do equipamento, entre outras.

Han-Kil e Jong-Heon mostraram ainda que os EEMs são mais susceptíveis nas faixas de frequências de 200 - 400 MHz (BAE; KIM, 1999), dentro do espectro eletromagnético estudado, que no caso foi de 30 - 1000 MHz.

Ao estudar as alterações funcionais nos equipamentos médicos quando submetidos à radiação eletromagnética, Furuata constatou que os níveis de imunidade destes equipamentos vêm crescendo ao longo do tempo (FURAHATA, 1999). Foram realizados os mesmos experimentos com equipamentos idênticos, sendo alguns fabricados antes de 1993 e outros após isso, e constatou-se que o número de equipamentos que sofreu algum tipo de alteração funcional foi cerca de 16,25% menor entre os mais novos.

Nos experimentos, Furuata utilizou aparelhos celulares convencionais nas faixas de 800 MHz e 1,5 GHz, tanto analógicos quanto digitais, irradiando a máxima potência, e o PHS (personal handy-phone system), que opera na faixa de 1,9 GHz e tem uma potência máxima de saída equivalente a 80 mW. Na Figura 5.1, observa-se que a influência dos PHS foi bem menor quando comparada com a ocasionada pelos telefones celulares convencionais (FURAHATA, 1999). Isto porque existe uma diferença considerável na potência emitida pelos dois aparelhos, chegando a ordem de dez vezes.

Dos resultados encontrados, Furuata verificou que o uso do PHS pode ser realizado sem

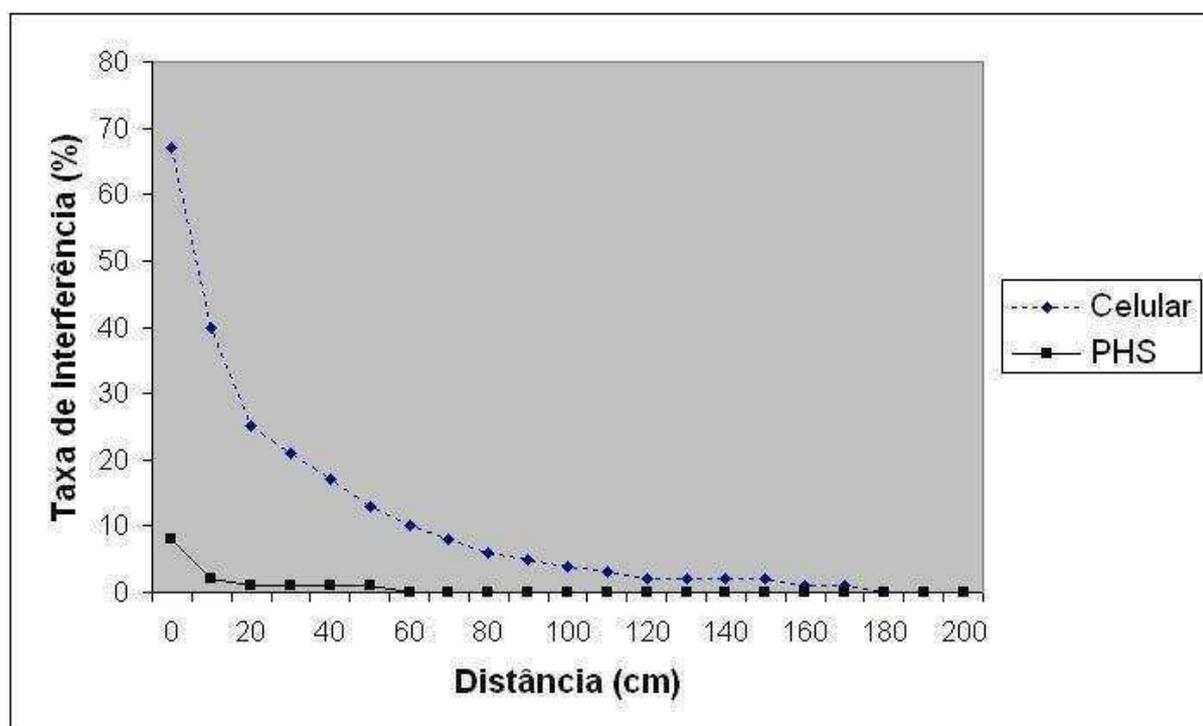


Figura 5.1: Porcentagem de equipamentos afetados para cada tipo de transmissor

prejuízos a garantia de um perfeito funcionamento dos EEMs, face à baixa potência emitida pelos transmissores desses aparelhos. No entanto, restringe o uso dos celulares em ambientes onde exista uma grande concentração de equipamentos médicos, como centros cirúrgicos e UTIs.

O interesse por possíveis eventos que venham a causar alterações funcionais nos equipamentos médicos é grande e não se restringe apenas à compatibilidade eletromagnética. Muitos estudos já foram desenvolvidos em diversas áreas relacionadas ao tema, dentre as principais que aqui se pode citar são: mau funcionamento dos EEMs quando a tensão de alimentação ultrapassa os limites de segurança inferior ou superior; descrição do comportamento quando das descargas eletromagnéticas na rede; e interrupção repentina no fornecimento de energia (RAILTON R.; CURRIE, 1992),(FENICAL, 1994). Toda essa preocupação deve-se ao fato desses equipamentos estarem intimamente ligados a sobrevivência dos enfermos, dando-lhes suporte à vida.

Estudiosos japoneses pesquisaram a influência que os celulares, tanto digitais quanto analógicos, e os terminais PHS geram no funcionamento de EEMs quando postos em operação próximos a esses aparelhos. Do total de marcapassos estudados, em 5% foi verificado alguma influência quando a fonte de radiação (1,5GHz, 800mW) era colocada bem próxima dos marcapassos. No caso dos demais equipamentos médicos analisados, foi verificado que a uma distância de 1m da fonte de radiação, apenas 5% sofreram alterações funcionais perceptíveis (TARUSAWA Y.; NOJIMA,

2001).

Em 2002, Suzy Cabral e Sérgio Mühlen estudaram a interferência causada por celulares no funcionamento dos EEMs. Os aparelhos geradores de radiação utilizados foram celulares convencionais de dois fabricantes distintos que operavam no sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System), irradiando em potências máximas, que no caso era de 600 mW, e medianas. A faixa de frequência de trabalho desses celulares era de aproximadamente 850 MHz (CABRAL; MÜHLEN, 2002).

Foram vários os EEMs analisados, dentre os quais podem-se citar: bomba de infusão, monitor cardíaco, oxímetro e medidor de pressão não invasiva. Dos resultados encontrados verificou-se que cerca de 58,5% dos equipamentos testados apresentaram algum tipo de alteração, sendo 37,5% com disfunções graves que poderiam gerar uma total inutilização do equipamento, pondo em risco a vida do paciente assistido pelo aparelho afetado.

Os EEMs portáteis também têm tido seu funcionamento avaliado quanto às interferências eletromagnéticas com aparelhos celulares. Dos estudos realizados até hoje e publicados na literatura, é consenso que a probabilidade de falha no seu funcionamento é bem pequena quando em condições de normais de operação, ou seja, o paciente usando o celular próximo da região da orelha e o marcapasso instalado próximo ao coração. Por outro lado, quando a distância de separação entre os dois aparelhos é bem pequena, as chances de que ocorra alguma alteração funcional nos marcapassos são grandes, podendo inclusive a levar a sua inatividade total. Tal situação é comum acontecer, pois o marcapasso, como relatado na seção 4.7, fica alojado, na grande maioria dos casos, sob a pele do peito próximo ao ombro, e os usuários dos telefones celulares têm o costume de guardar seus aparelhos nos bolsos de suas camisas, aproximando perigosamente os dois equipamentos.

O Dr. David L. Hayes, depois de um estudo realizado com inúmeros marcapassos, afirma que as alterações funcionais causadas pelos aparelhos celulares são bastante significativas se a distância entre eles for pequena. Por isso recomenda ainda que pacientes com marcapassos não coloquem os celulares sobre a área onde eles estejam instalados (HAYES, 1997).

Em outro estudo, a EMI causada por um aparelho celular (Nokia 1610; GSM Standard) foi analisada em 144 pacientes com marcapassos instalados, dos quais, algo em torno de 11,8 % sofreram inibição na geração dos pulsos quando o aparelho celular era colocado em atividade próximo à orelha do mesmo lado em que o marcapasso era instalado (RADEN; PAVLOVIC, 1999). Pelas referências bibliográficas pesquisadas, esse percentual tende a ser cada vez menor, face ao desenvolvimento tecnológico em busca de maior imunidade. Atualmente, determinados marcapassos são capazes de funcionar, sem qualquer anormalidade, mesmo quando imersos em campos elétricos da ordem de 200V/m (KIMMEL; GERKE, 1995).

Capítulo 6

Metodologia de trabalho

6.1 Local de realização dos testes

Uma parte dos experimentos foram realizados na UTI do Hospital Antônio Targino, localizado na cidade de Campina Grande, graças a uma parceria realizada com a direção desse Hospital, a qual disponibilizou toda a estrutura necessária e disponível para execução dos testes. Os testes com o marcapasso foram realizados no Laboratório de Comunicações (LABCOM) - Divisão de Efeitos Biológicos, localizado na Faculdade de Medicina - CCBS - UFCG.

Pela impossibilidade de retirada dos EEMs disponíveis na UTI do Hospital Antônio Targino, devido à sua extensa utilização nessa unidade e pelo número insuficiente de aparelhos, todos os experimentos foram realizados nesse ambiente com exceção dos testes efetuados com o marcapasso, que foram feitos no LABCOM - Divisão de Efeitos Biológicos - CCBS.

Nas Figuras 6.1 e 6.2 estão ilustradas duas salas da UTI do Hospital Antônio Targino nas quais os experimentos foram realizados. Na Sala 1 existe uma maior quantidade de leitos por unidade de área e não existe separação física entre eles. Na Sala 2 a separação entre os leitos é maior e existe uma estrutura física de concreto dividindo os ambientes. O quadro ao lado de cada leito no qual está inscrita a letra M refere-se à mesa que dá suporte aos equipamentos médicos que nela estão alojados. O pé-direito de ambas as salas é de 2,4m.

6.2 Equipamentos

Para realização dos experimentos foram utilizados aparelhos emissores de radiação eletromagnética, equipamentos eletromédicos e um medidor de campo.

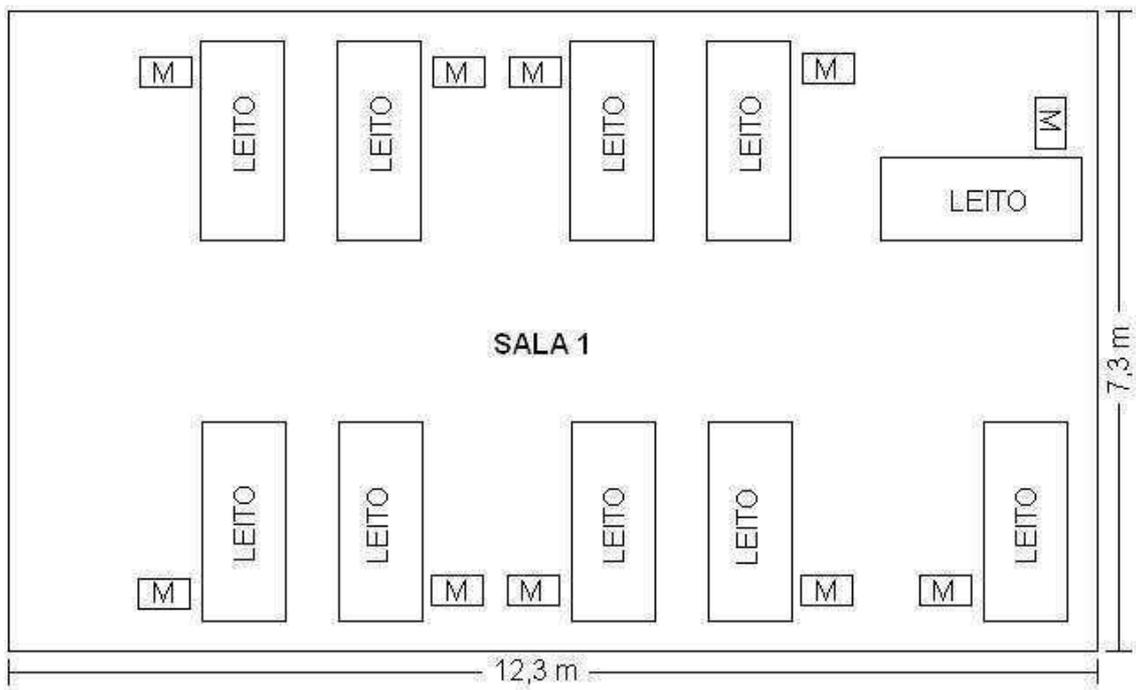


Figura 6.1: Sala utilizada na UTI no Hospital Antônio Targino

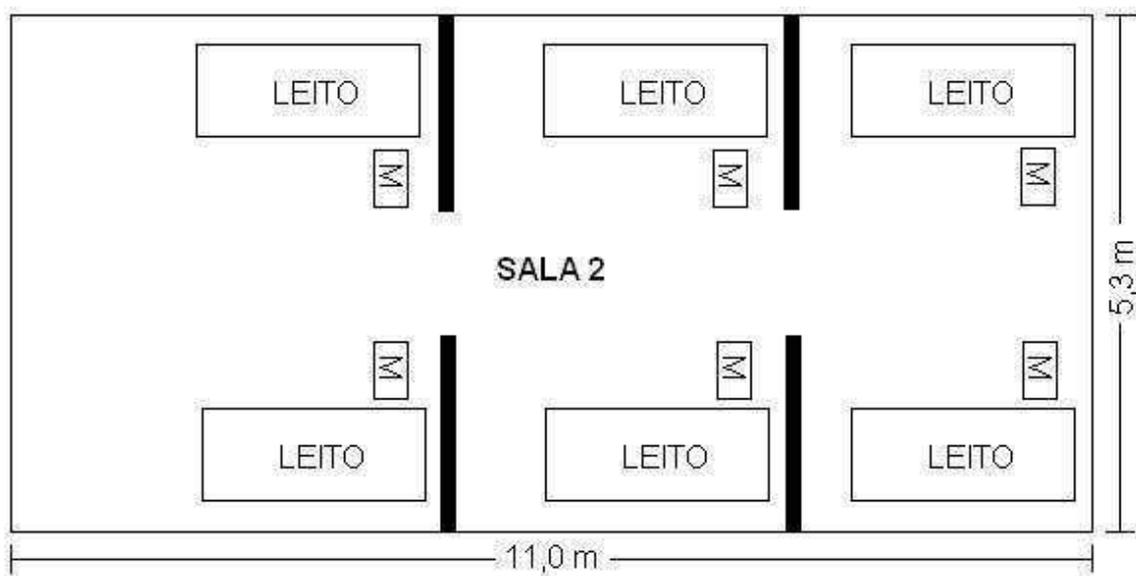
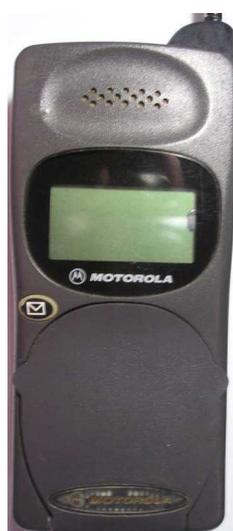


Figura 6.2: Sala utilizada na UTI no Hospital Antônio Targino

6.2.1 Equipamentos utilizados como fonte de radiação

Durante o período de realização dos testes foram utilizados três tipos de aparelhos emissores de radiação, sendo dois telefones celulares, um analógico e um digital, e um transmissor analógico cedido pela TIM Nordeste.

Ambos os telefones celulares utilizados nos experimentos são aparelhos convencionais do sistema AMPS fabricados pela Motorola, modelos Microtac Lite II (analógico) e Ultratac 700A (digital), doravante denominados de PT2 e PT1 respectivamente, expostos na Figura 6.3 operando na faixa de 850 MHz e com potência máxima dos seus transmissores de 600mW.



(a) Telefone celular
Motorola Ultratac
700A



(b) Telefone celular
Motorola Micro Tac
Lite II

Figura 6.3: Telefones celulares usados nos experimentos.

Um telefone celular operando em potência máxima com 600mW produz a um metro de distância um campo elétrico equivalente a aproximadamente 3V/m (IKEYA, 2004) (CARR, 2000), o qual cresce exponencialmente na medida em que se aproxima do celular podendo chegar a valores muito mais altos que os permitidos pela norma IEC 60601-1-2 - 2ª Edição, conforme descrito na Seção 6.4.

Nos sistemas celulares existentes atualmente, a potência emitida pelo transmissor do telefone é controlada em função da distância à estação radiobase, melhor detalhado no Capítulo 3. Por esse motivo, antes do início dos testes, os aparelhos celulares tiveram que ser programados para sempre emitirem uma potência determinada e constante, que nesse caso específico foi de 600mW. Esse controle foi possível com uma programação específica para os aparelhos Motorola, descrito no manual do fabricante. (SECTOR, 2000).

Na programação própria do aparelho, o operador tem acesso a diversos parâmetros de operação do celular, dentre eles: ligar/desligar o seu transmissor, selecionar o canal em que deseja realizar a operação (para realização de testes, são liberados os canais 333, 350 e 799), graduar os níveis de atenuação da potência emitida pelo transmissor em até sete vezes, ligar e desligar o seu microfone, entre outros comandos não mencionados aqui, já que fogem do escopo deste trabalho.

A seguir é mostrada a seqüência de comandos para a programação dos celulares Motorola que operam no sistema AMPS, inclusive os digitais (DAMPS - Digital Advanced Mobile Phone System):

<FCN> 00**83786633 <STO>
 Entra no modo inicial de teste
 Pressionar "#" por dois segundos - Modo de programação
 11XXX# – Seleciona o canal (XXX é o canal);
 12X# – Seleciona o nível de atenuação (varia de 0 a 7);
 05# – Liga o transmissor;
 06# – Desliga o transmissor;
 07# – Desliga o receptor;
 08# – Liga o receptor;
 01# – Reinicializa.

Nos padrões AMPS e TDMA, as frequências de uplink e downlink associadas a um determinado canal pode ser calculada, respectivamente, pelo par de Expressões 6.1 e 6.2 abaixo, ambas referenciadas em MHz. Como canal selecionado na programação dos dois telefones celulares foi o 333, isso implica que a frequência emitida pelos seus transmissores é de 834,99MHz.

$$f_{uplink} = 825,03 + 0,03 * (N^{\circ}_{canal} - 1) \quad (6.1)$$

$$f_{downlink} = f_{up} + 45. \quad (6.2)$$

No caso do ajuste da potência emitida pelos telefones, foi selecionado o nível de 0 dB, ou seja, sem nenhuma atenuação, logo emitindo 600mW de potência eletromagnética.

Com os celulares emitindo a potência máxima dos seus transmissores, 600mW, foram realizadas medições do campo elétrico em função da distância para os aparelhos da seguinte forma: deixado o celular em um ponto fixo na posição vertical e com seu transmissor ligado, media-se o

campo elétrico, com a ponta de prova do medidor também na posição vertical, a uma distância de 10cm entre eles e a partir daí novas medições foram realizadas com incrementos na distância de 10cm até atingir 1 metro. Tal procedimento foi realizado por diversas vezes, e o valor do campo elétrico medido para cada aparelho nas distâncias especificadas foi calculada a partir da média aritmética entre elas, as quais encontram-se mostradas na Tabela 6.1.

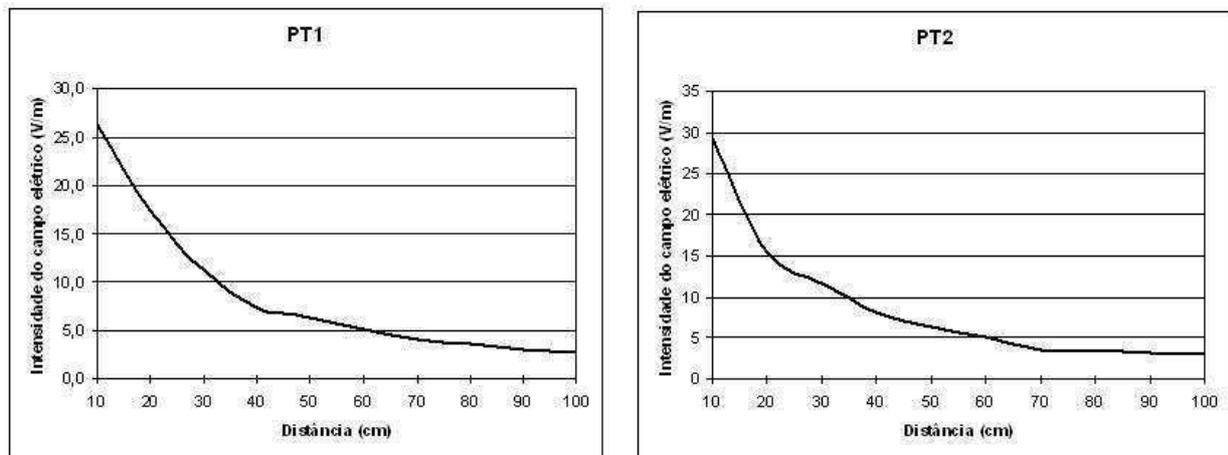
Telefone celular	PT1	PT2
Distância (cm)	Campo elétrico (V/m)	Campo elétrico V/m
10	26,3	29,3
20	17,3	16,7
30	11,3	11,5
40	7,4	8,1
50	6,3	6,4
60	5,2	5,0
70	4,0	3,6
80	3,5	3,4
90	3,0	3,2
100	2,8	3,0

Tabela 6.1: Intensidade do campo elétrico para diversas distâncias da fonte de emissão.

Na Figura 6.4 é ilustrado o comportamento do campo elétrico para os dois celulares. O resultado obtido condiz com o esperado na medida que o decaimento do módulo campo elétrico é do tipo exponencial. Quando a distância para a fonte emissora é de 10cm, a intensidade do campo elétrico é de aproximadamente 30V/m, enquanto que, caso a distância seja de 1m, o campo será por volta de 3V/m. Isto significa dizer que o telefone celular deve estar a uma distância de pelo menos 1m de alguns EEMs, conforme será descrito na Seção 6.4.

Um ilustração tridimensional de como se comporta o campo elétrico próximo de um celular pode ser representada pela construção de um gráfico tipo superfície, de forma que a fonte de radiação esteja posicionada no centro da figura e o campo decaindo com o aumento da distância. Tal ilustração foi construída para o telefone celular PT1 e encontra-se mostrada na Figura 6.5.

O rádio transmissor analógico, apresentado na Figura 6.6, possui potência máxima de saída de 10W, e opera na faixa de frequências 869-894MHz. Este aparelho é usado no sistema AMPS padrão com codificação por modulação FM, controlado por software, modelo BTE101101/11, Registro 18692-AAE02. A antena transmissora usada é do modelo LPD7907/2N, com potência máxima de 500 watts e frequência entre 790-960 MHz (DANTAS, 2003).



(a) Intensidade do campo elétrico em função da distância para o PT1 (b) Intensidade do campo elétrico em função da distância para o PT2

Figura 6.4: Comportamento dos campos elétricos próximos aos telefones celulares

A vantagem na utilização deste tipo de transmissor é que ele, pelo fato de ser controlado por software, Local Control - plataforma Windows - interface mostrada na Figura 6.7, disponibiliza ao operador uma série de recursos que facilitam na realização do experimento, como por exemplo: ajuste de potência emitida com uma maior precisão, escolha de uma frequência certa que não interfira nos celulares pessoais que se encontram próximos ao laboratório e desligamento automático no momento determinado.

Na Figura 6.8 encontra-se traçado o padrão de irradiação da antena utilizada pelo rádio transmissor, descrita anteriormente. Nele pode-se perceber que a antena é bastante diretiva.

A uma distância de 55 cm, uma antena isotrópica ideal de 10 watts de potência produziria uma densidade de potência igual a $1,05mW/cm^2$. A antena do rádio transmissor está gerando, na mesma distância, aproximadamente $2,2mW/cm^2$, isto significa dizer que o ganho fornecido pela antena utilizada é de aproximadamente 2 (CARR, 1996).

6.2.2 Equipamentos médicos utilizados nos testes

Na Tabela 6.2 são relacionados os equipamentos médicos testados neste trabalho. Tais aparelhos foram escolhidos tomando-se por base: maior disponibilidade no hospital onde foram realizados os testes; maior chance de ser verificada qualquer alteração funcional quando imersos em campos eletromagnéticos; e o relato de problemas já verificados por outros estudiosos publicados na literatura pertinente.

Dos equipamentos listados na Tabela 6.2, os monitores cardíacos, o respirador Bird e a bomba de infusão MP-20 são equipamentos mais antigos, com mais de 5 anos de fabricação, enquanto

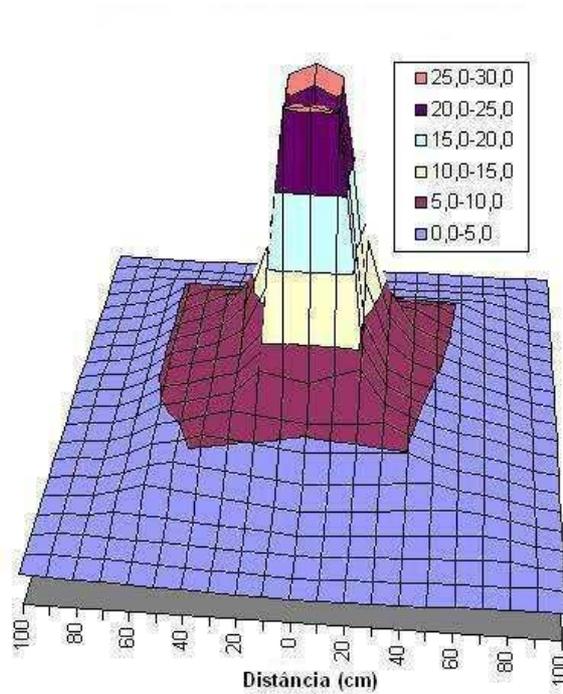


Figura 6.5: Representação tridimensional da intensidade do campo elétrico em função da distância para o telefone celular.



Figura 6.6: Rádio transmissor analógico (850 MHz)



Figura 6.7: Interface do software Local control.

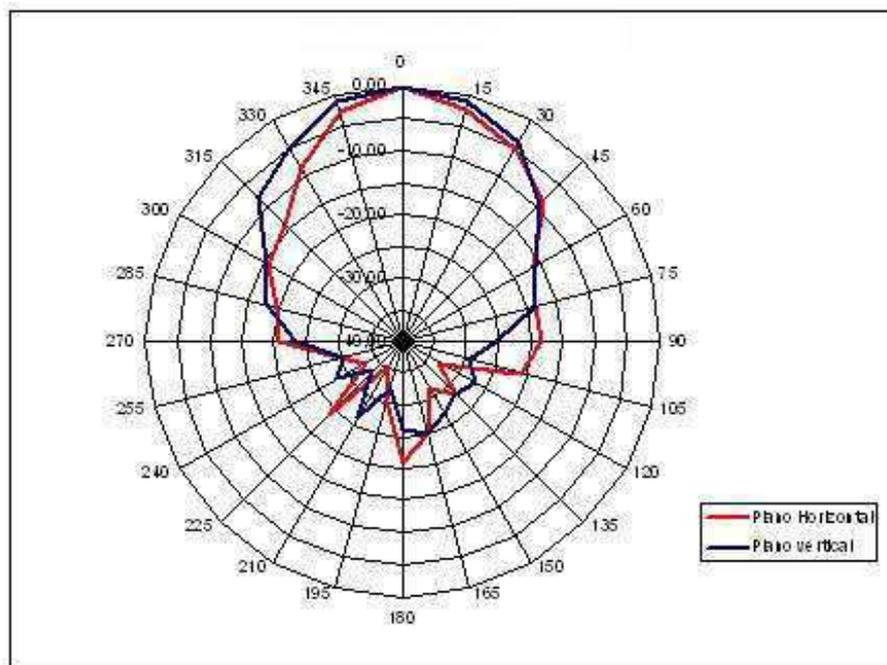


Figura 6.8: Diagrama de irradiação da antena utilizada pelo rádio transmissor .

Tipo de aparelho	Fabricante	Modelo	Quantidade
Monitor cardíaco	Ecafix	TC500	4
Monitor cardíaco	TEB	M10	1
Oxímetro	Criticare	PO-910	3
Respirador	NEW PORT	E100M	2
Respirador	Bird	6400	1
Bomba de infusão	SAMTRONIC	550 T2	3
Bomba de infusão	MP	20	1
Marcapasso	MINIOR	100	1

Tabela 6.2: Relação dos aparelhos médicos testados.

os outros foram fabricados a partir de 2003, ou seja, com pouco mais de 2 anos de fabricação.

6.2.3 Equipamento utilizado nas medições

As medições da intensidade do campo eletromagnético foram realizadas com o auxílio de um medidor de campo fabricado pela Wandel & Goltermann modelo EMR-300, apresentado na Figura 6.9.

O medidor de Campo EMR-300 utiliza uma antena isotrópica com três sensores na sua ponta de prova nos eixos X,Y e Z, cada um medindo uma intensidade de campo separadamente. O campo resultante medido pelo aparelho é calculado por um processador interno e é obtido pelo somatório dos quadrados dos valores medidos.

Quando já se conhece a frequência da fonte de radiação da qual se deseja medir o campo eletromagnético emitido por ela, é necessário se ajustar o fator de calibração do EMR-300 para que a medida seja a mais aproximada possível. No entanto, quando a fonte de radiação é desconhecida, ou quando o campo eletromagnético no local é determinado por um conjunto vasto de emissores, trabalhando em frequências diferenciadas, o fator de calibração deve ser igual a um.

6.3 Experimentos

Baseado nos objetivos almejados neste trabalho, foram desenvolvidos três experimentos distintos, os quais serão detalhados a seguir.



Figura 6.9: Medidor de campo EMR-300 da Wandel & Goltermann .

6.3.1 Medição do campo elétrico nos interiores das salas da UTI sem a presença dos telefones celulares e dos EEMs

Este foi o primeiro experimento realizado neste trabalho e tinha por principal objetivo realizar as medições no ambiente hospitalar sem a presença de qualquer aparelho celular e com os equipamentos médicos desligados.

Tal procedimento só foi possível de ser realizado na Sala 2, mostrada na Figura 6.2, já que era neste compartimento que faziam o atendimento aos pacientes com plano de saúde ou particulares e por este motivo estavam quase sempre inativas. Foram escolhidos pontos de medições espalhados por todo o recinto e anotadas as intensidades dos campos elétricos medidos.

Com este experimento foi possível determinar se existia alguma fonte de radiação eletromagnética que proporcionasse níveis de campo significativos quando comparados aos originários dos telefones celulares ou dos equipamentos médicos, que por ventura viessem a também emitir energia eletromagnética.

As medições foram realizadas com o medidor de campo EMR-300, descrito na Seção 6.2.3, posicionado sobre um tripé. Desta forma, a ponta de prova do medidor ficou elevada do chão de aproximadamente 60cm.

Os pontos marcados em negrito na Figura 6.10 representam os locais das medições realizadas.

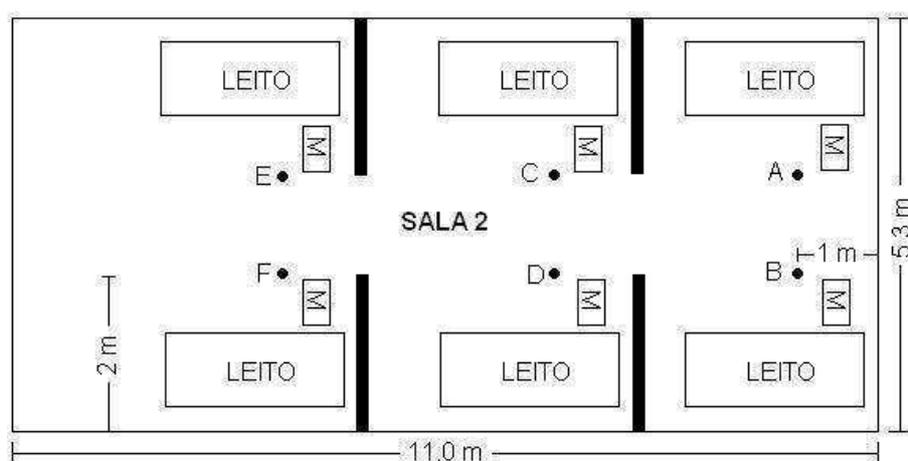


Figura 6.10: Ilustração dos pontos onde foram realizadas as medições de campo.

A estrutura física era toda composta por concreto e malhas de ferro que dão sustentação ao prédio.

6.3.2 Medição dos campos eletromagnéticos emitidos pelos EEMs

Nesta fase dos experimentos, estando o equipamento médico em pleno funcionamento, retirava-se do ambiente de testes todo e qualquer aparelho celular, garantindo assim que a única fonte de radiação proveniente do interior do recinto fosse dos próprios EEMs.

A condição para a escolha do equipamento médico era a de que naquele leito estivesse funcionando apenas ele, assim, no momento da medição, ele seria o único a emitir radiação nas proximidades.

Iniciado o experimento, aproximava-se o equipamento de medição até que sua ponta de prova ficasse bem próximo do equipamento médico, por volta de 5cm, realizando uma varredura ao redor do EEM em análise. O campo máximo medido era anotado, bem como a região onde foi verificada tal ocorrência.

Esse experimento tinha por objetivo determinar se os próprios equipamentos médicos eram geradores de campos eletromagnéticos, e a partir disso, controlar o uso de determinados equipamentos com outros que sejam mais sensíveis.

6.3.3 Verificação dos efeitos causados no funcionamento dos EEMs pela radiação eletromagnética emitida pelos celulares

Esse experimento consistia em colocar em operação o telefone celular próximo ao equipamento médico, também em funcionamento, e verificar a existência de possíveis alterações funcionais nesse último.

O telefone celular era ajustado para operar em regime de emissão de potência máxima, 600mW, através dos controles programáveis discutidos na Seção 6.2.1. Com o equipamento médico em funcionamento normal, aproximava-se gradativamente o telefone celular, observando-se qualquer anormalidade no funcionamento do EEM. Quando isso acontecia, a distância entre os aparelhos e o relato do tipo de alteração verificada eram anotadas para futuras análises e discussões.

O procedimento descrito acima foi realizado por pelo menos dez vezes para garantir que a alteração era realmente ocasionada de radiação eletromagnética emitida pelo celular.

A seguir serão discutidos os procedimentos experimentais realizados para cada tipo de equipamento separadamente.

Monitor Cardíaco

Nos monitores cardíacos eram observados basicamente dois tipos de variáveis. Um deles relacionava-se ao número de batimentos cardíacos por minuto, enquanto que o outro era relacionado a forma de onda mostrada no monitor. Para este último, antes da incidência da radiação eletromagnética, fazia-se um acompanhamento por alguns minutos para se estabelecer um parâmetro considerado como normal, feito isto, irradiava-se o aparelho, e qualquer alteração nos objetos de estudo eram devidamente anotados e o procedimento refeito por mais algumas vezes, até que se tivesse a certeza do motivo da alteração verificada.

Oxímetro

Nos oxímetros eram duas variáveis a serem analisadas, a saturação de oxigênio no sangue e o frequência cardíaca eram acompanhadas por um certo tempo. Após entendido o comportamento dos valores medidos e atingida a estabilidade nos valores medidos, partia-se para a execução do experimentos da mesma forma como a realizada para os monitores cardíacos.

Bomba de infusão

Nas bombas de infusão, verificava-se o disparo de algum dos alarmes descritos na Seção 6.2.1 bem como a quantidade de líquido infundida por unidade de tempo. Os alarmes soavam sempre

que qualquer condição adversa no funcionamento das bombas era detectado. As bombas de infusão estudadas possuíam um display que informa a quantidade de total de líquido infundido a partir de um certo momento. Para verificação de possíveis alterações na quantidade de líquido infundido, media-se a vazão quando o equipamento funcionava na ausência e na presença da radiação emitida pelo celular da seguinte forma: estipulava-se o tempo de 1 minuto de observação e media-se a quantidade de líquido infundido nesse tempo, obtendo desta forma uma vazão dada em ml/min. A constatação de alteração no funcionamento das bombas era detectado comparando-se os valores das vazões encontradas. Tal procedimento era realizado 5 vezes para cada medição.

Respiradores

Os respiradores, assim como as bombas de infusão, possuem diversos alarmes que anunciam o mau funcionamento no aparelho por uma causa específica. O disparo desses alarmes eram observados durante o experimento, e anotado se por ventura viesse a acontecer. A principal variável de estudo nesse equipamento relacionava-se ao número de inspirações e expirações por unidade de tempo. Para isto estabelecia-se o tempo base de um minuto e contava-se o número de ciclos completos de respirações. Cada procedimento era realizado cinco vezes consecutivas.

A restrição que se fazia na escolha dos respiradores era que estivessem assistindo a pacientes com um alto grau de inatividade, já que esses equipamentos são muito sensíveis ao movimento do enfermo.

Marcapasso

Nos testes com o marcapasso, diferentemente dos realizados com os outros EEMs, foi utilizado um rádio transmissor analógico descrito na Seção 6.2.1. Isto porque, de acordo com as informações referenciadas na literatura, os marcapassos possuem uma alta imunidade aos campos elétricos, podendo chegar a ordem de 200V/m (KIMMEL; GERKE, 1995), e precisa que a fonte de radiação seja de alta potência e produza campos elétricos desse ordem.

Assim como já foi mostrado anteriormente, esse transmissor possui uma potência de saída por volta de 10W e é capaz de gerar uma densidade de potência eletromagnética equivalente a $2,2mW/cm^2$ a uma distância de 55cm da antena de transmissão.

A densidade de potência eletromagnética (S) e o campo elétrico (E) são relacionados pela Expressão 6.3 e 6.4, em que S é dada em W/m^2 e o campo elétrico (E) é dado em V/m. A condutividade elétrica meio (σ) é dada pelo inverso da impedância intrínseca, que como nesse caso é o espaço livre vale 120π .

$$S = \sigma | E |^2 \quad (6.3)$$

Logo,

$$| E | = \sqrt{120\pi S} \quad (6.4)$$

Para uma distância de 55cm da antena transmissora, a densidade de potência eletromagnética é de $2,2mW/cm^2$, ou $22W/m^2$, isso significa dizer que o campo elétrico correspondente nesse local é de aproximadamente 91V/m.

Na Tabela 6.3 estão expostas as distâncias nas quais o marcapasso teve seu funcionamento analisado quando imerso no Campo EM gerado pelo rádio transmissor, com as respectivas densidades de potência EM e o campo elétrico equivalente.

Distância (cm)	Densidade de potência (mW/cm^2)	Campo elétrico (V/m)
55	2,2	91
70	1,8	82
90	1,1	64

Tabela 6.3: Densidade de potência e campo elétrico para diversas distâncias da antena do transmissor.

Para verificação dos efeitos causados no funcionamento do marcapasso pela radiação emitida pelo celular foi utilizado um osciloscópio digital Tektonix, mostrado na Figura 6.11, ajustado para 1V/div e 1s/div, com a sua ponta de prova ligada ao terminal que leva o pulso para o coração e o neutro ligado à carcaça do marcapasso de forma a verificar a atividade do marcapasso.

Os pulsos emitidos pelo marcapasso eram analisados na tela do osciloscópio com e sem a presença da radiação, comparando-se os resultados obtidos. Para melhorar a visualização e determinar a menor alteração no formato dos pulsos, a base de tempo do osciloscópio foi diminuída para 250mV, para se obter uma ampliação lateral do pulso.

Para verificar a reversibilidade dos danos causados aos equipamentos médicos em teste, a fonte de irradiação era retirada quando detectava-se qualquer anormalidade, observando se a operação normal do aparelho era reestabelecida após isso.



Figura 6.11: Osciloscópio Tektronix digital.

6.4 Normatização para os testes

Atualmente, os equipamentos médicos fabricados em todo o mundo devem atender a uma série de exigências estabelecidas pela IEC (International Electrotechnical Commission), só sendo possível sua comercialização após serem testados e aprovados em todas as etapas.

Mais especificamente, o padrão IEC 60601-1-2 - 2ª Edição, é a norma mais atualizada, e que trata dos testes a serem realizados com equipamentos médicos.

Dentre os principais testes aos quais os equipamentos médicos devem ser submetidos antes de sua comercialização, estão:

- Descargas eletrostáticas;
- Imunidade a campos eletromagnéticos de baixa e alta frequências;
- Imunidade às oscilações da tensão de alimentação;
- Interrupção da energia elétrica que alimenta os equipamentos;
- Distorção harmônica.

Dos testes listados acima, será dada ênfase neste estudo à imunidade a campos eletromagnéticos de altas frequências, especificamente nas faixas de 1,9 e 2,45 GHz.

Nesta mesma norma, o IEC subdivide os equipamentos médicos em duas categorias de acordo com a sua importância para o enfermo. Aqueles equipamentos, dos quais dependem diretamente os enfermos para sua sobrevivência ou que prestam auxílios fundamentais para que estes permaneçam vivos, ou seja, realizam um acompanhamento contínuo do paciente em situações de risco, são classificados como equipamentos médicos de suporte à vida. São eles: monitor cardíaco, incubadora, aparelhos de anestesia, bomba de infusão, oxímetro, marcapasso, respiradores, entre outros.

Já aqueles equipamentos médicos que servem para facilitar um determinado diagnóstico ou que não sejam essenciais à sobrevivência do paciente, não são classificados como equipamentos médicos de suporte à vida. São eles: aparelho de eletrocardiograma, equipamento de raio-X, medidores de pressão arterial, etc.

Os equipamentos classificados como os de suporte à vida, devem funcionar sem qualquer alteração quando imersos em campos elétricos de intensidade igual a no máximo 10 V/m, já aqueles classificados como não sendo de suporte à vida, devem operar normalmente em campos inferiores a 3 V/m. A faixa abrangida nos dois casos é de 80 MHz até 2,5 GHz.

6.5 Cronograma

Etapas:

Etapa 1: Revisão bibliográfica

Etapa 2: Escolha dos equipamentos

Etapa 3: Elaboração de uma metodologia de testes

Etapa 4: Realização dos experimentos

Etapa 5: Redação do texto de dissertação

Etapa 6: Defesa da dissertação

Etapas	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	jan.
1	•	•	•	•							
2		•	•	•	•						
3			•	•	•						
4					•	•	•	•	•		
5			•	•	•	•	•	•	•	•	
6											•

Tabela 6.4: Cronograma

Capítulo 7

Resultados e discussões

A seguir serão comentados em seções os resultados encontrados nos três experimentos realizados distintamente. O primeiro relacionado aos campos EM nos recintos sem a presença de aparelhos celulares e EEMs, o segundo relacionado à medição do campo EM emitido pelos EEMs e por último relacionado à EMI causada nos EEMs pela radiação emitida pelos aparelhos celulares.

7.1 Medição do campo elétrico nos interiores das salas da UTI sem a presença dos telefones celulares e dos EEMs

Pelo que foi exposto na Seção 6.3.1, 6 pontos foram escolhidos para medição na Sala 2, sendo que em cada um deles, foi estabelecido um tempo de padrão de 1 min medindo-se os valores máximos e mínimos durante o período. As variações entre os valores máximos e mínimos podem ser explicados na medida em que se não conhece as fontes de radiações e em que tempos eles estão gerando ou deixando de gerar energia eletromagnética.

Na Tabela 7.1 estão mostrados os valores dos campos eletromagnéticos medidos nos seis pontos de medição. Analisando tais valores, o pressuposto inicial discutido anteriormente de que as principais fontes de radiação no interior das UTIs eram os aparelhos de telefonia celular e os próprios aparelhos médicos, que por ventura viessem a emitir radiação.

Isso é comprovado comparando-se os valores de campo elétrico medido neste experimento com os valores de campo elétrico produzidos pelos telefones celulares e pelos aparelhos médicos, discutidos na próxima seção. Para se ter uma idéia, um aparelho celular irradiando potência máxima, 600mW, mesmo a uma distância de 1 m, consegue gerar um campo elétrico da ordem 3V/m, campo este mais forte que o medido na sala em cerca de 10 vezes.

Ponto de medição	Campo elétrico mínimo	Campo elétrico máximo
A	0,10 V/m	0,21 V/m
B	0,12 V/m	0,28 V/m
C	0,10 V/m	0,35 V/m
D	0,11 V/m	0,30 V/m
E	0,15 V/m	0,32 V/m
F	0,11 V/m	0,27 V/m

Tabela 7.1: Campo elétrico medido no interior da Sala 2 sem a presença de telefones celulares e EEMs

7.2 Medição dos campos eletromagnéticos emitidos pelos EEMs

Nesta etapa, com exceção do marcapasso, foi verificado se os equipamentos médicos são capazes de emitir radiação eletromagnética com o auxílio do medidor de campo EMR-300. Na Tabela 7.2 são mostrados os campos elétricos máximos medidos próximos a cada equipamento médico bem como a localização onde esses campos aconteceram.

EEM	Quantidade	Campo elétrico máximo	Localização
Monitor Cardíaco	3	1,6 V/m	Frente
Oxímetro	2	1,2 V/m	Lateral direita
Bomba de infusão - Santronic	2	15,2V/m	Frente
Bomba de infusão - MP	1	0,95 V/m	Frente
Respirador - Newport	2	4,1 V/m	Frente
Respirador - Bird	1	0,6 V/m	Frente

Tabela 7.2: Campo elétrico máximo medido próximo a cada um tipo de equipamento médico.

Um fato importante que deve ser ressaltado aqui é que os equipamentos mais recentemente fabricados e com uma tecnologia mais aprimorada foram justamente os equipamentos que emitem uma maior taxa de energia eletromagnética. Dentre todos os aparelhos, destacam-se as bombas de infusão da Santronic e os respiradores Newport, equipamentos estes que possuem uma grande parte das suas ações controlada eletronicamente e com muitos display na sua parte frontal.

Por outro lado, os equipamentos com mais tempo de uso, fabricados a mais tempo, praticamente não emitem radiação eletromagnética, como é o caso dos monitores cardíacos, da bomba de infusão MP-20 e do respirador Bird.

Dos valores medidos neste experimento, e de fundamental importância que se determine o comportamento de todos os equipamentos médicos utilizados no ambiente hospitalar, pois aparelhos como a bomba de infusão podem causar alterações funcionais em equipamentos não analisados neste trabalho.

7.3 Verificação dos efeitos causados no funcionamento dos EEMs pela radiação eletromagnética emitida pelos celulares

Essa foi a principal etapa de experimentos realizada neste trabalho. Com ela foi possível quantificar e qualificar os reais efeitos que a radiação eletromagnética emitida pelos celulares pode causar nos equipamentos médicos.

Os resultados serão mostrados ordenadamente para cada aparelho iniciando pelos monitores cardíacos até o marcapasso.

7.3.1 Monitores cardíacos

Nos monitores cardíacos, assim como foi mostrado na seção 6.3.3, o traçado da atividade cardíaca mostrada na tela e a medição da frequência cardíaca eram os principais pontos a serem analisados no seu funcionamento.

Em relação ao traçado mostrado na tela do monitor, não foi registrada nenhuma alteração perceptível para nenhum dos equipamentos testados.

Quanto a frequência cardíaca medida pelos aparelhos, houve uma redução de cerca de 10% no valor medido quando os aparelhos celulares, tanto o analógico (PT2) como também o digital (PT1), eram colocados distantes de cerca de 10 cm dos monitores. Tal variação começava a ser percebida quando a distância entre eles era de 30 cm.

Tal alteração foi percebida apenas nos monitores da marca Ecafix. Nos monitores cardíacos M-10 nenhuma alteração perceptível foi detectada, nem na frequência cardíaca nem no traçado da atividade cardíaca mostrada na tela.

7.3.2 Bombas de Infusão

Nas bombas de infusão foram analisados os disparos de alarmes e alteração na vazão dos líquidos infundidos.

Em todos os testes realizados com as bombas de infusão, em nenhum deles houve disparo de alarmes provenientes da interferência eletromagnética emitida pelos celulares. Durante alguns testes, soou o alarme indicando entupimento no sistema de dutos da infusão, no entanto foi detectado que era originário de outro motivo. Além disso, não existia nenhuma relação entre a aplicação da radiação com a ocorrência do problema.

Na Tabela 7.3 são mostradas as vazões de infusão de algumas bombas Santronic 550 T_2 quando expostas ou não pela radiação emitida pelos celulares.

Fonte de radiação	Vazão sem radiação	Vazão com radiação	Variação
PT1	1,044 ml/min	1,048 ml/min	0,4%
PT1	1,044 ml/min	1,043 ml/min	0,1%
PT1	1,043 ml/min	1,044 ml/min	0,1%
PT1	1,043 ml/min	1,046 ml/min	0,3%

Tabela 7.3: Vazões de infusão de alguma bombas de infusão quando imersas ou não no campo eletromagnético criado pelos celulares.

Resultados semelhantes foram encontrados quando utilizaram-se o PT1 e o PT2.

Em ambos os casos não se pode afirmar que a radiação eletromagnética causou algum efeito no funcionamento das bombas de infusão, visto que as variações encontradas nos valores medidos são pequenos, menores que 0,4%, e não obedecem uma tendência sempre para o mesmo lado, ora aumenta, ora diminui, constatando que representa apenas variações nas leitura dos dados por parte de quem está coletando as informações.

7.3.3 Oxímetro

Nesses equipamentos era observado nível de saturação de oxigênio no sangue bem como a frequência cardíaca medida nos pacientes. Em referência ao nível de saturação de oxigênio medidos pelo aparelhos, não foi verificada qualquer alteração. Os níveis antes da exposição à radiação permaneceram constantes durante todo intervalo de tempo, indicando que naquele período a saturação de oxigênio não variou. Isso pode ser explicado pelo fato das frequências dos feixes luminosos produzidos pelos led's (vermelha - $4,54 \times 10^{14}$ Hz e infravermelha - $3,19 \times 10^{14}$ Hz) serem bem mais altas que a da radiação eletromagnética gerada pelo celular.

No que se refere às medições da frequência cardíaca, em um dos equipamentos testados houve um aumento de cerca de 6% quando exposto à radiação do celular. Nos outros dois oxímetros nenhuma alteração foi percebida.

7.3.4 Respiradores

Nos respiradores a ocorrência de disparos nos alarmes dos equipamentos bem como a frequência de respirações por minuto foi observada.

Na Tabela 7.4 são mostrados as frequências respiratórias de alguns equipamentos quando estes estão imersos no campo eletromagnético emitido pelo celular ou não.

Fonte de radiação	Freq. Resp. sem radiação	Freq. Resp. com radiação	Variação
PT1	19,82 ciclos/min	19,83 ciclos/min	0,05%
PT1	28,47 ciclos/min	28,42 ciclos/min	0,2%
PT2	19,85 ciclos/min	19,89 ciclos/min	0,2%

Tabela 7.4: Frequências respiratórias de alguns aparelhos quando estão imersos ou não no campo eletromagnético emitido pelo telefones celulares .

Dos resultados obtidos, percebe-se que não houve alteração significativa quando da exposição dos aparelhos à radiação eletromagnética. Na maior variação foi encontrado um valor de 0,2% menor quando imerso no campo eletromagnético.

Dessa forma, assim como as bombas de infusão, os respiradores em questão apresentaram-se com uma imunidade elevada aos campos gerados pelos celulares.

Além disso, durante a execução de todos os testes com os respiradores, nenhum alarme foi ativado, e nenhuma alteração perceptível no seu funcionamento foi detectado quando expostos aos à radiação.

7.3.5 Marcapasso

Os marcapassos, assim com foi discutido na Seção 6.3.3, todas as medições do comportamento dos pulsos emitidos por esses aparelhos foram verificadas com o auxílio de um osciloscópio digital disponibilizado pelo Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Um modelo padrão para o formato do pulso emitido pelo marcapasso encontra-se mostrado na Figura 7.1. Já que a base de tempo ajustado no osciloscópio é de 1s/div, um pulso é liberado a cada 0,95s, aproximadamente, logo a frequência de pulsos por minuto é cerca de 67.

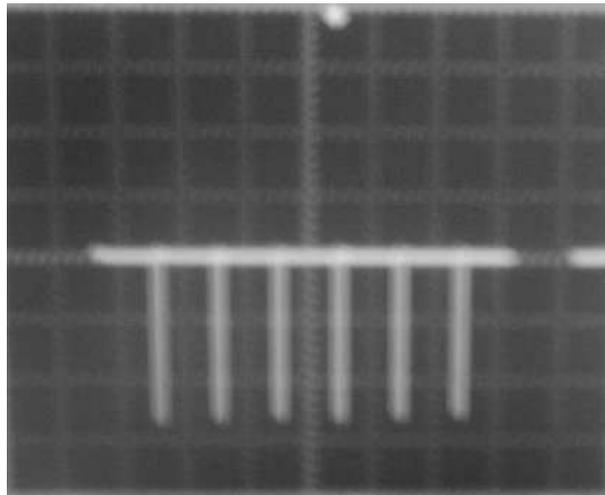


Figura 7.1: Medição realizada com o osciloscópio digital com a base de tempo ajustada em 1s/div e a escala de tensão em 1V/div.

Na Figura 7.2 é ilustrado apenas um pulso emitido pelo marcapasso, na base de tempo de 250ms do osciloscópio, com o objetivo observá-lo ampliado de forma que se perceba qualquer alteração no seu formato ou amplitude do sinal.

Durante a aplicação da radiação sobre o marcapasso não foi verificada qualquer tipo de alteração. As formas de onda, tanto no caso normal, 1s/div, quanto no caso ampliado, 250ms/div, se mostraram idênticas.

Os resultados comprovam a teoria que muitos marcapassos são capazes de funcionar normalmente mesmo quando imersos em campos eletromagnéticos de alta intensidade. Neste caso específico, o marcapasso em análise foi capaz de operar sem qualquer anormalidade sob um campo elétrico da ordem de 100 V/m.

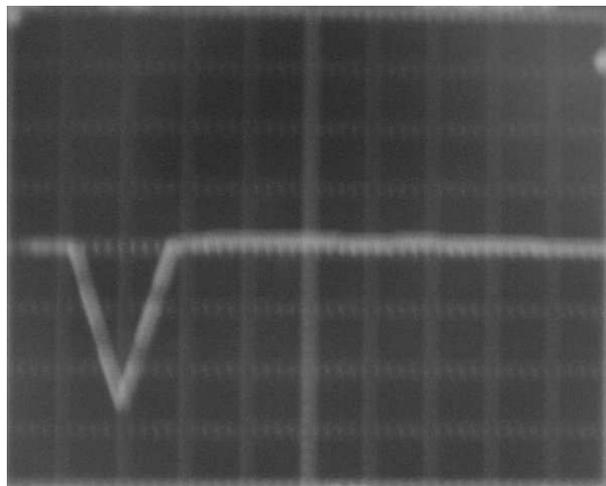


Figura 7.2: Visualização do pulso emitido pelo marcapasso de forma ampliada com a base de tempo do osciloscópio igual 250ms.

Capítulo 8

Conclusões

Dos resultados obtidos neste trabalho percebe-se que se por um lado os equipamentos médicos vêm melhorando no sentido de se tornarem mais imunes aos campos eletromagnéticos gerados por telefones celulares por exemplo, em contrapartida estão se tornando uma própria fonte de radiação eletromagnética atingindo valores tão altos de emissões quanto dos celulares.

É possível afirmar ainda que as principais fontes de radiação eletromagnética estão no interior das unidades de tratamento aos doentes nos hospitais, seja ela gerada por telefones celulares ou pelos próprios aparelhos médicos quando em funcionamento. Isso é comprovado quando se faz uma comparação entre os campos elétricos medidos nos recintos na ausência dessas fontes de radiação mencionadas e os campos elétricos gerados próximos aos mesmos. Essa variação, dependendo da distância em que se encontra do telefone celular operando com potência máxima, pode chegar a ordem de 100 vezes.

Outro experimento realizado neste trabalho comprova a idéia de que não só os telefones celulares são fontes de radiação nos ambientes hospitalares mas também os próprios equipamentos médicos também o são. Isso gera um alerta para os fabricantes e órgãos responsáveis pela regulamentação de normas do setor para terem um maior cuidado quando forem colocar em funcionamento dois equipamentos médicos essenciais à vida humana sem se conhecer ao certo o comportamento dos mesmos nessa situação. Foi verificado que alguns equipamentos médicos quando em funcionamento podem gerar intensidades de campos elétricos de até 15V/m na proximidades da sua parte frontal, que o caso da bomba de infusão Santronic. Esse é o campo equivalente ao gerado por um telefone celular operando em potência máxima a uma distância de aproximadamente 25cm. Portanto o campo produzido por um EEM desta natureza não é desprezível ao campo elétrico produzido por um telefone celular.

Por se tratar de aparelhos importantíssimos para a reabilitação de enfermos internados em hospitais é necessário que se tenha total controle sobre o seu correto funcionamento. Por isso

é necessário que se façam a cada dia mais estudos com os equipamentos médicos para que se possa utilizá-los sem receio nenhum.

Os equipamentos mais recentemente fabricados se mostraram menos susceptíveis às interferência eletromagnéticas causadas por telefones celulares, fato este explicitamente comprovado nos experimentos realizados com os monitores cardíacos. O monitor Ecafix apresentou uma variação de cerca de 10% na medição da frequência cardíaca quando submetidos à radiação, enquanto um outro equipamento modelo TEB M-10, produzido mais recentemente, não apresentou problema algum. Além disso, pesquisas referenciadas na revisão bibliográfica reportavam a existência de falhas freqüentes no funcionamento de equipamentos médicos quando submetidos à radiação em faixas de freqüências determinadas. Tais experimentos foram realizados com equipamentos fabricados até o ano 2000.

Neste trabalho do total de 15 equipamentos testados, 5 apresentaram algum tipo de alteração funcional grave, sendo 4 monitores cardíacos e 1 oxímetro, justamente os aparelhos com mais tempo de fabricação.

É necessário de se façam mais pesquisas relacionadas ao tema e que se conheça as particularidades de cada equipamento para que a vida do paciente não seja posta em risco.

Os órgãos reguladores como a Anatel, Anvisa e Inmetro devem se fazer cada vez mais presentes na regulamentação das normas bem como na conscientização de toda a população que os aparelhos celulares no interior de hospitais, principalmente não áreas onde existe uma grande concentração de aparelhos médicos pode representar um risco à vida do paciente. Para isto deveria ser proposta uma maior divulgação na mídia expondo tais problemas.

Deve haver ainda uma maior preocupação dos administradores dos hospitais em organizar e montar os ambientes de acordo com algumas dicas descritas nesse trabalho, como por exemplo: evitar de colocar EEMs próximos ao chão, já que nessas regiões os campos eletromagnéticos são mais intensos e decaem em menor intensidade quando comparado ao espaço livre; deve-se evitar alocar equipamentos médicos muito próximos uns dos outros, já que alguns destes emitem um campo eletromagnético intenso nas suas proximidades; separar os leitos o máximo que se puder, evitando uma grande concentração de EEMs em um pequeno espaço físico, entre outras.

É necessário um maior comprometimento entre os fabricantes em desenvolverem equipamentos médicos que sejam capazes de funcionar com segurança não só quando expostos a campos eletromagnéticos, mas também quando postos em funcionamento em conjunto com outros equipamentos de funcionalidade diferentes.

Esse trabalho foi de grande valia para ratificar pesquisas anteriores que comprovam a existência de EMI em equipamentos médicos causada pela radiação emitida pelos celulares, bem como alertar para os órgãos reguladores e fabricantes que os equipamentos médicos fabricados

atualmente são potenciais emissores de radiação eletromagnética, podendo num futuro próximo causar grandes incompatibilidades no funcionamento em conjunto com outros aparelhos.

Capítulo 9

Propostas para trabalhos futuros

Neste trabalho foram estudadas as alterações causadas no funcionamento de EEMs quando imersos em campos eletromagnéticos emitidos por aparelhos da telefonia celular.

Nesse caso especificamente, os EEMs em questão eram aparelhos convencionais mais comuns encontrados nas UTIs dos hospitais. No entanto, atualmente, existe uma infinidade de tipos de equipamentos médicos com as mais diversificadas finalidades, cada vez com o funcionamento mais minucioso e com uma responsabilidade ainda maior. Equipamentos com essas características são mais facilmente encontrados nos centros cirúrgicos dos hospitais, como por exemplo os bisturis eletrônicos, que são equipamentos altamente complexos e que geram uma quantidade de harmônicos na rede elétrica muito alta.

Diante da problemática algumas propostas são sugeridas abaixo como continuação de trabalhos a serem realizados nessa linha:

- Verificar os efeitos da radiação emitida por telefones celulares no funcionamento de equipamentos médicos utilizados nos centros cirúrgicos dos hospitais;
- Verificar as interferências que um determinado equipamento médico pode gerar em outro quando colocados em operação um próximo do outro;
- Verificar os efeitos que a radiação eletromagnética emitida pelas redes sem fio usadas para transmissão de dados nos interiores dos hospitais.

Bibliografia

- AKAMINE, N.; CAL, R. G. R. "Medicina e novas tecnologias". v. 50, n. 2, p. 48–49, 1994.
- ALENCAR, M. S. de. *Telefonia Celular Digital*. Campina Grande, BRASIL: Editora Érica, 2004.
- BAE, H.-K.; KIM, J.-H. "Measurement for electromagnetic susceptibility of the electronic medical equipment". *Microwave Conference 1999 Asia Pacific*, v. 1, p. 206–209, November 1999.
- BARRETO, S. M. *Rotinas em Terapia Intensiva*. Porto Alegre, BRASIL: Artes Médicas, 1993.
- BUTTON, V. L. S. N. *Dispositivos de Infusão*. <http://www.fee.unicamp.br>: [s.n.], 2003.
- CABRAL, S. C. B.; MÜHLEN, S. S. "Interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos ocasionada por telefonia celular". *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 18, n. 3, p. 141–149, Setembro 2002.
- CARR, J. J. *Microwave & Wireless Communications Technology*. [S.l.]: Newnes, 1996.
- CARR, J. J. *The Technician's Emi Handbook: Clues and Solutions*. [S.l.]: Newnes, 2000.
- CASTRO, M. C. F. D. *Comunicações Celulares*. PUCRS - Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Elétrica: [s.n.], 2003.
- DANTAS, D. C. A. *Verificação dos Efeitos Comportamentais em Rattus norvegicus Causados pela Radiação de Microondas*. [S.l.], February 2003.
- DAVIS D.; SEGAL, B. M. D. P. T. "Volumetric 1.9-GHz fields in a hospital corridor: electromagnetic compatibility implications". *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2001*, v. 2, p. 1131–1134, August 2001.
- EPAMINONDAS, A. *Laboratório de Circuitos Eléticos I*. Campina Grande, BRASIL: UFCG, 1999.
- FENICAL, G. "Current and proposed EMC tests for medical devices". *Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE*, v. 2, p. 898–899, November 1994.

FURAHATA, H. "Electromagnetic interferences of electric medical equipment from hand-held radiocommunication equipment". *Electromagnetic Compatibility, 1999 International Symposium on*, p. 468–471, May 1999.

GOMES, A. M. *Enfermagem na Unidade de Terapia Intensiva*. São Paulo, BRASIL: Editora Pedagógica e Univesitária, 1988.

HAYES, D. "Celullar phones can cause pacemakers problems". *New England Journal of Medicine*, n. 336, p. 1473–1479, September 1997.

IKEYA, M. *Earthquakes and Animals*. Osaka - Japão: World Scientific, 2004.

KAWAMOTO, E. E. *O neonato, a criança e o adollescente*. São Paulo, BRASIL: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 2001.

KIMMEL, W. D.; GERKE, D. D. *Electromagnetic Compatibility in Medical Equipments*. New York - USA: IEEE Press and Interpharm Press, 1995.

LAVITOLA, P. *Mechanisms of Cardiac Contraction and Relaxation IN Branwauld, Zippes , Libby*. Cape Town - South Africa: 6th Ed - HIE/SAUNDERS, 2001.

NEELAKANTA, P. S. *Handbook of Electromagnetic Materials*. [S.l.]: CRC Press, 1995.

OPIE, L. H. *Ciclo Cardíaco IN Manual de Cardiologia SOCESP*. São Paulo - Brasil: Atheneu, 2001.

PHAIBOON S.; SOMKUARNPANIT, S. "Modeling and analysis the effect of radio-frequency fields in hospitals to the medical equipment". *Proceedings TENCON 2000*, v. 1, p. 92–95, September 2000.

PIVA J. P.; CARVALHO, P.; GARCIA, P. C. *Terapia Intensiva em Pediatria*. Rio de Janeiro, BRASIL: MEDSI Editora Médica e Científica Ltda, 1997.

RADEN, G.; PAVLOVIC, P. "The effect of cell phones on pacemaker function". *Vojnosanit Pregl*, September 1999.

RAILTON R.; CURRIE, G. C. G. E. A. "Malfunction of medical equipment as a result of mains borne interference". *Eighth International Conference on Electromagnetic Compatibility*, p. 49–53, September 1992.

SECTOR, G. S. *DAMPS TEST COMMANDS - REVISION 108*. [S.l.]: Motorola, 2000.

TAN, K.-S.; HINBERG, I. "Radiofrequency susceptibility tests on medical equipment". In: . [S.l.: s.n.], 1994. v. 2, p. 998–999.

TARUSAWA Y.; NOJIMA, T. "Near- and far-fields test system of portable radios EMI to electronic devices". *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999*, p. 472–475, May 2001.

TONUCCI, M. *Manual do Usuário - Oxímetro de Pulso*. São Paulo, BRASIL: EMAI, 2001.

VLACH P.; LIU-HINZ, C. S. B. S. B. P. T. "The electromagnetic environment due to portable sources in a typical hospital room". *IEEE 17th Annual Conference*, v. 1, p. 683–684, September 1995.