

WILSON VALENTE JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO EM
ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**

FLORIANÓPOLIS

2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO EM
ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

WILSON VALENTE JUNIOR

FLORIANÓPOLIS, MAIO de 2006.

AVALIAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

WILSON VALENTE JUNIOR

“Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Eletromagnetismo e Dispositivos Eletromagnéticos*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.”

Prof. Adroaldo Raizer, Dr.
Orientador

Prof. Nelson Sadowski, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Adroaldo Raizer, Dr. (UFSC)
Presidente

Prof. Raimes Moraes, Dr. (UFSC)

Prof. Hugo Dominguez Almaguer, Dr. (FURB)

Prof. Sérgio Santos Mühlen, Dr. (UNICAMP)

À nação brasileira, pela minha formação,
a provedora de uma universidade
pública e de qualidade. Fica aqui, a
minha humilde contribuição como forma
de inestimável agradecimento.

À minha família, pois aquilo que nos une é muito maior do que aquilo que nos divide...

Em especial, a Wilson Valente e Eleonora Behr Valente, pois ao seguir seus passos descobri a minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e amigo Adroaldo Raizer, pela maestria com que conduziu esta pesquisa e, acima de tudo, pelo apoio incondicional e confiança sempre explicitamente demonstrada em meu trabalho. Fica aqui, o meu mais sincero obrigado!

Aos Amigos do GEMCO, praticamente uma família, tio Rangel, tio Vilson, tio Jamil, Milton, Dalla, Vanessa, Fabiano, Nyland, George, Trompowsky, Adriano, Matheus, Cassias, Mário.

Aos professores do IEB-UFSC, Fernando, Renato, Jefferson, Raimes, Fernanda, Morgado, Marino, fundamentais na minha formação, por todo conhecimento transmitido dentro e fora de sala.

Ao Prof. Renato Garcia e Kleide Ferreira, pois nunca será esquecido que sob sua supervisão, os primeiros rabiscos deste trabalho foram traçados.

Aos Amigos do IEB-UFSC, desde os mais antigos, Lucatelli, Wayne, Sylara, Erlon, Kolzer, Joel, Humberto, Panta, Cássio, Euler, Márcio, Renan, Luciano, Luiz Antônio, Patrícia, Sabrina, Gisele, Marisete, Tibola, Mauro, Domingos, Caliar, Hélio, Bruno, Felipe, Flávio, Ana Paula, Luciane, Angélica, Tarso, até os mais recentes, Bacelar, Raul, Igor, Samir, Daiana, Viviane, Daniel, Fabão, Pedrão, Eduardo, Juliano, Rosele, Márcia, Fabrício, Ivana, Douglas, enfim, todos os que me acompanharam nessa longa jornada.

Aos amigos da Technocare, Ana Cláudia, Léo, Kleide, que sempre torceram pelo sucesso deste trabalho (da mesma forma que eu torço pelo deles).

Um agradecimento especial a todos que auxiliaram na realização dos ensaios: Matheus, Nyland, Rangel, Cassias, Fabiano, (os super-heróis que hoje estão mais fortes de tanto carregarem caixas e equipamentos), e ainda: Rúbia, Alisson, Juliano, Jean, Júlio, Jairo.

Às enfermeiras Eliana, Ana e Neide, por disponibilizarem de seu precioso tempo em prol desta pesquisa.

À minha querida Fernanda, tia Janete, e todos os incansáveis que realizaram a correção do texto.

Aos meus tios Marcos e Dani, sempre dispostos a ajudar.

A todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta, que acreditaram nos meus propósitos e confiaram no meu trabalho, o meu muito obrigado.

A Deus, pelas oportunidades da vida presente.

“If I have been able to see further, it was only because I stood on the shoulders of giants.”
(carta à Robert Hooke, 5 de fevereiro de 1675)
Isaac Newton (1642-1727)

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

AVALIAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

WILSON VALENTE JUNIOR

Maio de 2006

Orientador: Professor Adroaldo Raizer, Dr.

Área de Concentração: Compatibilidade Eletromagnética

Palavras-chave: Compatibilidade Eletromagnética, Interferência Eletromagnética, Risco Biológico, Estabelecimento Assistencial de Saúde.

Número de Páginas: 206

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

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT ASSESSMENT IN HEALTH CARE FACILITIES

WILSON VALENTE JUNIOR

Maio de 2006

Advisor: Professor Adroaldo Raizer, Dr.

Area of Concentration: Electromagnetic Compatibility

Keywords: Electromagnetic Compatibility, Electromagnetic Interference, Biological Risks, Health Care Facilities.

Number of Pages: 206

The increased use of electroelectronic technologies within health care facilities (HCF) such as therapeutic, diagnostic or even life support equipments, has been seen as the great responsible for the improvement of electromagnetic energy emitted to the clinical environment. In such circumstances, when the electromagnetic energy present in the environment reaches a certain critical level, it's established a dangerous situation where two undesirable phenomenons can take place, both electromagnetic interference (EMI) in medical equipments and biological risks (RBL) in living beings. Thus, the knowledge of electromagnetic characteristics shown by these environments can represent an important tool in order to promote electromagnetic compatibility and avoid the appearance of undesirable phenomenon. Therefore, this work aims to diagnose the electromagnetic profile established in critical areas, such as operating rooms, through a number of *in loco* measurement concerning electromagnetic quantities presented by this environment (electric field, magnetic field, conducted noise). Moreover, a critical evaluation is performed in order to compare the established situation within HCF and the safety levels prescribed by regulatory organizations regarding EMI as well as RBL. As a result of this assessment, a better understanding about the real situation concerning the electromagnetic environment in HCF can be achieved, allowing clinical engineers to define better directives in order to implement a management program which is adequate to the real need of these hospitals.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	2
1.2 MOTIVAÇÃO	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
1.4 ESTADO DA ARTE	5
1.4.1 PARA ESTUDOS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM EEM	5
1.4.2 PARA ESTUDOS DE RISCOS BIOLÓGICOS EM SERES VIVOS	10
1.4.3 ASPECTOS DE CONTINUIDADE DAS PESQUISAS	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 FUNDAMENTOS DE ELETROMAGNETISMO	12
2.2 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	15
2.2.1 PROPAGAÇÃO DE ONDAS PLANAS NO ESPAÇO LIVRE	18
2.2.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	23
2.3 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EMC)	23
2.3.1 DEFINIÇÃO E ASPECTOS FUNDAMENTAIS	23
2.3.2 EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS	25
2.3.3 SUSCETIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EM EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS)	27
2.3.4 SUSCETIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EM SERES VIVOS)	31
2.3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA EMC	35
2.4 ESTUDO DE ANTENAS	35
2.4.1 FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO E LARGURA DE BANDA	37
2.4.2 DIAGRAMA DE RADIAÇÃO	37
2.4.3 GANHO DIRETIVO	39
2.4.4 DIRETIVIDADE	39
2.4.5 GANHO DE POTÊNCIA	40

2.4.6	EFICIÊNCIA	41
2.4.7	ABERTURA EFETIVA	41
2.4.8	POLARIZAÇÃO DA ANTENA E CASAMENTO DE POLARIZAÇÃO	42
2.4.9	FATOR DE ANTENA	43
2.4.10	REGIÃO DE CAMPO PRÓXIMO E CAMPO DISTANTE	46
2.4.11	IMPEDÂNCIA DE ENTRADA	48
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
3	<u>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</u>	50
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE EM EAS	51
3.1.1	A PRESENÇA DE FONTES NÃO INTENCIONAIS	51
3.1.2	A PRESENÇA DE FONTES INTENCIONAIS	52
3.1.3	ASPECTOS GLOBAIS	53
3.2	DEFINIÇÃO DE NORMAS: ARGUMENTO PRELIMINAR	55
3.3	NORMAS ADOTADAS	56
3.3.1	NORMALIZAÇÃO PARA SISTEMAS DE MEDIÇÃO	57
3.3.2	NORMALIZAÇÃO PARA PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO	58
3.3.3	NORMA IEC 60601-1-2: LIMITES PARA EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	59
3.3.4	NORMA ICNIRP 1998: LIMITES DE EXPOSIÇÃO PARA SERES VIVOS	65
3.4	QUESITOS ADOTADOS PARA A FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO	71
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
4	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	74
4.1	SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO	74
4.1.1	ANALISADOR DE ESPECTRO	74
4.1.2	SENSORES (ANTENAS)	78
4.2	SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO	80
4.2.1	MEDIDOR DE CAMPO MAGNÉTICO	80
4.3	SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÕES CONDUZIDAS	81
4.4	AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO EMPREGADOS	81
4.4.1	LIMITAÇÕES DO SISTEMA UTILIZADO E SUAS IMPLICAÇÕES	82
4.4.2	O SISTEMA IDEAL PARA MEDIÇÕES	83
4.5	PROTOCOLO DE MEDIÇÃO	83
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88

5	RESULTADOS	89
5.1	SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS	89
5.1.1	SISTEMATIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO	89
5.1.2	SISTEMATIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO	91
5.2	ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL FLORIANÓPOLIS	93
5.2.1	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	94
5.2.2	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	96
5.2.3	RESULTADO DA MEDIÇÃO DE RUÍDO CONDUZIDO	97
5.2.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	97
5.3	ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ	99
5.3.1	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	100
5.3.2	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	102
5.3.3	RESULTADO DA MEDIÇÃO DE RUÍDO CONDUZIDO	103
5.3.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	103
5.4	ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO	105
5.4.1	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	106
5.4.2	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	108
5.4.3	RESULTADO DA MEDIÇÃO DE RUÍDO CONDUZIDO	109
5.4.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	109
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	112
6.1	CONCLUSÕES QUANTO A INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA	113
6.2	CONCLUSÕES QUANTO A RISCOS BIOLÓGICOS	115
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	116
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
7.1	NORMAS TÉCNICAS	118
7.2	RESOLUÇÕES	120
7.3	PUBLICAÇÕES TÉCNICAS	121
7.4	ARTIGOS TÉCNICOS	122
8	ANEXOS	129

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E SUAS APLICAÇÕES.	17
FIGURA 2-2: ONDA TRANSVERSO ELETROMAGNÉTICA (TEM).	19
FIGURA 2-3: BALANÇO DE ENERGIA (TEOREMA DE POYNTING).	20
FIGURA 2-4: ELIPSE DE POLARIZAÇÃO.	21
FIGURA 2-5: TIPOS DE POLARIZAÇÃO.	22
FIGURA 2-6: ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA EMC.	24
FIGURA 2-7: CAMINHOS DE ACOPLAMENTO PARA EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS.	26
FIGURA 2-8: ABERTURAS DIMINUEM A EFICIÊNCIA DA BLINDAGEM.	30
FIGURA 2-9: DIAGRAMA DE RADIAÇÃO DE UM DIPOLO ELÉTRICO E SEUS PLANOS DE CORTE.	38
FIGURA 2-10: O FATOR DE ANTENA.	44
FIGURA 2-11: REGIÕES DE CAMPO NO ENTORNO DE UMA ANTENA.	47
FIGURA 3-1: FONTES ELETROMAGNÉTICAS EM UM AMBIENTE TÍPICO DE EAS.	54
FIGURA 3-2: CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO EM UM EAS.	55
FIGURA 3-3: RELAÇÃO ENTRE AS NORMAS ADOTADAS.	57
FIGURA 3-4: HIERARQUIA DAS NORMAS DE EMC PARA EEM NO BRASIL.	60
FIGURA 3-5: LIMITES DE CAMPO ELÉTRICO PARA EEM (NBR IEC 60601-1-2).	71
FIGURA 3-6: LIMITES DE RUÍDO CONDUZIDO PARA EEM (NBR IEC 60601-1-2).	72
FIGURA 3-7: LIMITES DE CAMPO ELÉTRICO PARA EXPOSIÇÃO DE SERES VIVOS.	72
FIGURA 3-8: LIMITES DE CAMPO MAGNÉTICO PARA EXPOSIÇÃO DE SERES VIVOS.	73
FIGURA 4-1: ANALISADOR DE ESPECTRO FSH-3 (RHODE & SCHWARTZ).	75
FIGURA 4-2: ANTENAS UTILIZADAS PARA MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO.	79
FIGURA 4-3: MEDIDOR DE CAMPO MAGNÉTICO ELT-400 (NARDA).	80
FIGURA 4-4: CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE UM AMBIENTE SOB TESTE DE EMISSÕES RADIADAS.	87
FIGURA 4-5: SIMULAÇÃO DE PROCEDIMENTO CLÍNICO.	87
FIGURA 4-6: SISTEMAS DE MEDIÇÃO.	88
FIGURA 4-7: DETALHE DO SISTEMA DE CONTROLE E DA MARCAÇÃO DA “GRADE”.	88
FIGURA 5-1: EXEMPLO DE CURVAS OBTIDAS PELA MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO.	90
FIGURA 5-2: EXEMPLO DE MAPEAMENTOS OBTIDOS PELA MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO.	92
FIGURA 5-3: AMBIENTE TÍPICO AVALIADO NO HOSPITAL FLORIANÓPOLIS (HF).	93
FIGURA 5-4: DISPOSIÇÃO DOS EEM NO INTERIOR DO AMBIENTE AVALIADO.	94
FIGURA 5-5: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HF PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	94
FIGURA 5-6: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HF PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	95
FIGURA 5-7: MAPEAMENTO DO HF PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	96

FIGURA 5-8: MAPEAMENTO DO HF PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	96
FIGURA 5-9: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DE RUÍDO CONDUZIDO NO HF.	97
FIGURA 5-10: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HF PARA OPERAÇÃO SEGURA DOS EEM.	98
FIGURA 5-11: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HF PARA EXPOSIÇÃO DOS SERES VIVOS.	98
FIGURA 5-12: AMBIENTE TÍPICO AVALIADO NO HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ (HRSJ).	99
FIGURA 5-13: DISPOSIÇÃO DOS EEM NO INTERIOR DO AMBIENTE AVALIADO.	100
FIGURA 5-14: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HRSJ PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	100
FIGURA 5-15: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HRSJ PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	101
FIGURA 5-16: MAPEAMENTO DO HRSJ PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	102
FIGURA 5-17: MAPEAMENTO DO HRSJ PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	102
FIGURA 5-18: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DE RUÍDO CONDUZIDO NO HRSJ.	103
FIGURA 5-19: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HRSJ PARA OPERAÇÃO SEGURA DOS EEM.	104
FIGURA 5-20: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HRSJ PARA EXPOSIÇÃO DOS SERES VIVOS.	104
FIGURA 5-21: AMBIENTE TÍPICO AVALIADO NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO (HU).	105
FIGURA 5-22: DISPOSIÇÃO DOS EEM NO INTERIOR DO AMBIENTE AVALIADO.	106
FIGURA 5-23: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HU PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	106
FIGURA 5-24: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO HU PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	107
FIGURA 5-25: MAPEAMENTO DO HU PARA AMBIENTE EM REPOUSO.	108
FIGURA 5-26: MAPEAMENTO DO HU PARA AMBIENTE EM OPERAÇÃO.	108
FIGURA 5-27: ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DE RUÍDO CONDUZIDO NO HU.	109
FIGURA 5-28: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HU PARA OPERAÇÃO SEGURA DOS EEM.	110
FIGURA 5-29: AVALIAÇÃO PERCENTUAL DO HU PARA EXPOSIÇÃO DOS SERES VIVOS.	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E SUAS CLASSIFICAÇÕES	18
TABELA 2-2: EXEMPLOS DE FONTES ELETROMAGNÉTICAS (EMISSORES)	24
TABELA 2-3: EXEMPLOS DE CAMINHOS DE ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO	25
TABELA 2-4: EXEMPLOS DE RECEPTORES ELETROMAGNÉTICOS	25
TABELA 2-5: SITUAÇÕES PARA ACOPLAMENTO ENTRE ANTENA RECEPTORA E ONDA INCIDENTE	43
TABELA 2-6: APROXIMAÇÕES PARA REGIÃO DE CAMPO DISTANTE	48
TABELA 3-1: PRESCRIÇÕES DE EMISSÕES PARA EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	64
TABELA 3-2: PRESCRIÇÕES DE IMUNIDADE PARA EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	64
TABELA 3-3: NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	70
TABELA 3-4: NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA EXPOSIÇÃO DE PÚBLICO GERAL	70
TABELA 4-1: RESUMO DAS PRINCIPAIS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS ADOTADAS	84

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
- AC** - CORRENTE ALTERNADA (do inglês - *Alternate Current*)
- AF** - FATOR DE ANTENA (do inglês - *Antenna Factor*)
- AM** - MODULAÇÃO EM AMPLITUDE (do inglês - *Amplitude Modulation*)
- ANATEL** - AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES
- ANEEL** - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
- ANSI** - *AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE*
- ANVISA** - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
- AR** - RAZÃO AXIAL (do inglês - *Axial Rate*)
- CC** - CENTRO CIRÚRGICO
- CISPR** - *COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES*
- DC** - CORRENTE CONTÍNUA (do inglês - *Direct Current*)
- DNA** - ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLÉICO (do inglês - *Deoxyribonucleic Acid*)
- EAS** - ESTABELECIMENTO ASSISTENCIAL DE SAÚDE
- EEM** - EQUIPAMENTO ELETROMÉDICO
- EHF** - FREQUÊNCIA EXTREMAMENTE ALTA (do inglês - *Extremely High Frequency*)
- ELF** - FREQUÊNCIA EXTREMAMENTE BAIXA (do inglês - *Extremely Low Frequency*)
- EMC** - COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (do inglês - *Electromagnetic Compatibility*)
- EMI** - INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (do inglês - *Electromagnetic Interference*)
- ERB** - ESTAÇÃO RÁDIO-BASE
- ESD** - DESCARGA ELETROSTÁTICA (do inglês - *Electrostatic Discharge*)
- FDA** - *FOOD AND DRUG ADMINISTRATION*
- FM** - MODULAÇÃO EM FREQUÊNCIA (do inglês - *Frequency Modulation*)
- HF** - FREQUÊNCIA ALTA (do inglês - *High Frequency*)
- HF** - HOSPITAL FLORIANÓPOLIS
- HRSJ** - HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ
- HU** - HOSPITAL UNIVERSITÁRIO (UFSC)
- ICNIRP** - *INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION*
- IEC** - *INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION*
- IEEE** - *INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS*

INIRC - *INTERNATIONAL NON-IONIZING RADIATION COMMITTEE*

IRPA - *INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION*

ISO - *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION*

LF - FREQUÊNCIA BAIXA (do inglês - *Low Frequency*)

LISN - REDE DE ESTABILIZAÇÃO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA (do inglês - *Line Impedance Stabilization Network*)

MDS - *MEDICAL DEVICES STANDARDS*

MF - FREQUÊNCIA MÉDIA (do inglês - *Medium Frequency*)

NBR - NORMA BRASILEIRA

OATS – TESTES EM LOCAL DE AMBIENTE ABERTO (do inglês - *Open Area Test Sites*)

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE

PMF - FATOR DE CASAMENTO DE POLARIZAÇÃO (do inglês - *Polarization Matching Factor*)

RF - RÁDIO FREQUÊNCIA

RI - RADIAÇÃO IONIZANTE

RNI - RADIAÇÃO NÃO-IONIZANTE

SAR - TAXA DE ABSORÇÃO ESPECÍFICA (do inglês - *Specific Absorption Rate*)

SHF - FREQUÊNCIA SUPER ALTA (do inglês - *Super High Frequency*)

TC 77 - COMITÊ TÉCNICO N^o 77 (do inglês - *Technical Committee n^o 77*)

TEM - MODO TRANSVERSO ELETROMAGNÉTICO (do inglês - *Transverse Electromagnetic Mode*)

TV - TELEVISÃO

UEC - UNIDADE ELETRO CIRÚRGICA DE ALTA FREQUÊNCIA

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

UHF - FREQUÊNCIA ULTRA ALTA (do inglês - *Ultra High Frequency*)

UNEP - *UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME*

UTI - UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO

VHF - FREQUÊNCIA MUITO ALTA (do inglês - *Very High Frequency*)

VLF - FREQUÊNCIA MUITO BAIXA (do inglês - *Very Low Frequency*)

VSWR - COEFICIENTE DE ONDA ESTACIONÁRIA (do inglês - *Voltage Standing Wave Ratio*)

WHO - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (do inglês - *World Health Organization*)

Capítulo I

1 INTRODUÇÃO

A crescente inserção de tecnologia eletroeletrônica em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), seja com equipamentos de monitorização e imagem, de diagnóstico ou até mesmo suporte vital, tem sido vista como a grande responsável pelo aumento dos níveis de energia eletromagnética emitidos ao ambiente hospitalar. Dessa forma, a energia eletromagnética liberada durante o funcionamento de um determinado conjunto de equipamentos, ligados à rotina hospitalar, pode atingir níveis críticos que tornam propício o aparecimento de dois fenômenos indesejados:

- *A interferência eletromagnética* em equipamentos eletromédicos;
- *Os riscos biológicos* em seres vivos.

Atualmente é possível identificar, tanto em âmbito nacional como internacional, diversos grupos de pesquisa que desenvolvem trabalhos nestas duas linhas, sempre com o objetivo de minimizar os efeitos relacionados a estes fenômenos. Grande parte desta preocupação deve-se, principalmente, ao fato de que as conseqüências oriundas destas situações podem ser irreversíveis e com repercussão direta na saúde de um ou mais indivíduos envolvidos neste contexto. Destaca-se que, em ambientes hospitalares, o impacto das emissões eletromagnéticas em fenômenos de interferência eletromagnética é notadamente mais freqüente e discutido, quando comparado aos efeitos biológicos. Entretanto, não se torna descartada a necessidade de uma investigação mais abrangente, que envolva também, as suas implicações sobre a saúde dos seres vivos. Assim, este trabalho versa sobre os dois aspectos em uma abordagem paralela, por acreditar que estes efeitos possam ser investigados e minimizados em um trabalho conjunto.

Para os casos em que o ambiente de um EAS apresenta níveis elevados de energia eletromagnética, nos quais os equipamentos eletromédicos (EEM) não foram projetados para operar, fica estabelecida uma situação que é altamente propícia ao aparecimento de fenômenos de **interferência eletromagnética** (EMI). Dentre os agravantes para a referida situação está a principal característica dos EEM que, por operarem com sinais de baixo

nível de tensão e corrente (típico em sinais provenientes do corpo humano), geralmente proporcionam uma baixa relação sinal/ruído nos seus circuitos de instrumentação. Assim, este aspecto contribui ainda mais para que as induções espúrias se tornem mais significativas e lesivas.

É importante ressaltar que, em se tratando de tecnologias aplicadas à área médica, a EMI pode submeter os pacientes a uma situação bastante delicada, uma vez que ela acaba por alterar não apenas a funcionalidade de um EEM, mas possivelmente, toda uma metodologia de tratamento ou diagnose. Como resultado, os pacientes ficam expostos a uma condição de risco crítica, onde os danos envolvidos podem ser efetivamente maiores do que a condição já estabelecida pela sua própria situação clínica. Com base nestas afirmações, torna-se evidente que a imunidade dos EEM em estabelecimentos voltados a saúde pública é fundamental para garantia da qualidade e da segurança nos serviços prestados a população.

De maneira análoga, quando o ambiente de um EAS apresenta níveis elevados de energia eletromagnética, nos quais pode existir a interação de campos eletromagnéticos com tecidos vivos, fica estabelecida uma situação que é propícia ao aparecimento de efeitos biológicos. Para estes casos, a maior preocupação dá-se no sentido de garantir a segurança de profissionais e pacientes quanto aos possíveis **riscos biológicos** provenientes da exposição excessiva aos campos eletromagnéticos.

Na literatura técnica existem diversos estudos que versam sobre a definição de limites seguros para exposição de seres vivos aos campos eletromagnéticos. Por outro lado, as evidências concretas baseadas em pesquisas reprodutíveis sobre a ocorrência de riscos biológicos necessitam de certo tempo para serem estabelecidas, e assim, contribuem para a polêmica do assunto e dão margem a uma série de especulações infundadas. Portanto, com o intuito de preservar a saúde dos profissionais e pacientes envolvidos em um EAS, torna-se justificada a necessidade de avaliação, com rigor científico, dos níveis de campo eletromagnético estabelecidos nestes ambientes, e a observância aos limites requeridos pelas regulamentações competentes.

1.1 OBJETIVO

Pautados nos argumentos acima mencionados, define-se o objetivo deste trabalho, no sentido de **caracterizar os ambientes eletromagnéticos encontrados em EAS quanto aos seus aspectos de compatibilidade eletromagnética**. Tal caracterização é realizada

por meio de medições *in loco* das grandezas eletromagnéticas envolvidas nestes meios (campos elétricos, campos magnéticos, ruídos conduzidos), principalmente em setores de grande inserção tecnológica, como por exemplo, os centros cirúrgicos (CC).

1.2 MOTIVAÇÃO

Existem muitas razões para a medição das emissões provenientes de um ou mais equipamentos. Segundo a norma IEEE Std. 139 [N19], os interesses nessas realizações estão voltados para tarefas como:

- Determinar se os equipamentos respeitam as prescrições dos órgãos reguladores que possuam jurisdição local ou nacional sobre as emissões eletromagnéticas;
- Avaliar um equipamento suspeito por causar ou sofrer EMI;
- Determinar se o ambiente é favorável ao funcionamento adequado dos equipamentos;
- Determinar se o nível das emissões pode exceder aos limites seguros para exposição de seres vivos.

Não é difícil encontrar na literatura técnica uma série de estudos que tangem estes quatro aspectos em destaque. Com relação aos ambientes clínicos, tanto em âmbito nacional como internacional, as pesquisas que envolvem medições de grandezas eletromagnéticas têm fundamental importância no intuito de identificar e quantificar as principais fontes de energia que tornam o ambiente de um EAS hostil do ponto de vista eletromagnético. Em função do grande desenvolvimento de suas áreas, mostram-se em evidência os trabalhos referentes à energia emitida por EEM, por equipamentos de telefonia móvel, por rádios FM e, também, por sinais de TV. Todos estes se destacam como fontes de interferência eletromagnética em potencial.

O estudo aqui realizado é parte complementar destas pesquisas, e trabalha para a busca de soluções que foram suprimidas ou simplesmente ignoradas [P17] durante todo este período de avanço tecnológico. A proposta que se segue, vem no sentido de apresentar uma abordagem científica para o levantamento do ambiente eletromagnético em EAS, a fim de diagnosticar as suas características de comportamento. A partir do referido levantamento torna-se viabilizada a verificação das reais condições de operação dos EEM e de trabalho a que os profissionais da área médica e os pacientes estão submetidos diariamente durante a rotina hospitalar. Contudo, é possível sistematizar todo este

conhecimento de modo a subsidiar uma abordagem mais incisiva no combate aos fenômenos indesejados nestes ambientes (EMI e risco biológico), permitindo a adoção de políticas que visam a segurança pessoal e de procedimentos técnicos, além de orientar a tomada de ações que minimizem os riscos decorrentes da exposição indevida à energia eletromagnética.

Cabe ressaltar que o caráter particular do diagnóstico realizado em cada um dos EAS avaliados por esta pesquisa é um fator estimulante para definição de um programa de gestão da EMC específico em cada EAS. Decorre justamente desta exclusividade o critério de “adequação ao uso” das ações a serem implementadas no EAS, constituindo assim, uma poderosa ferramenta para solução direcionada dos problemas apresentados.

Em uma analogia com a área médica, pode-se dizer que os fenômenos de EMI que vêm sendo apresentados pelos EEM são sintomas de uma enfermidade na qual, a partir de exames complementares, pretende-se formular um diagnóstico que permita identificar o tratamento adequado para a solução do problema em específico, e direcioná-lo à situação de cada paciente (no caso, o ambiente avaliado).

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por um total de 6 (seis) capítulos. O presente capítulo introduz os objetivos e a motivação para realização deste trabalho, além de retratar, em Estado da Arte (seção 1.4), as principais pesquisas que versam sobre este escopo.

O Capítulo II aborda os conceitos teóricos fundamentais da teoria eletromagnética, dos fenômenos de ondas e propagação, e ainda, dos aspectos teóricos em relação à EMC e o estudo de antenas. Assim, fica solidificada a teoria clássica que sustenta todo o embasamento científico que tange os conceitos gerais abordados nesta obra.

O Capítulo III introduz os aspectos teóricos que estão diretamente aplicados no desenvolvimento deste trabalho. Nele são definidas as principais características eletromagnéticas que se encontram presentes em um ambiente clínico típico, delimitando claramente o problema em mãos. Além disso, são apresentadas e discutidas as normas técnicas passíveis de serem inseridas neste contexto, de modo a finalizar os conceitos teóricos abordado na pesquisa e subsidiar o entendimento para as questões aplicadas.

O Capítulo IV apresenta e discute os sistemas de medição empregados na realização prática desta pesquisa. Uma avaliação crítica, sobre seus aspectos técnicos e implicações, é apresentada no intuito de melhor caracterizar e interpretar os resultados obtidos nas

medições. Além disso, o capítulo ainda apresenta o método utilizado para aquisição dos dados, bem como o protocolo desenvolvido para realizar as medições necessárias.

Todos os resultados das medições realizadas neste trabalho são apresentados pelo Capítulo V. Com base nestes resultados, o capítulo traz ainda uma avaliação específica para cada um dos EAS investigados, destacando os seus pontos críticos.

Por fim, o Capítulo VI realiza o fechamento desta obra, apresentando uma avaliação global e concisa dos resultados obtidos, com a realização uma breve discussão e conclusão.

1.4 ESTADO DA ARTE

1.4.1 Para Estudos de Interferência Eletromagnética em EEM

Embora existam relatos datados do início do século XIX (devido à invenção do telégrafo, do telefone e do rádio), os problemas de compatibilidade eletromagnética foram claramente observados durante a Segunda Guerra Mundial, com o uso mais freqüente de equipamentos eletrônicos, principalmente em rádios, dispositivos de navegação e radar. A problemática foi intensificada nas décadas seguintes. Durante os anos 50, o transistor bipolar, na década de 60, o circuito integrado, e na década de 70, com o surgimento dos microprocessadores, a utilização do espectro de freqüências passou a aumentar significativamente. A introdução dos processadores digitais de sinais permitiu o rápido avanço e a proliferação dos dispositivos eletrônicos geradores de emissão eletromagnética (computadores, telefones celulares, antenas de comunicação) e, a partir de então, os cientistas e a sociedade em geral passaram realmente a se preocupar com este tema.

Em 1979, a *Food and Drug Administration* (FDA) publicou a primeira norma para tratar da interferência eletromagnética em equipamentos médicos, intitulada “*Electromagnetic Compatibility Standard for Medical Devices – MDS 201-0004*”, que restringia os limites para emissões radiadas e conduzidas ao ambiente.

A partir de então, diversos trabalhos passaram a versar sobre problemas de EMI em equipamentos médicos. Um dos trabalhos de maior impacto foi o denominado “*Performance Degradation of Electronic Medical Devices Due to Electromagnetic Interference*”, publicado por Silberberg em 1993 [P56]. Neste documento, foram apresentadas mais de uma centena de casos no que tange a EMI em equipamentos médicos, embasadas pelos relatórios recebidos pelo FDA dentre os anos de 1979 até 1993.

A partir de 1993, após o relato de Silberberg, a evidência de efeitos indesejáveis no tocante à EMI despertou o interesse de diversos grupos de pesquisa na busca de

investigações mais abrangentes sobre este escopo. Embora alguns trabalhos já tivessem abordado o assunto de maneira superficial, inúmeros grupos de pesquisa passaram a voltar seu interesse para os ambientes hospitalares, e a discussão se intensificou bastante em meados da década de 90. Nesta época, formou-se o consenso de que a investigação do comportamento eletromagnético do ambiente hospitalar forneceria informações importantes para compreender e controlar pro-ativamente a EMI em EEM. Apesar de demandar tempo e alto custo de equipamento, o estudo de análise espectral do ambiente em EAS foi estabelecido como a principal ferramenta para identificar os agentes causadores de EMI em potencial. Assim, estes trabalhos têm sido designados para subsidiar programas de gestão tecnológica que visam garantir a segurança na operação dos EEM.

Dentre os principais grupos de pesquisa, e também um dos pioneiros, no que tange assuntos de EMC em ambientes hospitalares, destaca-se o grupo sediado no *Texas Children's Hospital*, EUA, com os trabalhos de Paperman e David. Desde 1991, culminando com uma publicação inicial em 1994 [P54], este grupo tem sido um dos líderes no desenvolvimento de políticas e procedimentos para suprimir os efeitos da EMI em ambientes hospitalares. Seus trabalhos identificaram os próprios equipamentos médicos como uma importante fonte de energia eletromagnética presente no ambiente hospitalar. Em 1996 [P53], Paperman apresentou as metodologias desenvolvidas por seu grupo para o levantamento dos padrões (espectro de frequência) de emissão eletromagnética radiada proveniente dos equipamentos (denominada *Fingerprinting*), assim como, para o levantamento dos padrões de emissão já presentes no ambiente hospitalar (denominada *Footprinting*). A partir de então, David [P28] e Paperman [P52] passaram a cruzar os dados de *Fingerprinting* e *Footprinting* para gerenciar a EMI no ambiente hospitalar, e obtiveram resultados bastante satisfatórios.

Seguindo a mesma linha dos trabalhos supracitados, e também com intuito de avaliar a influência dos EEM no ambiente hospitalar, o grupo da *North Dakota State University*, identificou a unidade eletrocirúrgica de alta frequência (UEC) como um dos principais agentes causadores de EMI [P49]. Nestes trabalhos, publicados por Nelson e Ji, foram realizadas verificações detalhadas das emissões radiadas originadas pela UEC em um centro cirúrgico típico [P50]. As medições ocorreram para a UEC operando em potências máxima e média, além de avaliar os padrões de emissão radiada enquanto estes instrumentos operavam em três diferentes modos: corte, coagulação e *blend* (misto).

Os estudos de Nelson e Ji, relacionados à UEC, foram complementados com os trabalhos da *Army EMC Agency*, da Índia. Em sua publicação [P17], o coronel Bandopadhyay e o major Varkey realizaram tanto a medição das emissões radiadas quanto das conduzidas originadas por este equipamento, enquanto ele operava no ambiente hospitalar. Por fim, este trabalho também demonstrou a degradação do sinal de um eletrocardiógrafo devido a sua operação simultânea com a UEC.

O grupo de pesquisas da *McGill University*, do Canadá, também merece lugar de destaque no tocante aos assuntos de EMC ligados ao ambiente hospitalar. Além de ser um dos pioneiros neste escopo, este grupo tem realizado contribuições bastante significativas para o entendimento do comportamento eletromagnético do ambiente em EAS. Este grupo é talvez o que possui maior volume de publicações na área, sob os trabalhos de Boisvert, Vlach, Davis, Segal e Pavlasek. Seus trabalhos foram responsáveis pela identificação da influência de fontes externas ao hospital, principalmente das relacionadas aos sistemas de comunicação como estações de rádio, TV, telefonia celular e *walkie-talkies*, na caracterização do ambiente eletromagnético de EAS. Os primeiros trabalhos de maior impacto do grupo canadense foram os de Boisvert [P21], em 1991, e Vlach [P65], a partir de 1994, que ao verificarem a influência dos sinais de TV e Rádio FM no ambiente hospitalar desenvolveram uma linha de pesquisa que comparava a predição do ambiente, através de técnicas computacionais, com medições realizadas em ambientes hospitalares. Em 1997, com outra publicação de Vlach [P63], os estudos deste grupo se voltam principalmente para investigação de emissões radiadas na faixa de telefonia celular.

Uma das contribuições mais importantes do grupo da *McGill University* foi trazida pelos estudos publicados por Davis, a partir de 1997 [P33] [P34]. Nestes trabalhos, além de identificar os telefones celulares e *walkie-talkies* como fonte de risco em potencial, Davis, também demonstrou a substancial variação temporal que existe no comportamento eletromagnético do ambiente hospitalar. Tal demonstração foi obtida através da medição contínua do espectro de frequências do ambiente, durante um período superior a quatro dias consecutivos.

Por volta de 1999, os estudos da *McGill University* passaram a buscar soluções para minimizar a EMI provocada pela telefonia móvel (telefone celular e *walkie-talkie*) utilizando o critério de separação mínima e de zonas de restrição ao uso destes equipamentos [P31]. Desde então, observa-se um grande volume de trabalhos que versam

sobre a propagação das emissões eletromagnéticas no interior de hospitais, todos na faixa de frequências da telefonia móvel ([P29] [P30] [P32] [P64]).

Outro grupo de destaque, também atuante na linha de estudos sobre telefonia celular, foi criado com a parceria entre a *Toshiba Medical Engineering* e a *Jikei University School of Medicine*, do Japão. Nestes trabalhos, Baba [P15] e Furuhata [P36] contribuem para estudos que visam o critério de separação mínima e o estabelecimento de zonas de restrição ao uso de telefones celulares. Seus estudos deram-se tanto em ambiente controlado (câmaras anecóicas) quanto em hospitais, com a investigação do comportamento de atenuação dos campos elétricos em função da distância da fonte, e também, uma avaliação da imunidade de diversos EEM na presença do telefone celular. Com base nos fenômenos de EMI observados neste estudo, as ocorrências foram classificadas segundo uma análise de risco, que serviu como base para o estabelecimento de zonas de restrição.

Além dos já mencionados, outros grupos de pesquisa também já demandaram esforços no intuito de levantar informações sobre o comportamento eletromagnético em diversos hospitais ao redor do mundo. Na *University of Pensilvânia*, EUA, Arnofsky [P13] realizou medições de campo elétrico em áreas como centros-cirúrgicos, unidade de terapia intensiva e sala de emergência, em três diferentes hospitais. Na *Memorial University of Newfoundland*, Canadá, Young [P66] realiza um trabalho semelhante para levantar o ambiente eletromagnético estabelecido em um hospital. Em ambos os trabalhos os autores destacam a influência dos sinais de telefonia celular. Na *Mahidal University*, Tailândia, Phaiboon [P55] realizou estes estudos em dois diferentes hospitais e constatou mais uma vez a presença dos sinais de rádio, TV, celular e *walkie-talkie*. Na *Winchester Engineering and Analytical Center*, nos EUA, Boivin [P22] e Boyd [P23] realizaram um mapeamento das áreas críticas no interior de um hospital, incluindo medições durante procedimentos cirúrgicos em andamento. Como estes estudos foram em banda larga (*Broad-Band*) e sem análise espectral, estas informações servem apenas para identificação dos “pontos quentes” no interior do hospital e não são parâmetros¹ para definição de um gerenciamento efetivo da EMI.

¹ As principais normas internacionais de EMC em vigor definem seus limites para medições em faixa estreita (*narrow band measurements*), que são obtidas por instrumentos que possuem seletividade dentro da sua faixa de frequência de operação (i.e. receptores de campo “*receiver*” ou analisadores de espectro). Os medidores de campo simples (*broad-band*), em geral são inadequados para esta verificação de conformidade.

No Brasil, a preocupação no tocante à EMC voltada para equipamentos médicos e ambientes hospitalares é relativamente nova, embora atualmente alguns grupos de trabalho já demandem um esforço considerável nessa linha de pesquisa.

Para o nosso conhecimento, os primeiros trabalhos nesse sentido ocorreram por volta de 1998 na *Universidade Federal de Santa Catarina*, com as publicações de Guimarães [P38]. Nesta pesquisa, Guimarães alerta para a possibilidade de EMI provocada pelos EEM, em específico a UEC. A investigação de emissões provenientes de EEM continuou com Travassos [P61], em publicações que datam de 2002. Também neste ano, as preocupações deste grupo estendem-se para o ambiente hospitalar com o trabalho intitulado “*Estudo de Metodologia para o Levantamento dos Ambientes Eletromagnéticos em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde*” [P62]. Em território nacional, esta foi a primeira apresentação envolvendo a análise espectral em EAS, cujo desenvolvimento deu origem à presente pesquisa.

Outro grupo nacional de suma importância para estudos de compatibilidade eletromagnética em equipamentos médicos é o sediado na *Universidade Estadual de Campinas*. Com os trabalhos de Cabral, este grupo foi o pioneiro na investigação de problemas de EMI em ambiente hospitalar [P24]. O foco de suas pesquisas é voltado principalmente para estudos de EMI provocados por telefonia celular ([P2] [P25]), em um trabalho minucioso que avalia o comportamento dos campos eletromagnéticos provenientes destas fontes e o seu impacto em uma série de EEM.

Na mesma linha de pesquisa, alguns estudos complementares, para verificação da imunidade de EEM frente aos telefones celulares em hospitais foram apresentados pelo grupo da *Pontifícia Universidade Católica do Paraná*, sob os trabalhos de Nogueira [P51] e Gomes [P37], em 2002.

Por fim, é possível observar um grande interesse na discussão dos aspectos de EMC em ambientes clínicos. A demanda de requisições voltadas a este escopo por acadêmicos de todo país é enorme, sobretudo em nível de graduação para trabalhos de conclusão de curso. Esta demonstração evidencia um número cada vez maior de profissionais que passam a se preocupar com o tema, e aumenta a responsabilidade da academia no tocante ao desenvolvimento de novas pesquisas na área.

1.4.2 Para Estudos de Riscos Biológicos em Seres Vivos

Os estudos da ação de campos elétricos, magnéticos e ondas eletromagnéticas em seres vivos tiveram origem durante o século XVIII, mas apenas na década de 40, após a Segunda Guerra Mundial, começaram a aparecer os primeiros trabalhos com mais rigor científico sobre este escopo [P59]. Em 1977, a *International Radiation Protection Association (IRPA)* consolidou o *International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC)*, com o objetivo de desenvolver programas de proteção e realizar a avaliação dos problemas de saúde ocasionados pela exposição dos seres vivos à radiação de radiofrequências (RF).

Mais tarde, em cooperação com a divisão de saúde ambiental da *World Health Organization (WHO)*, a *IRPA / INIRC* elaborou uma série de documentos, sobre os aspectos de radiação não-ionizante, para o desenvolvimento do “*Programa de Critérios para Saúde Ambiental*”, patrocinado pelas Nações Unidas (*United Nations Environment Programme – UNEP*) [N7].

Em meados da década de 80, com o avanço e a proliferação dos dispositivos eletrônicos e geradores de emissão eletromagnética (computadores, telefones celulares, antenas de comunicação), os cientistas e a sociedade em geral passaram realmente a se preocupar com este tema [P7]. Assim, os relatórios da *UNEP/WHO/IRPA*, com as sucessivas publicações de 1984, 1987 e 1993, passaram a sistematizar todos os avanços da comunidade científica quanto ao estabelecimento de efeitos biológicos comprovados.

Durante o ano de 1992, uma nova organização científica independente, a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*, foi eleita como a sucessora da *IRPA / INIRC* para investigação de riscos associados com as diferentes formas de radiação não-ionizante.

É difícil definir quais são os principais grupos que trabalham nesta linha de pesquisa, principalmente pelo fato destes trabalhos abrangerem diversas áreas do conhecimento. A abordagem multidisciplinar observada sobre este escopo transpassa ora pelo lado das ciências exatas, com estudos de engenharia, ora pelo lado das ciências biológicas, com estudos de biologia e medicina. A maior contribuição de trabalhos com este escopo é, sem dúvida, proporcionada pela área ciências biológicas, com estudos de epidemiologia, estudos *in vivo* (cobaias animais), estudos *in vitro* (tecido vivo em laboratórios), estudos dosimétricos e em voluntários (seres humanos). O conhecimento obtido com todos estes trabalhos forma a base, geralmente sistematizada por organismos competentes (como a

ICNIRP) e agências reguladoras, para a definição de evidências reprodutíveis de riscos biológicos, e por consequência, a determinação de limites seguros para exposição de seres vivos. É notável o grande volume de trabalhos com rigor científico em que se baseiam as normas relativas a este tema. No entanto, o fato destas pesquisas demandarem certo tempo e esforço considerável acaba, infelizmente, por abrir espaço para especulações sem embasamento científico e discussões sensacionalistas.

Em 1993, por exemplo, a influência de campos eletromagnéticos em seres humanos entrou definitivamente para discussão pública, quando um homem alegou em um programa popular de TV, nos EUA, que o câncer de cérebro de sua esposa foi causado pela utilização do telefone celular [P46]. O processo foi arquivado em 1995 por falta de evidência médica para a alegação, mas a partir de então, as especulações sobre câncer devido à exposição aos campos eletromagnéticos nos tribunais e na mídia continuam.

Portanto, nesta temática, as principais contribuições das pesquisas em engenharia vêm no sentido de identificar, policiar e verificar as reais condições de exposição que são apresentadas pelos campos eletromagnéticos em ambientes de risco potencial, como próximos a estações rádio-base (ERB) [P47], linhas de transmissão ([P14] [P48]), telefones celulares ([P35] [P58] [P46]), setores industriais e, também, hospitais. Neste sentido, em 2003, Wollinger realizou estudos que avaliam o nível de intensidade de campo elétrico em pontos distintos do ambiente urbano, por meio de uma série de medições [P11]. Através de um mapeamento dos sinais urbanos, seus estudos identificaram os sinais de FM e TV como os mais críticos, tanto pela intensidade de campos observada nesta faixa, quanto por ser a faixa de frequências em que há a maior absorção de energia pelo corpo humano.

1.4.3 Aspectos de Continuidade das Pesquisas

Além de todo conjunto de trabalhos apresentados neste capítulo, nota-se que desde 2003 a área de EMC para EEM vem ganhando força em território nacional. Incentivados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), tem sido desenvolvida, durante o ano de 2006, a formação de redes interinstitucionais de ação conjunta, para a realização de debates no que tangem a solução de problemas de EMC em ambientes e equipamentos médico-hospitalares, bem como a avaliação dos efeitos destas emissões em seres humanos – exatamente o escopo deste trabalho. Em um de seus projetos, é pretendida a avaliação do ambiente eletromagnético em diversos EAS, com o intuito de desenvolver uma cartilha de orientação aos engenheiros clínicos no combate da EMI nestes ambientes.

Capítulo II

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conteúdo deste capítulo foi cuidadosamente definido para que fosse possível ao leitor o bom entendimento das questões relativas ao trabalho desenvolvido. Muitos dos temas aqui revisados de maneira sucinta tratam-se de formulações clássicas no estudo da engenharia, entretanto, eles são os fundamentos de toda a proposta da pesquisa aqui desempenhada. Desta forma, julga-se imprescindível o entendimento e a afinidade com a teoria de eletromagnetismo e, por conseguinte, com os fenômenos de ondas eletromagnéticas. A todo instante, seja na apresentação, discussão e na conclusão deste trabalho, estes princípios fundamentais estarão regendo as propostas realizadas e margeando as ações tomadas na área da compatibilidade eletromagnética.

2.1 FUNDAMENTOS DE ELETROMAGNETISMO

Para o entendimento das questões relacionadas à compatibilidade eletromagnética, o escopo principal deste trabalho, é necessário que o conhecimento da teoria de cálculo de campos esteja bem solidificado. Tal teoria implica em uma grande afinidade com cálculo vetorial e equações diferenciais que formam a base da teoria eletromagnética. Para tanto, a teoria de eletromagnetismo é aqui apresentada de maneira sucinta destacando-se que embora ela possa ser de grande complexidade matemática, em razão da sua pesada carga de cálculo vetorial e equações diferenciais, possui um formalismo extremamente simples. Embasados por este simples formalismo, serão desenvolvidos os conceitos fundamentais para o estudo da compatibilidade eletromagnética sob seu ponto de vista físico e, dessa forma, suprimir na medida do possível, a carga matemática em sua essência. Entretanto, cabe aqui ressaltar que embora a teoria do eletromagnetismo seja de grande simplicidade conceitual, certos problemas gerados pelas situações físicas associadas às equações que formam a base da teoria eletromagnética podem ser de grande complexidade, e muitos deles continuam sem solução, sendo ainda objeto de pesquisas [P1].

As equações que descrevem a natureza completa dos parâmetros de todos os fenômenos eletromagnéticos macroscópicos são regidas por quatro postulados denominados equações de Maxwell. Estas equações lineares no tempo e espaço são apresentadas em termos de cálculo diferencial e podem ser encontradas facilmente na literatura técnica ([P1] [P4] [P5] [P6] [P8]). Elas receberam tal denominação em homenagem ao físico escocês James Clark Maxwell (1831-1879) que, baseado nos trabalhos de Ampère, Gauss e Faraday, elaborou sua teoria de modo a unificar sob quatro equações os diferentes estudos de seus predecessores [P1]. Portanto, a partir desta unificação, as equações de Maxwell passaram a simbolizar a síntese das relações das grandezas eletromagnéticas, bem como suas manifestações, para formar a base da teoria eletromagnética atual. Apresentam-se aqui as quatro equações que regem o princípio do eletromagnetismo em sua forma diferencial (local):

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{(LEI DE FARADAY)} \quad 2-1$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{(LEI DE AMPÈRE)} \quad 2-2$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad \text{(LEI DE GAUSS)} \quad 2-3$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{(LEI DE GAUSS DO MAGNETISMO)} \quad 2-4$$

A interpretação física para cada uma destas equações é aqui sucintamente discutida. A noção conceitual destes princípios eletromagnéticos fundamentais é de suma importância para a presente pesquisa e, portanto, deve estar bem assimilada, conforme a abordagem procedida a seguir.

Lei de Faraday: A variação temporal da indução magnética (fluxo magnético) é capaz de criar um campo elétrico rotacional. O sinal negativo é referente à Lei de Lenz e significa que o sentido do fluxo produzido tende a se opor à variação de fluxo que a originou.

Lei de Ampère: A variação temporal da indução elétrica (fluxo elétrico) e/ou uma densidade de corrente elétrica são capazes de criar um campo magnético rotacional. A densidade corrente \vec{J} está associada ao termo definido por corrente de condução \vec{J}_c , assim como, ao termo \vec{J}_s que representa a corrente imposta (entendida como sendo uma fonte primária dos campos originados) [P5]. Sua associação pode ser expressa por $\vec{J} = \vec{J}_c + \vec{J}_s$.

Lei de Gauss: O fluxo divergente de indução elétrica é proporcional à densidade volumétrica de carga contida em um determinado volume no espaço e, portanto, não é conservativo. Desta forma, é possível conceber volumes no espaço onde existe uma variação entre os fluxos elétricos que entram e saem da sua superfície [P1]. A densidade volumétrica de carga, representada por ρ , também é considerada uma fonte primária dos campos originados.

Lei de Gauss do Magnetismo: O fluxo divergente de indução magnética que entra em um determinado volume no espaço é idêntico ao que sai do mesmo e, portanto, é conservativo [P1]. Isto demonstra que todas as linhas de indução magnética formam caminhos fechados, pois não existem fontes isoladas de indução magnética.

As grandezas envolvidas pelas equações de Maxwell não levam em consideração as características dos meios onde os campos atuam. Assim, para determinar completamente o problema, faz-se necessário a utilização das relações constitutivas do meio material envolvido. Em meios comuns (linear, homogêneo e isotrópico) as propriedades físicas do meio material relacionam os campos vetoriais de acordo com as seguintes expressões:

$$\vec{B} = \mu\vec{H} \quad 2-5$$

$$\vec{D} = \epsilon\vec{E} \quad 2-6$$

$$\vec{J}_c = \sigma\vec{E} \quad 2-7$$

De particular interesse a este trabalho, está a teoria da radiação² e propagação eletromagnética, que é uma implicação direta das relações estabelecidas pelas leis de Maxwell.

Como exemplo, seja um meio qualquer onde se encontra uma carga ou um conjunto de cargas elétricas. Da teoria de eletrostática, sabe-se que na região do espaço ao redor destas cargas, dentro da qual elas possuem poderes de ação, fica estabelecido o efeito de um campo elétrico. Tal afirmação pode ser perfeitamente traduzida pela expressão definida pela Lei de Gauss, visto que a densidade de cargas contida nesta região é a fonte primária de

² Alguns autores costumam utilizar o termo irradiação ao invés de radiação eletromagnética. Neste trabalho adotou-se o termo radiação, baseado no dicionário Houassis da Língua Portuguesa, que define radiação como sendo: “O ato ou efeito de radiar; emissão de energia por meio de ondas ou partículas; a energia emitida”.

campo elétrico. Portanto, conclui-se que a formação do campo elétrico é decorrência direta da existência de cargas elétricas.

Por outro lado, seja o mesmo conjunto de cargas elétricas discutidos anteriormente sob o seu aspecto estático. Entretanto, considera-se agora que por algum estímulo qualquer é imposta a movimentação no espaço deste conjunto de cargas. Pela teoria da eletrodinâmica, sabe-se que o movimento ordenado de cargas elétricas (corrente elétrica) em uma determinada direção estabelece um efeito de campo magnético ao seu redor. Tal afirmação é representada pela expressão definida na Lei de Ampère. Ao relembrar que $\vec{J} = \vec{J}_c + \vec{J}_s$, pode-se inferir que a corrente imposta \vec{J}_s é a fonte primária de campo magnético. Logo, conclui-se que a formação de campo magnético é decorrência direta da existência do movimento de cargas elétricas.

É importante notar que os dois efeitos supracitados, campo elétrico e campo magnético podem ocorrer de forma complementar. Um meio com cargas elétricas livres, submetidas a um campo elétrico, permite a movimentação destas cargas transferindo energia de um ponto a outro. A variação do movimento destas cargas provoca a formação de um campo magnético variável, além do surgimento de novas cargas devido ao seu deslocamento. Por sua vez, o surgimento de novas cargas provoca a formação de um campo elétrico variável e, dependendo do meio, permite o deslocamento das novas cargas resultando em mais transferência de energia.

Portanto, como consequência deste efeito combinado, tem-se a propagação de energia eletromagnética entre dois pontos no espaço, de modo que um campo elétrico variável produz um campo magnético variável, que por sua vez produz um campo elétrico variável e assim sucessivamente, sob a forma de uma onda eletromagnética [P4]. Este fenômeno, também é conhecido como radiação eletromagnética e pode se propagar independentemente da presença de cargas elétricas.

2.2 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Conforme discutido anteriormente, as ondas eletromagnéticas são meios eficientes para o transporte de energia ou informação. As ondas eletromagnéticas foram inicialmente investigadas por Heinrich Hertz que, após vários cálculos e experimentos, conseguiu êxito na geração e detecção de ondas de rádio. Como forma de homenagear seu investigador pioneiro, estas ondas também são conhecidas como ondas hertzianas [P8]. De fato, pela noção física discutida anteriormente, as ondas eletromagnéticas já eram previstas pelas

equações de Maxwell. É possível derivar a equação vetorial de onda em uma simples demonstração. Para tanto, considera-se que os campos eletromagnéticos possuem variação temporal harmônica (senoidal) em uma frequência ($\omega = 2\pi f$), onde é conveniente utilizar a seguinte notação fasorial:

$$f(t) \leftrightarrow F(s) \Big|_{s=j\omega} = F(j\omega) \quad 2-8$$

$$f(t) = A \cos(\omega t + \phi) \leftrightarrow F(s) = A e^{j\phi} = A \angle \phi \quad 2-9$$

A derivada da função no tempo pode ser representada no domínio da frequência por:

$$\frac{\partial f(t)}{\partial t} \leftrightarrow j\omega F(s) \quad 2-10$$

Reescreve-se a equação 2-2, Lei de Ampère, sabendo-se que $\vec{J} = \vec{J}_c + \vec{J}_s$:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c + \vec{J}_s + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Utilizando as relações constitutivas 2-6 e 2-7, tem-se:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \vec{J}_s + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

E por fim, é aplicada a transformada dada por 2-10 para obter a Lei de Ampère para meios comuns (linear, homogêneo e isotrópico) sob a forma fasorial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = (\sigma + j\omega\varepsilon) \vec{E} + \vec{J}_s \quad 2-11$$

Também é reescrita a equação 2-1, da Lei de Faraday para meios comuns na forma fasorial, utilizando a relação construtiva do meio 2-5 e a relação 2-10:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu \vec{H} \quad 2-12$$

Aplicando o operador rotacional ($\vec{\nabla} \times$) em ambos os lados da equação 2-12 tem-se:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -j\omega\mu (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \quad 2-13$$

Com o auxílio de uma identidade vetorial, e finalmente, substituindo a equação 2-11 em 2-13 chega-se à expressão:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon) \vec{E} = -j\omega\mu \vec{J}_s \quad 2-14$$

Esta equação é conhecida como a equação vetorial de onda para campo elétrico, ou equação vetorial de Helmholtz [P8]. Aplicando a transformada inversa dada por 2-10, reescreve-se a equação vetorial de onda no domínio do tempo como:

$$\vec{\nabla} \times \frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\frac{\partial \vec{J}_s}{\partial t} \quad \text{(EQUAÇÃO DE ONDA)} \quad 2-15$$

As ondas eletromagnéticas respeitam todas as leis que regem a teoria dos fenômenos ondulatórios em geral. As características de reflexão, refração, difração, superposição (ou interferência) construtiva e/ou destrutiva, inversão ou não de fase, podem ser perfeitamente observadas em seu comportamento e são, portanto, fatores inerentes ao presente estudo. Estas ondas viajam em alta velocidade, que a rigor é função do meio material envolvido e, dependendo da sua frequência são capazes de vencer vários obstáculos físicos, tais como gases, atmosfera, água, paredes, superfícies condutoras, dentre outros. O tipo de propagação exercida pela onda, terrestre (de superfície), ionosférica (indireta) ou troposférica (direta), também é basicamente dependente da sua frequência de oscilação. O espectro eletromagnético é dividido em frequências conforme ilustra a Figura 2-1.

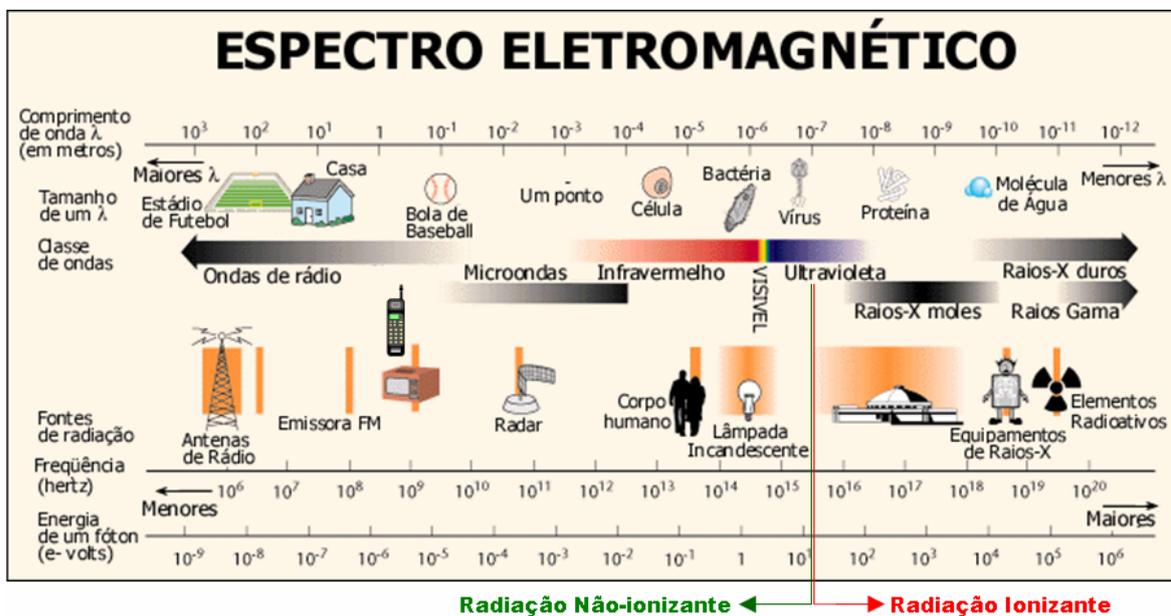


Figura 2-1: Espectro Eletromagnético e suas Aplicações. (Adaptado de [P9])

A Tabela 2-1 apresenta a classificação do espectro eletromagnético, na faixa de ondas de rádio e microondas, de acordo com a frequência e o comprimento de onda, além de trazer algumas aplicações. O interesse maior desta pesquisa é voltado principalmente para a faixa de frequências apresentada pela Tabela 2-1, ou seja, ondas de rádio e microondas. Com exceção das ondas de baixa frequência, a característica de propagação destas ondas pode ser considerada direta (ondas espaciais ou troposféricas) e, portanto, seu estudo pode ser aproximado por um comportamento de propagação bastante conhecido. Desta forma, a partir deste momento, a presente pesquisa será direcionada para o tipo mais simples de ondas e propagação, denominadas *ondas planas e uniformes*. A discussão que segue é particularmente interessante não apenas pela sua simplicidade, mas também

consiste no fato de que a propagação de ondas em linhas de transmissão ou de ondas propagadas por antenas pode ser satisfatoriamente representada por esta aproximação [P5]. Mais adiante será mostrado que ambos os casos são de interesse direto para os estudos de compatibilidade eletromagnética. Entretanto, cabe ressaltar que uma onda plana e uniforme não pode existir fisicamente, pois ela se propaga até o infinito sem atenuação (perdas), e isto representaria uma transferência infinita de energia [P8].

Espectro Eletromagnético					
Frequência			Comprimento de Onda		Algumas Aplicações
Sigla	Designação	Faixa	Designação	Faixa	
ELF	Extremamente Baixas	menor que 3 kHz	Extremamente Longas	maior que 100 km	Detecção de Estruturas Subterrâneas
VLF	Muito Baixas	3 kHz a 30 kHz	Muito Longas	100 km a 10km	Comunicação Subterrânea
LF	Baixas	30 kHz a 300 kHz	Longas (quilométricas)	10 km a 1 km	Rádio AM
MF	Médias	300 kHz a 3 MHz	Médias (hectométricas)	1 km a 100 m	Comunicação de Submarinos
HF	Elevadas	3 MHz a 30 MHz	Curtas (decamétricas)	100 m a 10 m	Comunicação Marítima ou Intercontinental
VHF	Muito Elevadas	30 MHz a 300 MHz	Sinal VHF (métricas)	10 m a 1 m	Rádio FM, TV Rádio-navegação
UHF	Ultra Elevadas	300 MHz a 3 GHz	Sinal UHF (decimétricas)	1 m a 10 cm	TV, Radar Telefonia Celular
SHF	Super Elevadas	3 GHz a 30 GHz	Microondas (centimétricas)	10 cm a 1 cm	Enlace Digital Comunicação Espacial
EHF	Extremamente Elevadas	30 GHz a 300 GHz	Microondas (milimétricas)	1 cm a 1 mm	Terapias / Tratamentos Médicos

Tabela 2-1: Espectro Eletromagnético e suas Classificações. (Adaptado de [P3])

2.2.1 Propagação de Ondas Planas no Espaço Livre

Em uma onda plana, o campo elétrico (\vec{E}) e o campo magnético (\vec{H}) são, em qualquer ponto, perpendiculares entre si e normais à direção de propagação da onda [P8]. Desta forma, eles constituem uma onda eletromagnética em que não existe componente dos campos elétricos ou magnéticos na direção de propagação, o que caracteriza uma onda *transverso-eletromagnética* (TEM). Esta onda também pode ser denominada de *onda plana e uniforme*, porque \vec{E} (ou \vec{H}) possuem a mesma magnitude ao longo de qualquer plano transversal definido para uma distância “z” constante [P8]. As frentes de onda constituem planos perpendiculares à direção de propagação e, a orientação dos campos pode ser observada conforme ilustra a Figura 2-2 (\vec{E} e \vec{H} estão em fase tanto no tempo quanto no espaço).

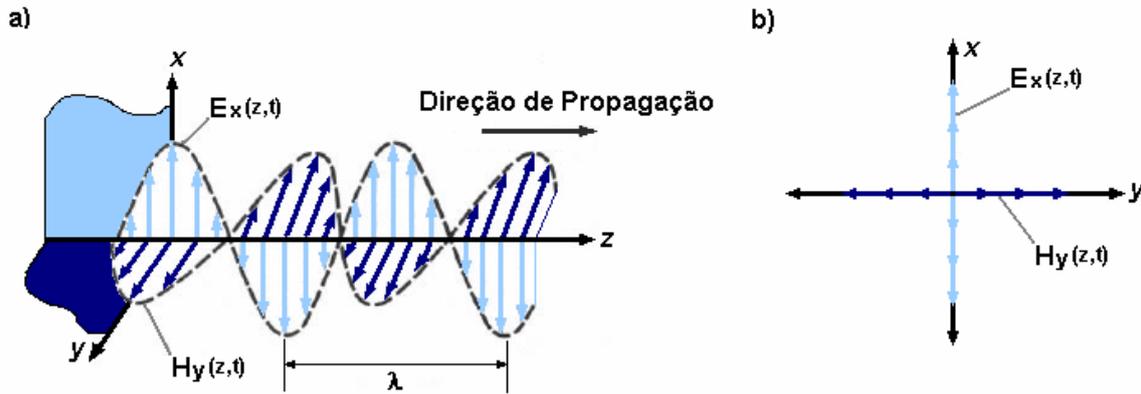


Figura 2-2: a) Onda TEM em Função de “z” em “t=0”; b) Onda TEM em “z=0”. (Adaptado de [P8])

Conforme definido pela Figura 2-2, fica convencionado que a onda se propaga na direção do eixo “z” e, com velocidade característica das ondas eletromagnéticas no vácuo, dada pela expressão 2-16. Esta é considerada a maior velocidade do universo (constante = c), da ordem de 300.000 km/s. Quando a propagação ocorre no ar ou em outros meios, sua velocidade é um pouco menor. O fato de as ondas eletromagnéticas se propagarem no vácuo com a velocidade da luz é importante, pois demonstra que a luz é a manifestação de uma onda eletromagnética [P8]. Para o espaço livre, o meio é caracterizado por $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ [F/m], $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m], e $\sigma = 0$ [S/m].

$$v = \lambda \cdot f = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c \cong 3 \times 10^8 \text{ [m/s]} \quad \text{(VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO) 2-16}$$

Também é possível observar na Figura 2-2 a composição dos campos elétricos e magnéticos em um plano transversal à direção “z”. Desta forma, a partir da equação de onda demonstrada em 2-15, é possível obter as expressões que regem a variação temporal e espacial dos campos envolvidos [P3].

$$E_x(z,t) = E_0 \cos(\omega t - \beta z) \quad \text{[V/m]} \quad \text{(CAMPO ELÉTRICO) 2-17}$$

$$H_y(z,t) = H_0 \cos(\omega t - \beta z) \quad \text{[A/m]} \quad \text{(CAMPO MAGNÉTICO) 2-18}$$

Onde β representa a constante de fase, dada por:

$$\beta = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad \text{[rad/m]} \quad \text{(CONSTANTE DE FASE) 2-19}$$

O comprimento de onda é representado por λ , pode ser obtido pela equação:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad \text{[m]} \quad \text{(COMPRIMENTO DE ONDA) 2-20}$$

A razão entre o campo elétrico e o campo magnético é chamada *impedância intrínseca do meio* (η). Portanto, para o espaço livre tem-se que:

$$\eta_0 \triangleq \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 377\Omega = 120\pi\Omega \quad (\text{IMPEDÂNCIA INTRÍNSECA}) \quad 2-21$$

Conforme mencionado anteriormente, uma das principais características de uma onda eletromagnética é a transferência de informação e energia de um ponto (onde estiver localizada uma fonte eletromagnética) até outro ponto (onde estiver localizado um receptor). A taxa de transferência desta energia também pode ser obtida a partir das equações de Maxwell utilizando-se de algumas manipulações algébricas. Com a aplicação de identidade vetorial e do teorema da divergência, é possível chegar a [P8]:

$$\oint_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_V \left[\frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu H^2 \right] dv - \int_V \sigma E^2 dv \quad (\text{TEOREMA DE POYNTING}) \quad 2-22$$

Esta equação, conhecida como *Teorema de Poynting*, rege o balanço de energia na propagação de uma onda eletromagnética. Sob os aspectos de conservação de energia, os seus termos podem ser identificados fisicamente como ilustra a Figura 2-3.

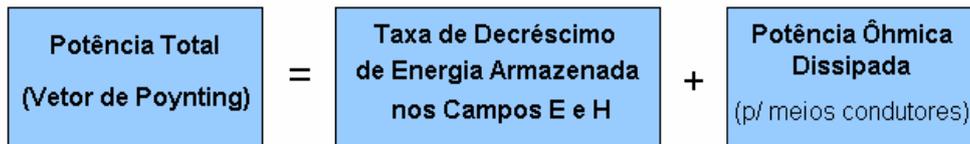


Figura 2-3: Balanço de Energia (Teorema de Poynting).

O termo do lado esquerdo da igualdade, também conhecido como *vetor de Poynting* ($\vec{\wp}$), representa a potência instantânea líquida associada ao campo eletromagnético, ou seja, a densidade superficial de potência. Este produto vetorial é dado em watts por metro quadrado (W/m²).

$$\vec{\wp} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (\text{VETOR DE POYNTING}) \quad 2-23$$

É interessante notar que pela definição de produto vetorial a direção de $\vec{\wp}$ (em que a potência flui) é perpendicular tanto ao vetor \vec{E} quanto ao vetor \vec{H} , o que reforça a idéia de uma onda transverso-eletromagnética. A densidade de potência média pode ser obtida pela integração da expressão 2-23 durante um período $T = 2\pi / \omega$, que resulta na equação:

$$\wp = \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{\eta_0} = \frac{1}{2} E_0 H_0 = E_{eficaz} H_{eficaz} \quad (\text{DENSIDADE DE POTÊNCIA MÉDIA}) \quad 2-24$$

Para finalizar esta breve revisão sobre ondas e propagação discutem-se agora as questões relacionadas à polarização de ondas eletromagnéticas. O seu conteúdo é talvez um dos mais importantes deste capítulo, visto que ele possui implicação direta nos resultados das medições a serem desempenhadas por este trabalho.

A polarização de uma onda eletromagnética, por definição da IEEE, indica a variação temporal em amplitude e direção do vetor campo elétrico (\vec{E}) que constitui a onda propagada [N20]. Em geral, o campo elétrico para uma onda que se propaga na direção “z” pode ter uma componente no eixo “x” e outra componente no eixo “y”, e pode ser representado pela equação de composição vetorial:

$$\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} \quad 2-25$$

Substituindo as componentes do campo elétrico de acordo com a expressão 2-17 tem-se então uma expressão para o caso geral dado por:

$$\vec{E} = E_1 \cos(\omega t - \beta z) \vec{i} + E_2 \cos(\omega t - \beta z + \delta) \vec{j} \quad 2-26$$

Onde δ é a defasagem temporal das componentes de campo elétrico.

Para o caso mais geral, a onda eletromagnética é dita com **polarização elíptica** onde, para um observador posicionado no eixo de propagação, a extremidade do vetor campo elétrico \vec{E} descreve uma trajetória rotacional em função do tempo e desenha no plano transversal “xy” uma elipse, chamada de elipse de polarização [P4]. Esta elipse é representada pela Figura 2-4.

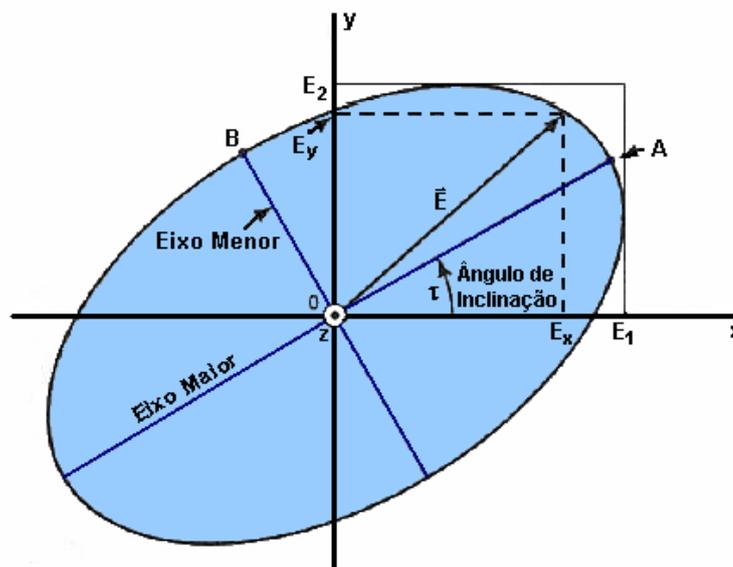


Figura 2-4: Elipse de Polarização. (Adaptado de [P4])

Define-se a razão axial (AR), que pode assumir valores entre $1 \leq AR < \infty$, como sendo a razão entre o eixo maior e o eixo menor, dada por:

$$AR = \frac{OA}{OB} \quad (\text{RAZÃO AXIAL}) \quad 2-27$$

Além disso, o ângulo de inclinação descrito pela elipse pode ser representado pela expressão [P3]:

$$\tau = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2E_1 E_2 \cos \delta}{E_1^2 - E_2^2} \right) \quad (\text{ÂNGULO DE INCLINAÇÃO}) \quad 2-28$$

Outros dois tipos de polarização, que são casos particulares de uma polarização elíptica, são: a *polarização linear* e a *polarização circular*.

Na **polarização linear** o vetor campo elétrico aponta sempre na mesma direção (mas varia em sentido) à medida que a onda se propaga. Podem ser observados três casos distintos, que dependem dos parâmetros aplicados na equação 2-26, são eles:

- Polarização horizontal: $E_1 \neq 0$ e $E_2 = 0$, logo: $\vec{E} = E_x \vec{i}$ $\tau = 0^\circ$
- Polarização vertical: $E_1 = 0$ e $E_2 \neq 0$, logo: $\vec{E} = E_y \vec{j}$ $\tau = 90^\circ$
- Polarização inclinada: $\delta = 0^\circ$; logo: $\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j}$ $\tau = \operatorname{arctg} \frac{E_2}{E_1}$

Na **polarização circular** o vetor campo elétrico descreve uma circunferência perfeita no plano transversal “xy”, enquanto a onda se propaga no sentido do eixo “z”. A condição para existência deste caso particular é dada por $E_1 = E_2$ e $\delta = \pm 90^\circ$ [P3]. Podem ser observados dois casos distintos de polarização circular:

- Polarização circular direita: $\delta = -90^\circ$
- Polarização circular esquerda: $\delta = +90^\circ$

A equação característica para esta situação é definida pela expressão 2-29, onde o sinal positivo indica polarização circular direita e o sinal negativo indica polarização circular esquerda:

$$\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - \beta z) \vec{i} \pm E_0 \sin(\omega t - \beta z + \delta) \vec{j} \quad 2-29$$

Os três casos de polarização aqui discutidos, ou seja, elíptica, circular ou linear, são ilustrados pela Figura 2-5.

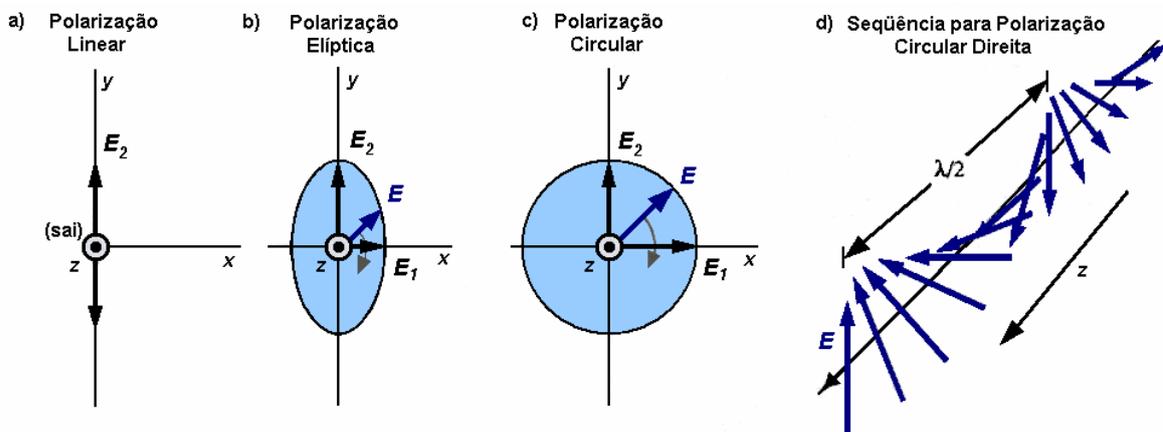


Figura 2-5: Tipos de Polarização. (Adaptado de [P4])

2.2.2 Considerações Finais para Ondas Eletromagnéticas

Contudo, encerram-se aqui os conceitos fundamentais de eletromagnetismo pertinentes ao estudo deste trabalho. A revisão de ondas eletromagnéticas e os conceitos básicos discutidos até este ponto aparecerão, de agora em diante, de forma aplicada e estarão implícitos nas próximas discussões. Dessa forma, com a solidificação dos conhecimentos aqui preconizados, acredita-se atingir a aptidão para a revisão de aspectos mais avançados e importantes a este projeto, como a compatibilidade eletromagnética e o estudo de antenas. Ambos os conceitos formarão a sustentação teórica para a realização prática implementada na presente pesquisa.

2.3 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EMC)

Na década de 80, a preocupação quanto à compatibilidade eletromagnética foi marcada pelo amplo interesse para que as emissões eletromagnéticas (radiadas e conduzidas) em equipamentos eletro-eletrônicos não ultrapassassem os níveis máximos estabelecidos por norma. Nesta época, o objetivo maior era garantir que a energia eletromagnética lançada ao ambiente fosse controlada para que não o tornasse hostil do ponto de vista eletromagnético.

Entretanto, com a grande expansão do mercado de eletro-eletrônicos e a conseqüente inserção de equipamentos deste princípio de funcionamento em diversas áreas de aplicação, os níveis de energia eletromagnética liberados aos ambientes passaram a aumentar significativamente. A partir de então, os fenômenos de interferência eletromagnética (EMI) começaram a ser observados com cada vez mais frequência. Para solucionar estes problemas, durante a década de 90, o termo imunidade eletromagnética passou a ser bastante difundido e também incorporado como um requerimento para testes de compatibilidade eletromagnética. Ficava solidificado assim o conceito moderno de compatibilidade eletromagnética que perdura até hoje [P9].

2.3.1 Definição e Aspectos Fundamentais

Seja, portanto, uma definição moderna de compatibilidade eletromagnética (EMC) dada por: “A habilidade de um equipamento e/ou sistema de funcionar satisfatoriamente em seu ambiente eletromagnético, sem introduzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis para qualquer coisa neste ambiente” [N4]. Destaca-se que implicitamente ao conceito desta definição, o termo “funcionar satisfatoriamente” deve ser obrigatoriamente

interpretado com o sentido de “não ser susceptível às perturbações eletromagnéticas presentes no ambiente onde ele atua”.

A partir desta definição é possível abstrair que as questões de EMC estão relacionadas a um processo de geração, transmissão e recepção de energia eletromagnética. De fato, estes três aspectos são fundamentais ao presente estudo, pois eles são a base para o entendimento do mecanismo da EMC como um todo. O relacionamento entre os três aspectos fundamentais da EMC está ilustrado na Figura 2-6, onde a fonte (também referida como emissor) produz a emissão que é transferida pelo transmissor (ou caminho de acoplamento) até o receptor onde o sinal é processado, resultando em efeitos desejados ou indesejados [P5].



Figura 2-6: Aspectos Fundamentais da EMC.

A Tabela 2-2 exemplifica alguns elementos que podem eventualmente assumir o papel emissor eletromagnético. Os emissores podem ser classificados como fontes naturais ou artificiais de energia eletromagnética, e emitir energia de forma intencional ou não intencional.

Fontes Eletromagnéticas		
Fontes Naturais	Fontes Artificiais	
	Intencionais	Não Intencionais
Descargas Atmosféricas	Enlaces Digitais	Equipamentos Eletromédicos (EEM)
	Estações Rádio-base (ERB)	Arcos Elétricos
Descargas Eletrostáticas	Osciladores Locais RX	Chaveamentos
	Emissoras Rádios AM/FM	Computadores e Periféricos
Explosões Solares	Sistemas de Comunicação Móvel	Eletrodomésticos
	Sistemas de Radar	Equipamentos Eletrônicos
Ruído Cósmico	Sistemas de Telecomunicações	Geradores Elétricos
	Sistemas de Telemetria	Lâmpadas Fluorescentes
Ruído de Gás	Emissoras de TV (UHF/VHF)	Linhas de Transmissão
	Telefones Celulares	Máquinas Industriais
	Walkie-talkies	Motores Elétricos

Tabela 2-2: Exemplos de Fontes Eletromagnéticas (Emissores).

A Tabela 2-3 apresenta alguns dos elementos que podem assumir o papel de transmissores, ou seja, os caminhos de acoplamento para a energia eletromagnética. Estes podem ser classificados de acordo com a natureza do meio por onde a energia se propaga.

Caminhos de Acoplamento Eletromagnético		
Radiada	Combinada	Conduzida
Enlace de Antenas	Acoplamento do Ar para Cabos (indução de correntes)	Cabos de interconexão
Acoplamento entre cabos	Acoplamento do Cabo para o Ar	Impedância de Fonte Comum
Radiação em Geral	(radiação pelo cabo)	Impedância de Terra Comum
		Linha de Alimentação
		Sistema de Distribuição de Energia

Tabela 2-3: Exemplos de Caminhos de Acoplamento Eletromagnético.

Por fim, a Tabela 2-4 apresenta alguns dos elementos que podem assumir o papel de receptor da energia eletromagnética. Assim como os emissores, estes também podem ser classificados como intencionais ou não intencionais. É importante notar que para os propósitos deste trabalho um EEM pode atuar tanto como fonte ou como receptor de energia eletromagnética. Além disso, ao adotar uma definição mais abrangente, pode-se definir os seres vivos como também sendo um receptor não intencional desta energia.

Receptores Eletromagnéticos	
Intencionais	Não Intencionais
Antenas	Equipamentos Eletromédicos (EEM)
Aparelhos de Rádio (AM/FM)	Seres Vivos
Aparelhos de TV (VHF/UHF)	Cabos de energia
Estações Rádio-base	Componentes eletrônicos
Sistemas de Comunicação	Computadores e Periféricos
Seres Vivos (em terapias por RF)	Eletrrodomésticos
Sistemas de Radar	Equipamentos Eletrônicos
Telefones Celulares	Máquinas Industriais
Walkie-talkies	Trilhas de Circuito Impresso

Tabela 2-4: Exemplos de Receptores Eletromagnéticos.

De acordo com os exemplos apresentados, torna-se evidente que a transferência de energia eletromagnética pode se dar através de diferentes mecanismos e depende basicamente da natureza da emissão originada pela fonte e do seu caminho de acoplamento. A partir disto, avaliar-se-á em mais detalhes os aspectos relativos à fonte e as suas emissões eletromagnéticas.

2.3.2 Emissões Eletromagnéticas

O conhecimento do mecanismo pelo qual a energia eletromagnética é originada a partir da sua fonte é um importante aspecto para a solução dos problemas relacionados às perturbações eletromagnéticas. A identificação das suas grandezas, como por exemplo, intensidade, amplitude e frequência, são fundamentais para direcionar as medidas a serem tomadas tanto no projeto das fontes, quanto na proteção dos receptores. A classificação das

emissões eletromagnéticas é definida pela natureza de seu caminho de acoplamento. A Figura 2-7 ilustra os diferentes caminhos de acoplamento por onde as emissões eletromagnéticas podem se propagar, ou seja, sob a forma radiada, forma conduzida ou forma combinada.

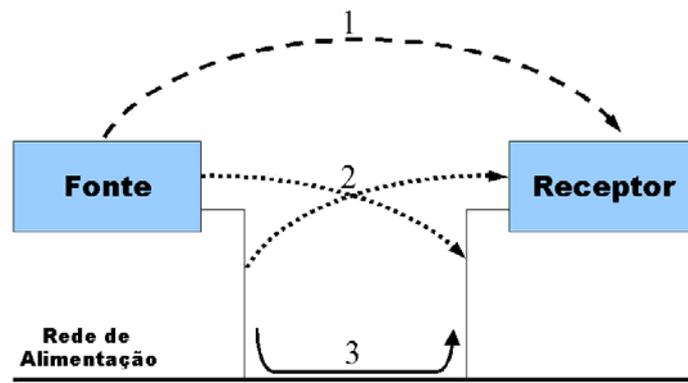


Figura 2-7: Caminhos de Acoplamento para Emissões Eletromagnéticas (1-Forma Radiada, 2-Forma Combinada e 3-Forma Conduzida). (Adaptado de [P5])

As **emissões radiadas** são caracterizadas pela propagação de ondas eletromagnéticas que são radiadas para o meio quando um equipamento de princípio eletro-eletrônico é colocado em funcionamento. Estas ondas viajam aleatoriamente pelo ambiente e podem ser captadas por diversos dispositivos que funcionem como antenas (intencionais ou não).

As **emissões conduzidas** estão relacionadas a correntes indesejadas (ruídos) que podem ser transmitidas através do cabo de alimentação AC, quando os equipamentos eletro-eletrônicos estão em funcionamento. Estes ruídos são transmitidos para o sistema de distribuição de energia comercial, que é um conjunto de condutores através do qual as emissões conduzidas se propagam com muita eficiência e podem causar perturbações em outros sistemas eletroeletrônicos suscetíveis [P5].

Ainda assim, o acoplamento e propagação da energia eletromagnética podem acontecer de **maneira combinada**. As emissões radiadas por um equipamento podem provocar a indução de correntes espúrias em cabos condutores e, a partir de então, se propagar no meio condutor como um efeito semelhante ao de emissões conduzidas. De forma dual, a circulação de emissões conduzidas no interior de um condutor também pode induzir campos eletromagnéticos que tenham a capacidade de se propagar de forma radiada ao ambiente.

Quando a energia eletromagnética transmitida neste processo possuir uma magnitude ou conteúdo espectral suficiente para provocar um comportamento indesejado em um receptor, fica consolidada uma situação crítica de perturbação eletromagnética. Desta

forma, a perturbação eletromagnética é caracterizada pela suscetibilidade do receptor em questão e, dependendo de sua natureza, pode ser representada por uma interferência eletromagnética ou por um efeito biológico. A partir de então, torna-se claro que fenômenos de perturbação eletromagnética são efeitos indesejáveis resultantes da relação entre uma fonte emissora e a suscetibilidade de um determinado receptor. A seguir, avaliam-se detalhadamente os aspectos sob o ponto de vista de um receptor, e a sua suscetibilidade eletromagnética.

2.3.3 Suscetibilidade Eletromagnética (em Equipamentos Eletroeletrônicos)

Para os casos em que o receptor eletromagnético é um equipamento eletroeletrônico, o efeito indesejado provocado por uma perturbação eletromagnética caracteriza um fenômeno de interferência eletromagnética. Pode-se definir a **interferência eletromagnética** (EMI) como a perda da funcionalidade de um equipamento em razão da sua suscetibilidade (ou falta de imunidade) à energia eletromagnética proveniente do ambiente onde ele opera.

Quando o efeito de uma EMI é observado, muitas vezes não é trivial determinar, a princípio, qual o sinal incidente no receptor é o seu agente causador. Dessa maneira, a EMC preocupa-se com três aspectos, a fim de evitar que os fenômenos de EMI ocorram [P5]:

- Suprimir as emissões na fonte;
- Tornar o caminho de acoplamento o mais ineficiente possível;
- Tornar o receptor o menos susceptível possível.

A suscetibilidade eletromagnética de um equipamento está relacionada à tendência deste equipamento sofrer influências frente à presença de uma perturbação eletromagnética. Diversos são os fatores que condicionam a suscetibilidade de um equipamento e, dentre os mais significativos, podem-se destacar [P9]:

- a) Intensidade de campo ou amplitude;
- b) Distância e disposição dos equipamentos;
- c) Comprimento de onda e frequências das emissões;
- d) Proteção eletromagnética do equipamento.

a) Intensidade de Campo ou Amplitude: A intensidade de campo ou amplitude é o principal agente na caracterização da suscetibilidade de um determinado equipamento. Para meios radiados, a intensidade dos campos, elétrico (V/m) ou magnético (A/m), são os

fatores primordiais na influência da imunidade dos equipamentos. Quanto mais elevado o valor da intensidade de campo, mais influente se tornará a sua ação sobre os elementos receptores. De maneira dual, para os meios conduzidos, as amplitudes da tensão elétrica (V) ou da corrente elétrica (A) induzida, assumem este papel.

b) Distância e Disposição dos Equipamentos: Os fatores de intensidade de campo e distância e disposição dos equipamentos estão (de certa maneira) relacionados entre si, uma vez que quanto maior a distância entre a fonte de energia eletromagnética e o equipamento receptor, menor será a sua influência em função da atenuação dos campos eletromagnéticos frente a sua propagação de ondas. Por outro lado, a disposição dos equipamentos é baseada no caráter geométrico da distribuição de campos eletromagnéticos no ambiente em questão. A disposição geométrica do ambiente entre a fonte e o receptor determina o comportamento das ondas eletromagnéticas emitidas quanto aos seus aspectos de reflexão, refração e difração. Assim, as interações entre os campos eletromagnéticos no ambiente podem resultar em acoplamentos construtivos ou destrutivos, de modo a definir uma intensidade de campo resultante sob a qual o receptor estará submetido.

c) Comprimento de Onda e Frequência das Emissões: Os fatores de comprimento de onda (λ) e frequência das emissões (f) estão relacionados entre si de maneira inversamente proporcional. Sua relação é estabelecida por uma equação bastante conhecida nos estudos da física clássica: $v = \lambda f$. Da teoria de eletromagnetismo, é sabido que um radiador ou receptor de energia eletromagnética ideal (antena) possui maior eficiência quando o seu comprimento físico é equivalente à ordem de grandeza do comprimento de onda do sinal a ser transmitido ou recebido (fenômeno da ressonância eletromagnética-geométrica). Por esta razão, antenas de múltiplos comprimentos de onda, i.e. $\lambda/2$, $\lambda/4$, entre outros múltiplos, são facilmente encontradas em casos práticos. Esta característica de transmissão e recepção de energia possui influência direta na susceptibilidade dos equipamentos eletrônicos. Explica-se. Para uma dada transmissão de sinal modulado em frequência, os diversos componentes eletrônicos e cabos presentes em um determinado equipamento podem funcionar como elementos receptores (antenas não intencionais) que, por sua vez, captam a transmissão de sinal como sendo um ruído espúrio. Como consequência, as dimensões físicas dos diversos elementos receptores constituintes de um equipamento definem as características de suscetibilidade do mesmo em relação a uma dada faixa de frequências. Tal afirmação baseia-se no fato de que para determinadas

freqüências de ruído, os elementos receptores envolvidos passam a funcionar como antenas não intencionais de maior ou menor eficiência.

Segundo o estudo realizado por Paperman, em 1994 [P54], as maiores ameaças de EMI para equipamentos de instrumentação médica estão na faixa de freqüências de 10 kHz até 1GHz. Teoricamente, isto leva a comprimentos de onda na ordem de 30 km até 30 cm. Para nosso entendimento, tendo em vista a dimensão cada vez menor dos componentes eletrônicos e uma utilização cada vez maior do espectro de microondas, principalmente UHF (até 3GHz, onde $\lambda = 10$ cm), esta faixa de freqüência também passa a ser significativamente importante para efeitos de EMI.

d) Proteção Eletromagnética do Equipamento: Sabendo-se que os equipamentos eletrônicos podem operar em situações inadequadas do ponto de vista eletromagnético, é importante a existência de dispositivos protetores que atuem para garantir a funcionalidade do equipamento mesmo sob condições não favoráveis. Como a transferência de energia eletromagnética durante o funcionamento de um equipamento é um fenômeno muitas vezes difícil de ser controlado, os dispositivos de proteção atuam com o objetivo de tornar o caminho de acoplamento da energia eletromagnética o mais ineficiente possível. Para tanto, os equipamentos eletrônicos podem dispor de inúmeros dispositivos de proteção que dificultem o acoplamento de energia tanto sob a forma radiada, quanto sob a forma conduzida. O projeto destes dispositivos supressores pode muitas vezes não ser trivial dependendo da faixa de freqüências em que se é desejável atuar, e assim, é objeto constante de pesquisa e desenvolvimento para muitos grupos de engenharia. A título de ilustração, apresenta-se a seguir alguns exemplos clássicos de dispositivos supressores para emissão e suscetibilidade radiada e conduzida.

Os equipamentos eletroeletrônicos são constituídos de blindagem a fim de evitar ou minimizar a transferência indesejada de energia eletromagnética sob a **forma radiada**. A blindagem é definida como sendo um invólucro metálico que envolve de forma completa ou parcial os sistemas eletrônicos do equipamento. Sua principal função é atuar como um dispositivo isolador de sistemas (interno e externo), de modo a minimizar as emissões radiadas e a suscetibilidade radiada do equipamento em questão. Em outras palavras, a blindagem eletromagnética deve:

- Atuar para que o campo eletromagnético gerado pelo equipamento não seja propagado ao ambiente onde ele opera.

- Atuar de modo a tornar o equipamento o menos suscetível possível aos campos eletromagnéticos presentes no ambiente onde ele opera.

Para os casos práticos, a maior parte das blindagens apresenta uma série de aberturas, configuradas sob a forma de rampas, portas, orifícios para passagem de cabos, ventilação e interruptores. Todas estas aberturas acabam por diminuir a eficiência da blindagem, pois permitem um vazamento indesejado de energia eletromagnética, conforme ilustra a Figura 2-8.

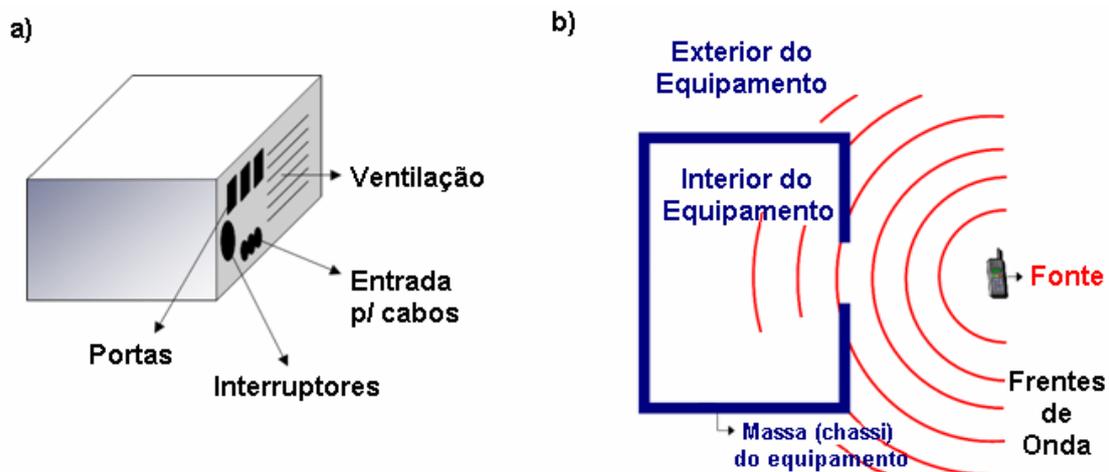


Figura 2-8: Aberturas Diminuem a Eficiência da Blindagem.

Assim como as blindagens constituem artifícios clássicos para suprimir a emissão e a suscetibilidade radiada, os estudiosos da engenharia também empenham suas horas de trabalho para desenvolver dispositivos de supressão sob a **forma conduzida**. Desta maneira, os equipamentos eletroeletrônicos podem ser dotados de filtros de alimentação e ferrites com a finalidade de minimizar a transferência indesejada de energia eletromagnética sob a forma conduzida. Os filtros supressores são caracterizados geralmente pela inserção de perdas, ou seja, provocam a redução da tensão ou corrente na carga do circuito para uma determinada faixa de frequência de interesse, em função da inserção de elementos reativos estrategicamente posicionados (capacitores e indutores). Mais uma vez, torna-se interessante minimizar tanto as emissões, quanto a suscetibilidade conduzida do equipamento em questão. Portanto, estes filtros supressores podem:

- Atuar para que os ruídos conduzidos gerados pelo equipamento não sejam propagados para a rede de alimentação onde ele opera.
- Atuar de modo a tornar o equipamento o menos suscetível possível aos ruídos conduzidos presentes na rede de alimentação onde ele opera.

2.3.4 Suscetibilidade Eletromagnética (em Seres Vivos)

Foi visto anteriormente que o receptor da energia eletromagnética também pode ser constituído de estruturas vivas, como animais ou seres humanos. Para estes casos, é possível interpretar o tecido vivo como um complexo sistema de cargas elétricas que são definidas intrinsecamente pela natureza bioquímica das suas estruturas moleculares e íons. Os gradientes de concentração iônica impostos, por exemplo, por uma membrana celular são suficientes para estabelecer uma sensível diferença de potencial (tensão elétrica) entre as duas faces da membrana celular. Baseado nesta evidência elétrica, que está relacionada a todo tecido vivo, torna-se justificada a preocupação com relação a possíveis efeitos biológicos decorrentes da interação do ser vivo com a energia oriunda do ambiente em que ele habita. Um simples estímulo elétrico (causado, por exemplo, pela ação de campos eletromagnéticos) é capaz de desencadear uma série de fenômenos bioquímicos complexos, como por exemplo, ocorrência de potenciais de ação da célula. Em uma situação mais severa, a absorção da energia eletromagnética pode acarretar em uma modificação da homeostase³ do organismo e estabelecer uma situação de risco biológico.

É importante esclarecer que a interação da energia eletromagnética do ambiente com seres vivos, e a conseguinte observação de efeitos biológicos devido a um determinado estímulo, não resultam necessariamente em um perigo biológico. Um efeito biológico se torna um **risco biológico** apenas quando ele causa danos à saúde de um indivíduo ou de sua descendência [N7].

Assim, a suscetibilidade de um ser vivo está relacionada com a evidência de riscos biológicos observados, frente à sua exposição a campos e perturbações eletromagnéticas. Dentre os fatores que caracterizam esta suscetibilidade destacam-se:

- a) Tipo de radiação eletromagnética (ionizante ou não-ionizante);
- b) Tempo de exposição;
- c) Densidade de potência;
- d) Taxa de absorção específica;
- e) Correntes induzidas;
- f) Correntes de contato.

³ Conjunto de atributos físicos e químicos que permanecem parcialmente constantes (temperatura, concentração de substâncias, pressão, etc.) e são compatíveis com a vida e o bom funcionamento do organismo vivo.

a) Tipo de radiação eletromagnética: A natureza da radiação eletromagnética que é recebida por um tecido vivo é um importante fator na suscetibilidade do organismo. A rigor, a definição quanto ao tipo de radiação está intimamente ligada com a frequência das emissões radiadas pela fonte eletromagnética. Ao recapitular o espectro eletromagnético ilustrado anteriormente na Figura 2-1, pode-se observar que quanto maior a frequência de uma onda eletromagnética, menor o seu comprimento de onda e maior será a energia contida em um quantum a ela associado.

A partir de uma determinada frequência na faixa de radiações ultravioleta, da ordem de 2,5 PHz (Peta $\equiv 10^{15}$) [P11], as ondas eletromagnéticas passam a ter comprimentos de onda tão pequenos que podem ser comparados aos comprimentos das cadeias protéicas e outras estruturas moleculares presentes na matéria. Além disso, o conteúdo de energia associada a estas frequências é tamanho, que a onda eletromagnética é capaz de quebrar as estruturas bioquímicas existentes no tecido vivo, arrancando elétrons das moléculas e liberando-os sob a forma de íons (elétrons livres). O fenômeno pelo qual os elétrons são arrancados dos átomos e moléculas é chamado de ionização e, por esta razão, as ondas eletromagnéticas que possuem esta propriedade são conhecidas como **radiações ionizantes** (RI). São exemplos de radiações ionizantes os raios-X e raios gama. Este tipo de radiação é prejudicial aos tecidos vivos, pois a quebra das estruturas químicas e as mudanças moleculares ocorridas neste processo trazem danos aos tecidos e podem inclusive acarretar em mudanças genéticas (quando o rompimento ocorre nas cadeias de DNA). Como as modificações das estruturas moleculares no tecido vivo são irreversíveis, o efeito da exposição à radiações ionizantes é dito acumulativo, pois os efeitos danosos são acumulados a medida que existe maior exposição e, conseqüentemente, uma maior modificação molecular. O estudo das radiações ionizantes, assim como das suas implicações, foge ao escopo deste trabalho, visto que o interesse aqui é voltado aos efeitos relacionados a ondas de frequências mais baixas, principalmente ondas de rádio-frequência (RF).

Em emissões de frequências relativamente baixas, como a luz visível, o infravermelho e as ondas de RF, a energia associada às suas ondas eletromagnéticas não é grande o suficiente para causar a ionização dos átomos e moléculas em estruturas vivas e, por esta razão, estas ondas são conhecidas como **radiações não-ionizantes** (RNI). O conjunto de efeitos biológicos provocado pela RNI é objeto freqüente de estudo para diversos grupos de pesquisa ao redor do mundo. Existe uma grande polêmica sobre

correlação entre a exposição à radiação não-ionizante e a possibilidade de risco biológico, como por exemplo, a ligação entre exposição à radiação RF e o câncer ou com o surgimento de tumores, entretanto, até hoje os resultados têm se mostrado inconclusivos [P45]. Até o momento, os únicos fenômenos consistentes conhecidos com relação a este tipo de emissão estão relacionados apenas a efeitos térmicos e indução corporal de correntes [P11]. Por esta razão, estes dois aspectos são considerados os principais fatores de risco para exposição de organismos vivos.

b) Tempo de Exposição: Um dos fatores fundamentais com relação à suscetibilidade de estruturas vivas é o tempo que o corpo permanece exposto à radiação eletromagnética. Visto que os efeitos comprovados de radiações não-ionizantes são efetivamente ligados à produção de calor, somado à incapacidade do organismo vivo de dissipar calor excessivo sob certas condições, então, quanto maior o tempo de exposição do organismo, maior serão os efeitos biológicos nele observados. A partir de então, a extensão do aquecimento corporal que, no limite, poderá resultar em um perigo biológico, está intimamente ligada ao tempo de exposição à radiação eletromagnética.

c) Densidade de Potência: Conforme visto anteriormente, uma forma de representar a intensidade de uma onda eletromagnética plana pode ser em termos de densidade superficial de potência (relacionando-a com o vetor de Poynting). Ela foi definida como sendo a potência por unidade de área (W/m^2). Assim, é natural esperar que quanto maior a intensidade dos campos eletromagnéticos em uma onda, maior serão os seus poderes de ação e conseqüentemente seus efeitos sob o tecido vivo.

d) Taxa de absorção específica: A taxa de absorção específica (*SAR* – do inglês *Specific Absorption Rate*) é uma das principais medidas dosimétricas adotadas para a quantificação da energia eletromagnética absorvida por um meio biológico [P11]. Esta grandeza correlaciona a quantidade de energia eletromagnética radiada que é absorvida por unidade de massa em um determinado volume do corpo do organismo. A *SAR* é expressa em W/kg , e pode ser relacionada ao campo elétrico por meio da equação 2-30 [N20]:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad \text{(TAXA DE ABSORÇÃO ESPECÍFICA)} \quad \text{2-30}$$

Onde σ é a condutividade do tecido dado em S/m , ρ é a densidade de massa do tecido em kg/m^3 , e $|E|$ é o módulo do campo elétrico (valor rms) expresso em V/m . A *SAR* também pode ser relacionada ao aumento de temperatura em um determinado ponto do tecido vivo (efeitos térmicos no organismo) de acordo com a expressão 2-31 [N20]:

$$SAR = \frac{c\Delta T}{\Delta t} \quad 2-31$$

Onde “c” é a capacidade específica de calor do tecido envolvido, expresso em J/kg°C, ΔT é a variação de temperatura em °C, e Δt é a duração do tempo de exposição em segundos.

Os valores de *SAR* podem ser definidos em termos de *SAR média*, utilizada para o corpo inteiro, que expressa a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e a sua massa (W/kg), ou ainda em termos de *SAR local*, utilizada para verificação da influência de fontes radiantes em regiões próximas a determinadas partes do corpo, como por exemplo, a radiação de um telefone celular para a cabeça humana [P11]. A *SAR local* é definida como o valor médio da *SAR* por grama de tecido (W/kg/g).

e) Correntes induzidas: A interação dos campos eletromagnéticos presentes no meio ambiente com os seres vivos pode resultar na indução de correntes elétricas circulantes no interior do organismo. A distribuição das correntes induzidas no corpo é dependente da frequência da radiação, das condições de exposição, do tamanho, da forma e das propriedades elétricas do corpo, além do seu posicionamento em relação ao campo eletromagnético atuante [N7].

Para efeitos de suscetibilidade do organismo vivo duas perturbações podem ser decorrentes de correntes induzidas: o efeito de eletro-estimulação e o efeito térmico. Para frequências mais baixas (até 100 kHz), a eletro-estimulação provocada pela circulação destas correntes pode causar reações adversas no sistema nervoso [P11], principalmente em razão da estimulação de nervos periféricos e/ou músculos [N7]. Para frequências a partir de 10 MHz, a densidade de corrente induzida passa a ser um fator preponderante, pois os efeitos de sobre-aquecimento local dos tecidos tornam-se predominantes em relação à eletro-estimulação [P11].

f) Correntes de contato: As correntes de contato são efeitos indiretos da ação de campos eletromagnéticos sobre uma pessoa ou um objeto. Devido à exposição a um campo eletromagnético, um corpo qualquer (ser vivo ou objeto) pode ser carregado eletricamente e manter o seu potencial eletrostático elevado. Quando este corpo carregado se aproxima ou entra em contato com outro corpo que se encontra em um potencial elétrico diferente ocorre a transferência de cargas elétricas entre eles, sob a forma de uma descarga eletrostática (*ESD* - do inglês *Electrostatic Discharge*). Este fluxo de cargas elétricas, também chamada de corrente de contato, pode resultar em efeitos biológicos que variam

em severidade, desde a percepção até a dor [P11]. Os efeitos mais comuns estimulados por estas correntes são relacionados à sensação de choque elétrico e até queimaduras [N5].

2.3.5 Considerações Finais para EMC

O estudo de EMC é o principal escopo deste trabalho e, portanto, o mais importante assunto abordado em nossas discussões. A breve revisão aqui retratada foi fundamentalmente focada nos aspectos de maior interesse a esta pesquisa, desde a definição dos aspectos fundamentais de EMC até a discussão em termos de emissão e suscetibilidade eletromagnética. Nesta última, realizou-se propositadamente uma abordagem paralela em termos de equipamentos eletro-eletrônicos e seres vivos, com o objetivo de ressaltar que o universo da EMC é extremamente vasto e, portanto, deve ser explorado cuidadosamente. Recomendam-se as referências identificadas por [P5] e [P6] para uma revisão mais detalhada com relação a este abrangente assunto.

Ainda assim, para os propósitos desta pesquisa, tão importante quanto os aspectos de EMC, são os conhecimentos relacionados ao entendimento de antenas e suas características. A rigor, a realização de um estudo em EMC sem uma revisão de antenas é algo praticamente inconcebível. Por esta razão, em função da grande importância que as estruturas de antenas possuem a este projeto (eis que são os principais instrumentos de trabalho nesta pesquisa) foi reservado a estes dispositivos uma seção específica para sua revisão detalhada, que é apresentada nas páginas seguintes.

2.4 ESTUDO DE ANTENAS

As antenas podem ser definidas como estruturas condutoras que são capazes de realizar a transição entre a propagação guiada (em cabos ou guias de onda) e o espaço livre. Conforme já caracterizado anteriormente, o escopo de EMC é intimamente ligado aos processos de transmissão e propagação de energia eletromagnética. Desta forma, torna-se natural compreender que o estudo de antenas é de suma importância para os propósitos de EMC.

Teoricamente qualquer estrutura pode radiar (ou receber) ondas eletromagnéticas, mas nem todas o farão de forma eficiente [P8]. A partir desta afirmação, é possível conceber a existência de antenas *intencionais* e *não intencionais*, dependendo da natureza da estrutura que radia ou recebe as ondas eletromagnéticas. As *antenas intencionais* são dispositivos projetados para melhorar a eficiência dos processos de propagação de energia para fins de transmissão de informação ou de coleta de dados. Elas são utilizadas para

transmitir e/ou receber ondas eletromagnéticas, de modo a acentuar a radiação em (ou de) algumas regiões e suprimir em outras [P3]. Uma característica importante destes dispositivos é que eles podem ser tanto eficientes transmissores (como as antenas transmissoras de rádio AM, FM, ou na transmissão dos sistemas de comunicação) quanto eficientes receptores (como antenas para medição de emissões radiadas, ou na recepção de sinais de rádio, TV, ou de sistemas de comunicação). Já as antenas *não intencionais* ou *antenas espúrias* são estruturas que acabam por transmitir ou receber ondas eletromagnéticas sem que elas tenham sido projetadas para este fim. Podem-se citar diversos exemplos deste tipo de estrutura como, por exemplo, componentes eletrônicos em geral, superfícies metálicas, cabos, dentre outros. A discussão fundamental realizada neste trabalho se dará basicamente na análise das antenas intencionais, entretanto, cabe ressaltar que ela também nos fornece o entendimento dos mecanismos de radiação ou recepção das antenas não intencionais que, em geral, é interessante minimizar ou prevenir [P5].

As antenas costumam apresentar determinados padrões de radiação ou recepção dependendo da sua estrutura geométrica e da distribuição de corrente elétrica sobre a sua superfície. Alguns padrões simplificados de radiação são apresentados e discutidos no ANEXO A-1, tanto para antenas do tipo dipolo elétrico infinitesimal quanto para antenas do tipo “loop” magnético infinitesimal. Para ambos os casos, as integrações necessárias para avaliação dos campos emitidos são simples e, desta forma, o comportamento dos campos no entorno da antena pode ser perfeitamente equacionado, permitindo uma boa aproximação para determinar a potência total radiada. Na prática, as antenas possuem elementos mais complexos e estes cálculos tornam-se de difícil análise. Por este motivo, as antenas mais complexas costumam ser caracterizadas através da medição de diversos parâmetros, que fornecem uma boa noção do comportamento dos campos eletromagnéticos no seu entorno.

Dentre as principais características de interesse em uma determinada antena podem-se destacar: a *frequência de operação* e *largura de banda*, o *diagrama de radiação*, o *ganho diretivo*, a *diretividade*, o *ganho de potência*, a *eficiência*, a *abertura efetiva*, a *polarização da antena* e *casamento de polarização*, o *fator de antena*, a *região de campo próximo* e, por fim, a *impedância de entrada*. Todos os conceitos aqui citados são brevemente discutidos a seguir.

2.4.1 Freqüência de Operação e Largura de Banda

Pode-se entender este conceito como sendo a faixa de freqüências dentro da qual uma antena opera adequadamente com pouca variação de seus parâmetros [P3]. Geralmente esta é a principal especificação de uma antena, pois ela expressa as freqüências em que a antena possui uma boa eficiência de radiação e/ou recepção. Suas características de freqüência estão relacionadas diretamente com os comprimentos dos elementos envolvidos na antena e a sua disposição geométrica e espacial.

Quanto maior a largura de banda de uma antena, maior a sua capacidade de transmitir ou receber sinais de diferentes freqüências [P3]. Dependendo da aplicação e das restrições impostas pelo sistema no qual a antena está empregada, a limitação da largura de banda será definida por um ou mais fatores, como por exemplo: impedância de entrada, ganho diretivo, largura do feixe, posição do lobo principal, nível dos lobos secundários, polarização, dentre outros [P3]. Por definição, as antenas podem ser de banda estreita, onde a largura de banda é bem menor do que a freqüência central de operação, ou de banda larga, onde a freqüência superior é igual ou maior do que o dobro da freqüência inferior [P3].

2.4.2 Diagrama de Radiação

O *diagrama de radiação* de uma antena pode ser definido como a representação gráfica tridimensional das características de radiação (ou recepção) da antena na zona distante em coordenadas espaciais [P8]. Estes diagramas representam a amplitude do campo elétrico ou da potência radiada (ou recebida) e são geralmente normalizados em relação ao seu valor máximo. Por definição, o diagrama de radiação é uma figura tridimensional, mas ele é geralmente substituído pela composição de gráficos bidimensionais independentes, que são denominados *diagramas no plano* ou *planos de corte*. Utilizando-se coordenadas polares, é definido o *plano vertical* ou *plano de elevação* como sendo a representação dos valores normalizados de campo ou potência em função de θ , para ϕ constante (geralmente $\phi = 0^\circ$ ou $\phi = 90^\circ$). Da mesma forma, define-se o *plano horizontal* ou *plano de azimute* como sendo a representação dos valores normalizados em função de ϕ para θ constante (geralmente $\theta = 90^\circ$). Para antenas com polarização linear estes planos geralmente correspondem a planos que contêm o vetor campo elétrico (plano E) e o vetor campo magnético (plano H) [P3]. A Figura 2-9 ilustra a um diagrama de

radiação para um dipolo elétrico alinhado ao eixo “z”, assim como a sua representação nos planos de corte horizontal e vertical.

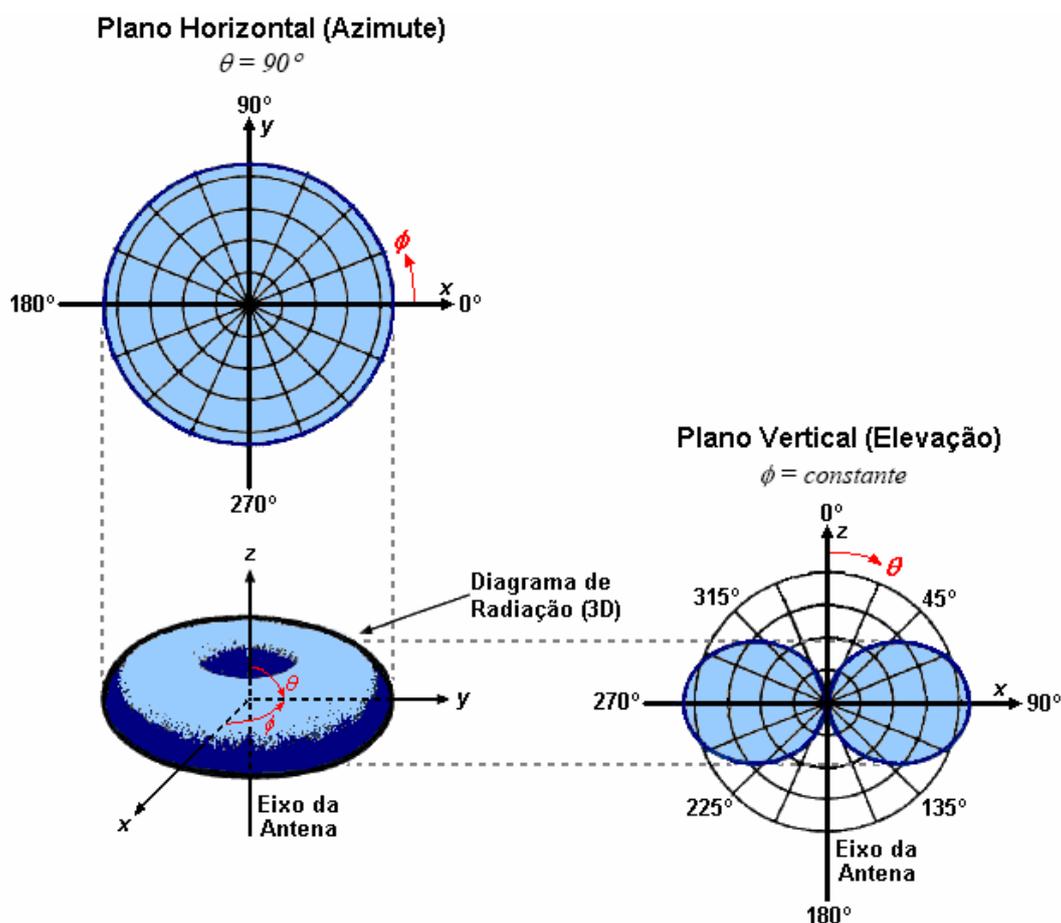


Figura 2-9: Diagrama de Radiação de um Dipolo Elétrico e seus Planos de Corte.

A partir desta figura, é possível observar que o dipolo elétrico radia igualmente em todas as direções do plano horizontal, ou seja, o gráfico é independente de ϕ . Nestes casos diz-se que a antena é *omnidirecional*. Outros padrões de radiação bastante conhecidos são os diagramas *isotrópico* e *diretivo*.

Para o padrão *isotrópico*, onde a antena irradia igualmente em todas as direções, o diagrama de radiação é uma esfera perfeita e, portanto, circunferências perfeitas podem ser observadas em ambos os planos de corte. Para o padrão *diretivo*, a antena privilegia uma determinada região do espaço, e direciona o seu lóbulo de radiação principal a uma certa área de interesse, em detrimento de outra região em que não é necessário radiar.

Além dos diagramas de radiação, uma outra forma de especificar as características de radiação de uma antena é dada por grandezas tais como o *ganho* e a *diretividade*. A seguir são desenvolvidas algumas noções relativas a estes conceitos.

2.4.3 Ganho Diretivo

O *ganho diretivo* $G_d(\theta, \phi)$ é definido como uma medida da concentração da potência radiada em uma determinada direção, definida por θ, ϕ , a uma distância “r” fixa da antena [P5]. Este ganho pode ser entendido como a capacidade de uma antena direcionar a potência radiada segundo uma determinada direção. O ganho diretivo pode ser calculado como sendo a razão entre a intensidade de radiação em uma dada direção e a intensidade de radiação média [P3]:

$$G_d(\theta, \phi) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{\wp_{med}}$$

Como a potência média é dada por [P3]:

$$\wp_{med} = \frac{P_T}{4\pi r^2}$$

Reescreve-se o ganho diretivo como sendo:

$$G_d(\theta, \phi) = \frac{4\pi r^2 \wp(\theta, \phi)}{P_T} \quad \text{(GANHO DIRETIVO)} \quad 2-32$$

Para o caso do dipolo elétrico, cujo diagrama está oportunamente representado anteriormente, pode-se observar que a potência radiada é máxima para $\theta = 90^\circ$ e nula para $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$.

2.4.4 Diretividade

A *diretividade* (D) de uma antena corresponde ao valor do ganho diretivo na máxima direção de radiação ou recepção, ou seja, a maximização da função ganho diretivo. Sua definição formal é entendida como a razão entre a densidade de potência máxima e a densidade de potência média [P3].

$$D = \frac{\wp_{max}}{\wp_{med}} = G_d(\theta, \phi)|_{max} \quad \text{(DIRETIVIDADE)} \quad 2-33$$

Ela pode ser compreendida intuitivamente como sendo uma medida da focalização da radiação da antena em uma dada região. Para uma antena isotrópica, a densidade de potência é dada por [P3]:

$$\wp(\theta, \phi) = \frac{P_T}{4\pi r^2} \quad 2-34$$

De onde, utilizando as equações 2-32 e 2-33, e aplicando 2-34 torna-se natural inferir que:

$$D = \frac{4\pi r^2 \wp(\theta, \phi)}{P_T} \Big|_{\max} = 1$$

A constante $D = 1$ significa que a antena isotrópica não possui propriedade direcional, portanto, este é o mínimo valor que D pode assumir. A diretividade de uma antena costuma ser expressa em decibéis (dB), ou em relação à diretividade da antena isotrópica, utilizando-se o índice “i” (dBi).

Logo, para antena isotrópica tem-se:

$$D = 1 \text{ ou } D(\text{dBi}) = 10 \log D = 0 \text{ dBi}$$

Para um dipolo infinitesimal a densidade de potência é dada por [P5]:

$$\wp(\theta, \phi) = \frac{15\pi}{r^2} \left(\frac{\ell}{\lambda} \right)^2 I_0^2 \sin^2 \theta \quad 2-35$$

A partir da integração de 2-35 é obtida a potência total expressa por [P5]:

$$P_T = 40\pi^2 \left(\frac{\ell}{\lambda} \right)^2 I_0^2 \quad 2-36$$

Substituindo as equações 3-35 e 3-36 em 3-33, temos:

$$D = \frac{4\pi r^2 \wp(\theta, \phi)}{P_T} \Big|_{\max} = 1,5 \sin^2 \theta \Big|_{\max} = 1,5$$

Como o ganho diretivo máximo ocorre para $\theta = 90^\circ$, tem-se que para a antena dipolo infinitesimal:

$$D = 1,5 \text{ ou } D(\text{dBi}) = 1,76 \text{ dBi, ou ainda } D(\text{dBd}) = 0 \text{ dBd}$$

Alguns autores utilizam o dipolo infinitesimal como referência para comparação da diretividade das antenas e, nestes casos, utiliza-se a notação com o índice “d” (em dBd).

2.4.5 Ganho de Potência

A definição do ganho diretivo $G_d(\theta, \phi)$, apresentada anteriormente, é simplesmente função do padrão de radiação da antena e não levam em consideração as suas perdas ôhmicas. Seja P_{in} a potência recebida pela antena durante o processo de radiação, e P_T a potência total radiada pela antena, a diferença entre estas duas é a potência dissipada (P_p) devido às perdas ôhmicas (efeito joule) na antena. Portanto, tem-se que [P8]:

$$P_{in} = P_p + P_T \quad 2-37$$

A definição de *ganho de potência* é dada por [P8]:

$$G_p(\theta, \phi) = \frac{4\pi r^2 \wp(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{GANHO DE POTÊNCIA}) \quad 2-38$$

2.4.6 Eficiência

A *eficiência de radiação* da antena pode ser definida como sendo a razão entre o ganho de potência (equação 2-38) e o ganho diretivo (equação 2-32). Portanto, tem-se que a eficiência é dada por [P8]:

$$\eta_r = \frac{G_p(\theta, \phi)}{G_d(\theta, \phi)} = \frac{P_T}{P_{in}} \quad (\text{EFICIÊNCIA}) \quad 2-39$$

Utilizando-se a equação 2-37, obtém-se:

$$\eta_r = \frac{P_T}{P_p + P_T}$$

Reescrevendo em termos da corrente nos terminais de entrada da antena, tem-se:

$$\eta_r = \frac{\frac{1}{2}|I_{in}|^2 R_T}{\frac{1}{2}|I_{in}|^2 (R_p + R_T)}$$

E por fim se expressa a eficiência em termos da resistência total (R_T) de radiação e da resistência de perda (R_p) (ou resistência ôhmica):

$$\eta_r = \frac{R_T}{R_p + R_T}$$

Para maioria das antenas a eficiência é próxima de 100% ($\eta_r \cong 1$, $R_p \cong 0$), e o ganho de potência é aproximadamente igual ao ganho diretivo [P5].

2.4.7 Abertura Efetiva

A *abertura efetiva* (A_e) de uma antena é uma característica típica de antenas receptoras, e está relacionada com a sua capacidade de captar energia de uma onda eletromagnética incidente [P5]. Sua definição formal é dada como a razão entre a potência recebida P_r (potência captada pela antena) e a densidade de potência (\wp) da onda incidente (quando a polarização da onda incidente e a da antena receptora estão casadas) [P5]. Portanto, a abertura efetiva, ou área efetiva, de uma antena é dada por:

$$A_e = \frac{P_r}{\wp} \quad (\text{ABERTURA EFETIVA}) \quad 2-40$$

A unidade obtida pela equação 2-40 é expressa como área (dada em m²). Admite-se que quanto maior a abertura efetiva de uma antena maior é a sua capacidade de extrair potência da onda incidente. Entretanto, cabe ressaltar que a abertura efetiva de uma antena não é necessariamente igual à sua abertura física [P3]. A abertura física e a abertura efetiva estão relacionadas pela *eficiência de abertura* (ε_{ab}), dada pela expressão:

$$A_e = \varepsilon_{ab} A_f$$

A eficiência da abertura indica o quão eficiente a abertura física da antena é utilizada, e é dependente da distribuição dos campos no entorno da antena [P3].

2.4.8 Polarização da Antena e Casamento de Polarização

A *polarização* de uma antena está relacionada com o tipo de polarização da onda eletromagnética que a antena é capaz de radiar ou de receber energia. Desta forma, uma antena é dita ser com polarização linear quando a onda que é radiada ou recebida por esta antena também possui uma polarização linear.

O maior problema do efeito da polarização da antena está relacionado aos sistemas de recepção. Em geral, a polarização de uma antena receptora não é a mesma polarização da onda incidente e isso acaba por dificultar o acoplamento de energia entre onda e antena. Como resultado do problema de acoplamento, existe uma perda na captação do sinal de interesse, que é denominada *perda de polarização*. No intuito de extrair máxima potência do sinal, é necessário ajustar a antena receptora para a mesma polarização da onda incidente, tal processo é denominado *casamento de polarização*. O fator de casamento de polarização (*PMF* – do inglês *Polarization Matching Factor*) é definido como [P3]:

$$PMF = |\vec{a}_{inc} \cdot \vec{a}_{ant}|^2 = \cos^2 \psi_p \quad \text{(FATOR DE CASAMENTO DE POLARIZAÇÃO) 2-41}$$

Onde \vec{a}_{inc} é o vetor unitário na direção de polarização da onda incidente, \vec{a}_{ant} é o vetor unitário na direção de polarização da antena e ψ_p é o ângulo entre as direções de polarização da onda incidente e da antena receptora.

A partir da equação 2-41 pode-se observar as seguintes possibilidades:

- Casamento de Polarização: $\psi_p = 0^\circ$ logo, $PMF = 1$; ($P_r = P_{max}$)
- Descasamento Parcial: $0^\circ < \psi_p < 90^\circ$ logo, $0 < PMF < 1$; ($0 < P_r < P_{max}$)
- Descasamento Total: $\psi_p = 90^\circ$ logo, $PMF = 0$ ($P_r = 0$)

O fator de casamento de polarização também costuma ser expresso em decibéis a partir da fórmula: $PMF(dB) = 10 \log PMF$. Algumas das principais situações do acoplamento relativo (para casamento de polarização) entre onda incidente e antena receptora estão representadas na Tabela 2-5.

Fator de Casamento de Polarização (PMF)		Polarização da Onda Incidente					
		Vertical ↑	Horizontal →	Circular Direita ⦿	Circular Esquerda ⊙	Linear Inclínada Direita ↗	Linear Inclínada Esquerda ↖
Polarização da Antena	Vertical ↑	1	0	1/2	1/2	1/2	1/2
	Horizontal →	0	1	1/2	1/2	1/2	1/2
	Circular Direita ⦿	1/2	1/2	1	0	1/2	1/2
	Circular Esquerda ⊙	1/2	1/2	0	1	1/2	1/2
	Linear Inclínada Direita ↗	1/2	1/2	1/2	1/2	1	0
	Linear Inclínada Esquerda ↖	1/2	1/2	1/2	1/2	0	1

Tabela 2-5: Situações para Acoplamento Entre Antena Receptora e Onda Incidente (adaptado de [P3])

2.4.9 Fator de Antena

Grande parte das características de antenas citadas neste trabalho é bastante difundida para antenas de comunicação e, portanto, configuram uma terminologia tradicional que é comum na área de transmissão de sinais. Entretanto, para aplicações na área de EMC, a maneira mais utilizada para caracterizar as propriedades de recepção de uma antena é a noção de *fator de antena* (AF – do inglês *antenna factor*) [P5]. Assim, o termo fator de antena está intrinsecamente relacionado ao uso de uma antena como sendo um dispositivo utilizado para medição de campos elétricos (ou magnéticos). Cabe ressaltar, que o fator de antena pode ser perfeitamente relacionado com os parâmetros tradicionais de caracterização de antenas, tais como, *ganho*, *diretividade* e *abertura efetiva* [P42].

A definição formal de fator de antena (elétrico) pode ser entendida como a taxa da intensidade de campo elétrico incidente (E_{inc}) na superfície da antena receptora pela tensão recebida (V_{rec}) nos terminais da antena [P5] (junto ao ponto de conexão do sistema receptor).

$$AF = \frac{E_{inc}}{V_{rec}} \quad \text{(FATOR DE ANTENA)} \quad 2-42$$

Usualmente, um sistema receptor para medição como, por exemplo, um analisador de espectro, é conectado aos terminais da antena por meio de um cabo coaxial. Conforme ilustrado na Figura 2-10, o fator de antena pode ser entendido como uma função de transferência de um sistema linear, assim como, em termos de circuito equivalente.

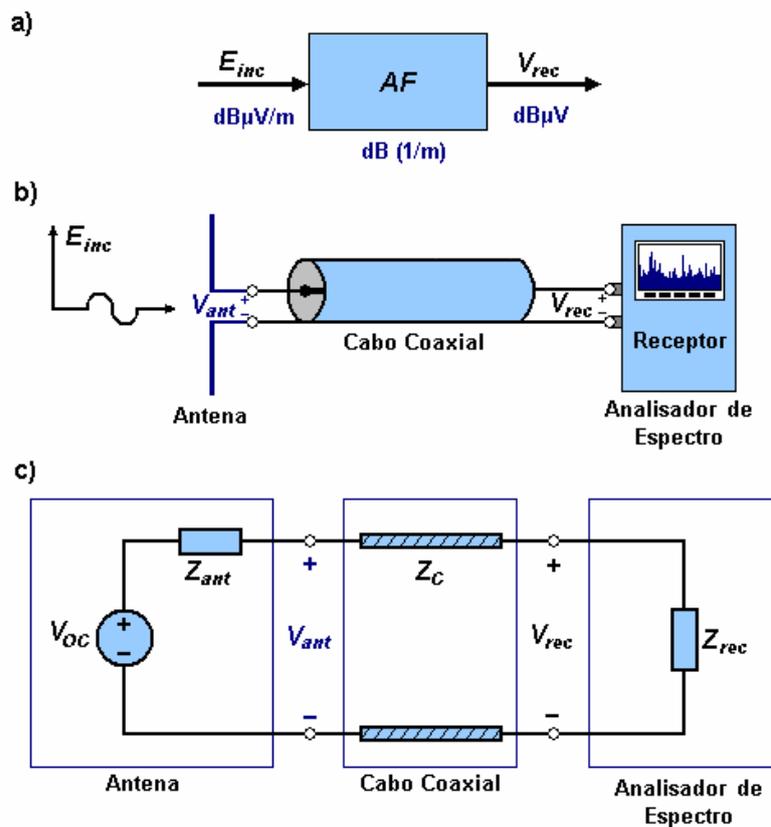


Figura 2-10: O Fator de Antena: a) Função de Transferência; b) Circuito Geral; c) Circuito Equivalente. (Adaptado de [P5])

O fator de antena possui a unidade de $1/\text{m}$ que, a rigor, é derivado da relação de 1 V/m por V (AF elétrico), mas geralmente para propósitos de notação, a unidade de $1/\text{m}$ costuma ser ignorada. Além disso, para utilização da escala logarítmica, os fabricantes de antena costumam fornecer os valores em decibéis (dB).

Na área de EMC, é comum expressar os valores de tensão e campo elétrico relacionados a $\text{dB}\mu$ e, dessa forma, reescreve-se a relação 2-42 como sendo:

$$AF_{(dB)} = E_{inc}(dB\mu V / m) - V_{rec}(dB\mu V) \quad 2-43$$

Assim, para obter o valor do campo elétrico incidente na antena basta utilizar a expressão:

$$E_{inc}(dB\mu V / m) = V_{rec}(dB\mu V) + AF_{(dB)} \quad 2-44$$

A equação 2-44 é uma maneira simples para converter a tensão registrada pelo analisador de espectro (V_{rec}) nos valores de campo incidente na antena receptora (E_{inc}) (efetuando diretamente a soma da tensão lida com o valor do fator de antena). Sua utilização é correta para os casos em que o sistema de medição empregado possui a exata configuração definida pelo fabricante conforme o teste de calibração do AF (i.e. até o ponto de leitura utilizado no teste – que geralmente envolve as perdas de acoplamento da antena, dos conectores, e da atenuação do cabo coaxial fornecido com o conjunto). Para sistemas modificados que não seguem a configuração expressamente definida pelo fabricante, como a utilização de cabos extensores ou atenuadores, as perdas adicionais devem ser computadas (em dB) sempre como um valor positivo ao lado direito da equação.

Como exemplo, seja a utilização de um cabo extensor de comprimento “ ℓ ”, dado em metros, com atenuação “ α ”, dada em nepers/m. Para esta situação, é necessário considerar as perdas ocorridas no cabo coaxial (Pc), obtidas pela seguinte expressão [P42]:

$$Pc = e^{\alpha\ell} \quad 2-45$$

Retomando a equação 2-44, adicionam-se as perdas ocorridas no cabo coaxial escrevendo-as como um número positivo, conforme demonstra a equação 2-46 [P5]:

$$E_{inc}(dB\mu V / m) = V_{rec}(dB\mu V) + AF_{(dB)} + Pc_{(dB)} \quad 2-46$$

É importante ressaltar que os valores de AF podem variar dentro da faixa frequência em que a antena foi projetada para operar. Por esta razão, é comum por parte dos fabricantes o fornecimento do fator de antena sob a forma de uma tabela de correção (ou gráfico) dos valores em função da faixa frequência de operação da antena. Embora antenas do mesmo modelo possuam um comportamento semelhante dentro da sua faixa de operação, os valores de fator de antena (ou fator de correção) são específicos para cada uma delas, e obtidos a partir de ensaios de calibração realizados pelo fabricante. A configuração utilizada nestes ensaios de calibração define a limitação das aplicações da antena receptora.

Como exemplo, é interessante frisar que uma mesma antena pode apresentar diferentes conjuntos de fatores de correção, que são definidos tanto para medições em

campo próximo, quanto para medições campo distante [P42]. Uma especificação comum apresentada nas tabelas de fator de antena é a distância da fonte a ser medida, tipicamente ajustada para aquisição de dados a 1m, 3m, 10m ou 30m conforme especificado pelo ensaio de calibração realizado.

Por fim, destaca-se que a análise aqui apresentada também pode ser obtida para valores de campo magnético. Neste caso, é definido o *fator de antena magnético* (AF_m) a partir do campo magnético incidente, dado pela relação:

$$AF_m = \frac{H_{inc}}{V_{rec}}$$

A unidade utilizada para o fator de antena magnético é o S/m, derivada da relação A/m por V.

2.4.10 Região de Campo Próximo e Campo Distante

Uma importante característica a ser observada em fontes de energia radiada é o comportamento dos campos eletromagnéticos no entorno de seus elementos radiantes. Em geral, na região mais próxima da fonte o comportamento dos campos possui um padrão geométrico bastante complexo, que é dependente da forma e da posição dos elementos radiantes da antena, e resulta em uma difícil representação matemática. À medida que nos afastamos da fonte radiante, a influência da antena passa a ser desprezível, e os campos eletromagnéticos começam a apresentar uma geometria plana, com simplificação matemática considerável. Existe um grande interesse prático na área da EMC que objetiva a definição de um contorno (esfera limite) entre a região de campo próximo e campo distante que, em geral, busca indicar a região de transição dos campos eletromagnéticos com padrões complicados para estruturas simples [P5].

O volume concebido ao redor de uma antena pode apresentar duas ou três regiões distintas para o comportamento dos campos eletromagnéticos [P41]. A definição de cada uma das regiões leva em consideração os termos dominantes ($1/r^3$, $1/r^2$ ou $1/r$) que aparecem no equacionamento dos campos eletromagnéticos ao redor de uma antena (este equacionamento está detalhado no ANEXO A.2). No modelo mais completo, o de três regiões, o seu entorno é dividido em *campo distante*, *campo próximo radiante* e *campo próximo reativo*, conforme ilustra a Figura 2-11.

Campo distante (Região de Fraunhofer): Esta região corresponde à porção mais afastada do entorno de uma fonte eletromagnética, onde a distância é suficientemente

grande para que apenas os elementos de campo radiante sejam significativos. Nesta região, os campos eletromagnéticos se aproximam de ondas planas, as componentes de campo elétrico (E_θ) e magnético (H_ϕ) são ortogonais e a sua razão é dada pela impedância intrínseca do meio $E_\theta/H_\phi = \eta_0 = 377 \Omega$ [P5].

Campo próximo radiante (Região de Fresnel): Esta região corresponde à porção intermediária no entorno de uma fonte eletromagnética, e está compreendida entre o campo distante e o campo próximo reativo. Nesta região, os campos radiantes são predominantes, mas a distribuição angular ainda é dependente da distância e da geometria da antena [P41]. Portanto, em geral os campos nesta região podem apresentar outras componentes geométricas e campos de natureza reativa (não radiante) também podem estar presentes.

Campo próximo reativo (Região da antena): Esta região corresponde à porção imediatamente vizinha às superfícies da antena, onde as componentes de campo não radiantes (campos quase-estáticos) são dominantes e estão associadas à potência reativa. O termo reativo está relacionado ao fato da potência (reativa) apenas circular entre a fonte e o campo próximo reativo, ou então, somente na região de campo próximo reativo [P41].

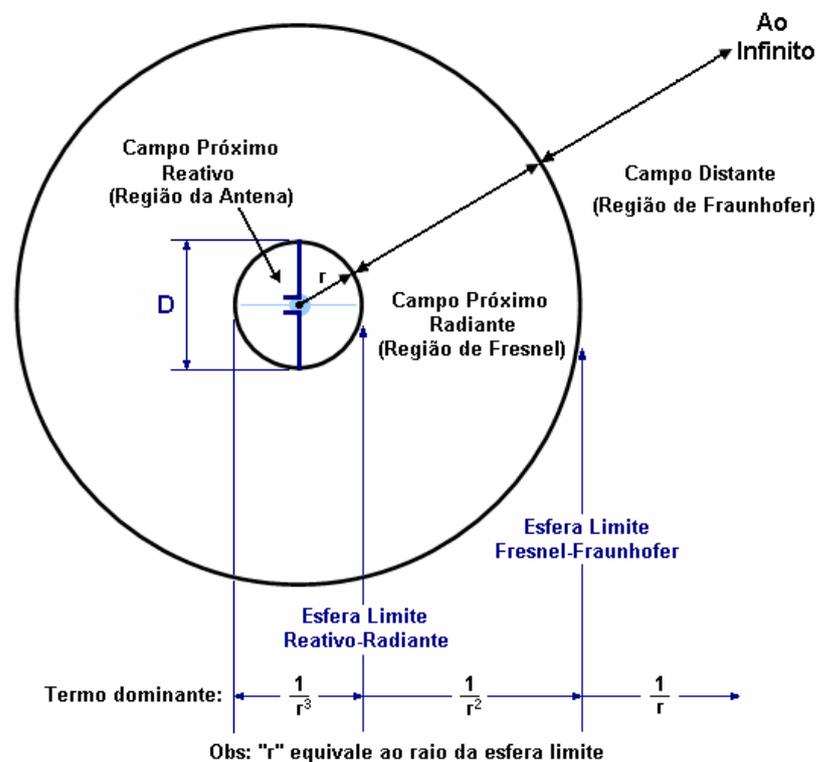


Figura 2-11: Regiões de Campo no Entorno de uma Antena. (Adaptado de [P4])

É importante destacar que estes limites não são fixos no espaço, pois eles são dependentes da frequência de operação dos sinais envolvidos e também do montante de erro que pode ser tolerado para cada aplicação [P26]. Para os propósitos deste trabalho,

serão utilizadas as aproximações apresentadas pela Tabela 2-6, que foram desenvolvidas a partir de uma discussão detalhada no que tange à definição da esfera limite. A leitura deste desenvolvimento é fortemente recomendada e encontra-se no ANEXO A.2.

Aproximações para Região de Campo Distante			
Tamanho	Relação (D/λ)	Aproximação Utilizada	Parâmetro Dominante
Antena Infinitesimal	$\ll 1$	$r = \frac{\lambda}{2\pi}$	Campo Eletrostático
Antena Eletricamente Pequena	< 1	$r = 2\lambda$	Comprimento de Onda
Antena Eletricamente Grande	> 1	$r = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}$	Tolerância do Desvio de Fase

Tabela 2-6: Aproximações para Região de Campo Distante.

2.4.11 Impedância de Entrada

O conhecimento da impedância de entrada de uma antena é um fator fundamental para uma eficiente transferência de potência da fonte para a antena (na transmissão de sinais), ou da antena para o receptor (na recepção de sinais). A rigor, a impedância de entrada é definida como a impedância que a antena apresenta à linha de transmissão a qual está conectada [P3]. Para que ocorra a máxima transferência de potência do sistema, é desejável que a antena, a linha de transmissão e o receptor (ou fonte) possuam impedâncias casadas. Em geral, os sistemas para transmissão e recepção de radiofrequência possuem impedância de 50 Ω. Este valor foi escolhido um dos padrões para cabos coaxiais, pois apresenta um bom compromisso entre a perda dissipativa e a transferência de potência [P40].

Quando não existe o casamento de impedâncias entre a antena e o restante do sistema, a transmissão de sinais torna-se ineficiente, eis que ocorre a reflexão de parte do sinal a ser transmitido ou recebido. Para o caso de um sistema de transmissão sem casamento de impedância, uma parte da potência gerada pela fonte é refletida nos terminais da antena e, como consequência, apenas uma parcela menor de potência será radiada pela antena. Já para sistemas de recepção sem casamento de impedância, parte da potência recebida pela antena é refletida nos seus terminais sendo re-radiada ao ambiente e, como consequência, apenas uma parcela menor da potência extraída da onda incidente pela antena chega efetivamente ao receptor.

O módulo do coeficiente de reflexão de uma antena, que varia entre 0 e 1, é dado pela expressão 2-47 [P3]:

$$\Gamma = \frac{V_{refletido}}{V_{incidente}} = \frac{Z_{antena} - Z_{linha}}{Z_{antena} + Z_{linha}} \quad \text{(COEFICIENTE DE REFLEXÃO)} \quad 2-47$$

É possível calcular a potência refletida no sistema através da equação 2-48 [P40]:

$$P_{refletida} = P_{incidente} \cdot |\Gamma|^2 \quad \text{(POTÊNCIA REFLETIDA)} \quad 2-48$$

Para os casos em que existe reflexão da onda incidente, é possível observar a formação de uma onda estacionária no sistema. Por esta razão, a qualidade do casamento da impedância de entrada de uma antena é geralmente especificada pelo coeficiente de onda estacionária (*VSWR* – do inglês *Voltage Standing Wave Ratio*), dado por [P3]:

$$VSWR \triangleq \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{incidente} + V_{refletido}}{V_{incidente} - V_{refletido}} \quad 2-49$$

O coeficiente de onda estacionária está relacionado ao coeficiente de reflexão, de acordo com a expressão 2-50 [P40]:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{(COEFICIENTE DE ONDA ESTACIONÁRIA)} \quad 2-50$$

Os valores deste coeficiente podem variar no intervalo entre 1 (onda não estacionária) e infinito (onda puramente estacionária).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o fechamento deste capítulo, compreende-se que foram aqui brevemente revisados os principais conceitos para um entendimento completo das análises e conclusões a serem desempenhadas nesta pesquisa. As noções teóricas desenvolvidas nesta seção formam os fundamentos para o embasamento científico de todo o trabalho realizado.

O capítulo seguinte, a exemplo deste, continua a realizar uma abordagem teórica dos aspectos voltados a este trabalho, entretanto, ele está direcionado para a discussão das principais dificuldades a serem superadas quando se objetiva trabalhar em um ambiente clínico, que é repleto de características peculiares que devem ser respeitadas. A discussão que se segue passa pela definição dos principais aspectos de EMC encontrados em EAS, de como eles devem ser levantados, e ainda, de quais os procedimentos e normas técnicas são cabíveis para alcançar os objetivos pretendidos pela presente pesquisa.

Capítulo III

3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Os testes de EMC quando realizados em ambientes clínicos envolvem uma série de novas complexidades que não são encontradas na realização de testes em ambiente controlado [P53]. A primeira divergência em relação a estas duas situações implica no fato de que em testes realizados em ambientes controlados, como laboratórios de ensaio, existem diversas condições que estabelecem a sua total reprodutibilidade. Estes testes são definidos por procedimentos normativos previamente estabelecidos e tratam-se, geralmente, de ambientes eletromagneticamente isolados. Pode-se citar a utilização de câmaras anecóicas ou testes em áreas abertas para ensaios de emissão radiada ou ainda a utilização de redes fictícias (LISN) para ensaios de emissão conduzida [P6]. Estas condições asseguram ao ambiente eletromagnético estudado um comportamento estático e invariante no tempo.

Entretanto, na realização de estudos relacionados ao ambiente eletromagnético em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) é possível observar uma série de condições dinâmicas, e que não são totalmente controláveis em razão da natureza destes ambientes. Além disso, não é trivial encontrar na literatura normativa procedimentos que definam um protocolo de medição que seja adequado para realizar o levantamento eletromagnético em ambientes clínicos, onde além da complexidade do sistema em si, ainda é imposta uma série de restrições, como acesso limitado a setores críticos, questões de assepsia e de segurança aos pacientes. Diante disto, emergem aqui dois problemas fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho:

1. Quais as características presentes em um ambiente clínico eletromagneticamente complexo são passíveis de serem observadas?
2. Como realizar a adequação dos procedimentos normativos de EMC a um ambiente restrito, complexo e com características dinâmicas?

A partir destas indagações, o presente capítulo objetiva uma maior investigação dos ambientes eletromagnéticos encontrados em EAS, baseando-se, principalmente em

pesquisas publicadas por outros grupos, tanto em âmbito nacional quanto internacional. O primeiro propósito é realizar a verificação das principais fontes eletromagnéticas presentes em um ambiente hospitalar e, assim, definir como o ambiente está globalmente caracterizado. Baseado nesta verificação será possível definir quais as normas são mais adequadas para integrar a pesquisa ao ambiente clínico. Nesta segunda etapa, a principal discussão avalia que para propósitos de EMC, as normas são geralmente desenvolvidas para caracterização de ambientes de natureza estática e com padrões de emissão bem definidos (geralmente proveniente de um equipamento). Desta forma, é importante uma avaliação de quais as adaptações vêm sendo realizadas por pesquisadores que buscam a caracterização do ambiente clínico, bem como a definição de quais os índices limítrofes podem garantir uma operação adequada para os equipamentos eletromédicos e para segurança pessoal.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE EM EAS

O ambiente eletromagnético de um EAS é caracterizado por diversos fatores que tornam importante o estudo detalhado de seu comportamento. A principal característica desse complexo sistema é delineada pelas inúmeras fontes de energia eletromagnética presentes nestes estabelecimentos. Seguindo as definições clássicas adotadas na área de EMC, este estudo utiliza a classificação das fontes de energia eletromagnética como *intencionais* ou *não intencionais*.

3.1.1 A Presença de Fontes Não Intencionais

Dentre as fontes não intencionais de energia eletromagnética que estão presentes em um ambiente clínico destacam-se os equipamentos de princípio elétrico destinados a diversas aplicações, mas que acabam por emitir energia eletromagnética como um subproduto do seu princípio de funcionamento. Nesta classe de equipamentos estão em evidência os eletrodomésticos, equipamentos eletroeletrônicos em geral e os próprios EEM.

Os eletrodomésticos e equipamentos eletroeletrônicos em geral estão relacionados diretamente ao apoio da infra-estrutura do EAS. Estes dispositivos podem ser encontrados em diversos setores do hospital e são utilizados pelos serviços de limpeza, de vigilância, cozinha e ainda nos setores de gerenciamento do estabelecimento. São exemplos destes equipamentos os microcomputadores, sistemas de televisão e vídeo, aparelhos de TV lâmpadas fluorescentes, enceradeiras, aspiradores, liquidificadores, dentre outros.

Outro conjunto de equipamentos importante na caracterização dos ambientes em EAS são os próprios EEM ([P28] [P52] [P53] [P54]). A engenharia e o avanço tecnológico dos dispositivos eletrônicos têm proporcionado um desenvolvimento e integração tão grande com a medicina que estes equipamentos tornam-se cada vez mais ligados aos procedimentos médicos da rotina hospitalar, seja para definição de diagnóstico, para monitorização de sinais biológicos, ou até mesmo no suporte vital. Dentre os equipamentos com larga escala de utilização, pode-se citar os monitores multiparâmetros, os eletrocardiógrafos e eletroencefalógrafos, ventiladores pulmonares, bombas de infusão, carros de anestesia, máquinas de diálise e de circulação extra-corpórea, equipamentos de ultra-som, tomógrafos computadorizados, raios-X e a unidade eletrocirúrgica (UEC). Este último instrumento, popularmente conhecido como bisturi elétrico, desperta um interesse especial em diversos grupos de pesquisa.

A UEC, que é utilizada para corte e coagulação, é considerada um dos principais agentes causadores de EMI ([P17] [P22] [P38] [P49] [P50]) no ambiente hospitalar. Embora este dispositivo opere com uma frequência base, ao formar o arco elétrico pertinente ao seu funcionamento, ela acaba emitindo energia de rico conteúdo espectral que atinge diversas faixas de frequência (teoricamente infinitas) e, dessa forma, altera consideravelmente o comportamento eletromagnético do ambiente.

3.1.2 A Presença de Fontes Intencionais

Com relação a fontes intencionais de energia eletromagnética podem-se destacar, principalmente, os equipamentos ligados aos sistemas de comunicação. Estes equipamentos emitem energia eletromagnética de forma intencional para cumprir com a finalidade de transmitir informações aos equipamentos receptores. Nesta classe de equipamentos destacam-se os sistemas de telemetria, estações rádio base, antenas de TV e rádio, além de equipamentos portáteis como o telefone celular e o *walkie-talkie*.

No caso da telefonia celular, percebe-se que uma das grandes preocupações referentes a estes sistemas é em razão da grande quantidade de aparelhos portáteis que podem estar circulando nestes ambientes ([P2] [P15] [P24] [P25] [P31] [P36] [P39] [P63] [P66]). Tal afirmação leva em consideração, principalmente, o grande crescimento do mercado de telefonia celular, proporcionado pelos inúmeros benefícios trazidos por esta tecnologia que já atinge milhares de pessoas em todo mundo. Ainda assim, outros sistemas de comunicação também influenciam consideravelmente as características

eletromagnéticas do ambiente, como por exemplo, os sistemas de comunicação utilizados pela equipe de segurança do hospital (i.e., *walkie-talkie*) ([P13] [P33] [P34]).

A crescente implementação de sistemas de telemetria, dada em razão dos benefícios trazidos pelo monitoramento de pacientes à distância, também tem se mostrado um influente fator no ambiente eletromagnético dos EAS. Muita discussão é realizada sobre a faixa de frequências que estes sinais devem utilizar, de modo que esta nova modalidade de serviço possa coexistir no ambiente hospitalar de maneira compatível aos outros serviços.

Ainda assim, o ambiente externo, devido à localização do estabelecimento e a influência dos sistemas de rádio e TV local encontrados em sua vizinhança ([P21] [P55] [P60] [P65]), também são fatores que contribuem com significativa importância aos estudos propostos.

3.1.3 Aspectos Globais

A combinação das diversas fontes de energia eletromagnética presente nos ambientes clínicos evidencia características importantes no comportamento global dos mesmos. As fontes de energia utilizadas de maneira intermitente, suas características de locomoção (transporte e alocação) de equipamentos, a variação da amplitude de algumas fontes de energia, além das diferentes características de modulação de sinais, sugerem que o ambiente possua um comportamento eletromagnético bastante dinâmico. Esta substancial variação temporal ([P33] [P34]) é uma importante característica a ser observada para a realização dos diagnósticos propostos.

Outra importante característica a ser observada, diz respeito à configuração geométrica do ambiente avaliado. Os diferentes arranjos espaciais, configurados pela arquitetura do EAS e pela disposição dos EEM durante sua operação, podem provocar mudanças consideráveis em relação ao comportamento eletromagnético do ambiente. Estas mudanças são verificadas, principalmente, em razão das condições geométricas estabelecidas, que por sua vez, influenciam no comportamento das ondas eletromagnéticas, seja nas reflexões, nas refrações, nas atenuações, em efeitos de guia de onda proporcionados por corredores e tubulações, ou ainda, na polarização relativa entre antenas intencionais ou espúrias.

A grande quantidade de equipamentos eletrônicos e a proximidade com que estes operam durante os procedimentos clínicos são fatores que contribuem para um aumento significativo da intensidade de campo eletromagnético neste ambiente. Além disso, os

diferentes procedimentos médicos, relacionados às diversas especialidades clínicas desenvolvidas na área da saúde, sugerem que o arranjo espectral de cada estabelecimento apresente características bastante particulares. A Figura 3-1 ilustra as duas situações críticas presentes no EAS, o número de EEM e a sua proximidade.



Figura 3-1: a) Fontes Eletromagnéticas em um Ambiente Típico de EAS; b) Proximidade de EEM Durante os Procedimentos Médico.

Enfim, são inúmeros os fatores que podem ser manifestados isoladamente ou em conjunto na caracterização destes ambientes eletromagnéticos. Entretanto, todas as variáveis estabelecidas acabam por evidenciar sintomas que podem ser quantificados e identificados a partir da boa prática de conhecimentos relacionados à teoria de EMC. A aplicação desta teoria em conjunto com a medição de determinados parâmetros, torna possível engenhar, por exemplo, a solução para minimização dos fenômenos de EMI e, conseqüentemente, dos problemas a eles relacionados. Todavia, a viabilização destas medidas requer muitas vezes pessoal especializado e equipamentos sofisticados, que permitam a caracterização espectral das emissões radiadas e conduzidas em EAS. Por outro lado, esta é uma condição essencial, pois possibilita um perfeito mapeamento deste sistema e um melhor entendimento da situação eletromagnética que está estabelecida no ambiente. Como resultado disso, e a partir de uma análise adequada dos mecanismos de propagação e acoplamento da energia eletromagnética, torna-se possível a implementação de soluções simples e que proporcionem maior qualidade e segurança ao atendimento prestado pelo EAS. A Figura 3-2 ilustra a situação relacionada à caracterização dos ambientes eletromagnéticos em EAS.

Por fim, apresentou-se aqui uma idéia abrangente do ambiente no qual a presente pesquisa está inserida. A partir de agora, os esforços se dão no sentido de adequar os procedimentos normativos de medição a estes ambientes, assim como, definir os indicadores limites estabelecidos por normas, para avaliar e classificar o comportamento eletromagnético de ambientes em EAS de acordo com o objetivo deste trabalho.

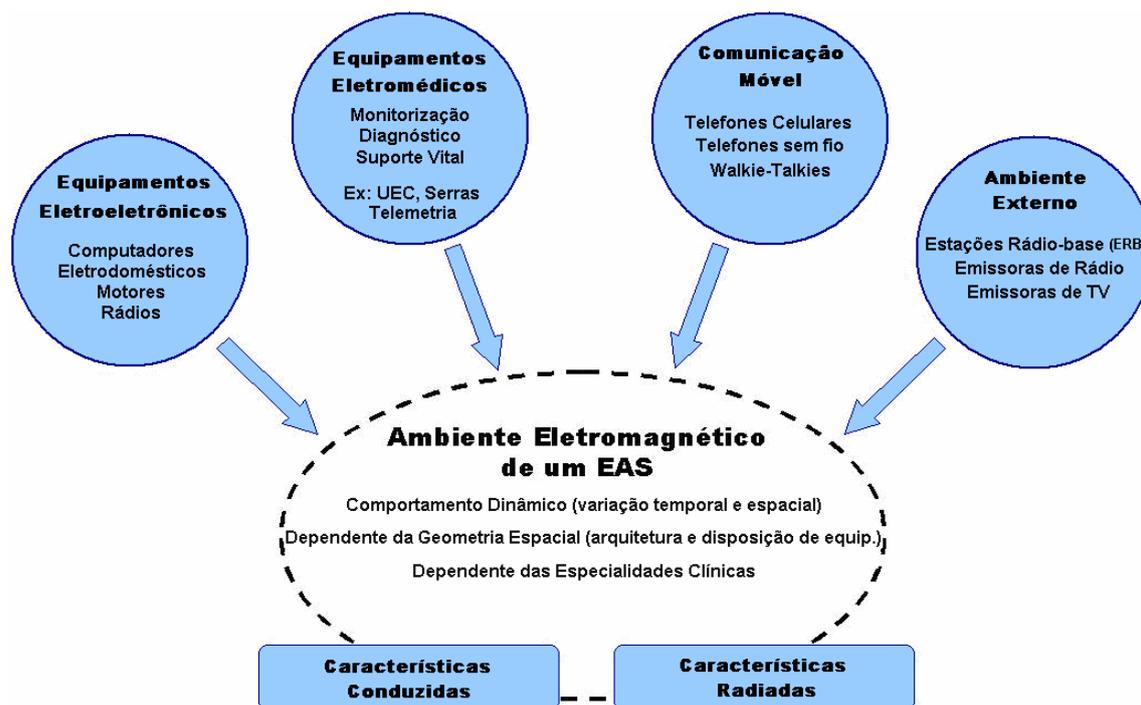


Figura 3-2: Caracterização do Ambiente Eletromagnético em um EAS.

Nesse sentido, é importante ter em mente que em ambientes clínicos, além da complexidade natural do sistema a ser avaliado, ainda é imposta uma série de restrições peculiares a estes estabelecimentos, tais como, entrada restrita e acesso limitado a setores críticos (UTI e CC), espaço físico limitado, harmonia em relação aos procedimentos clínicos, questões relacionadas à segurança de pacientes, desinfecção e limpeza, dentre outras. Estas restrições acabam por dificultar a utilização de procedimentos clássicos estabelecidos nas normas de EMC e, de certo modo, remetem a um estudo aprofundado para definição de normas a serem aplicadas nestes estabelecimentos.

3.2 DEFINIÇÃO DE NORMAS: ARGUMENTO PRELIMINAR

O argumento preliminar para a definição das normas aplicáveis ao presente estudo deve, fundamentalmente, estar em harmonia com os objetivos deste trabalho, que foram estabelecidos no Capítulo I. Desta forma, nosso interesse está voltado para “avaliação de **emissões eletromagnéticas** em **ambientes clínicos**, para realizar a sua verificação de conformidade quanto aos limites de **imunidade de EEM** e de **exposição de seres vivos** estabelecidos pelas normas em vigor no país”. A partir disso, a apresentação das normas adotadas em neste estudo, assim como a justificativa para sua adoção é apresentada no tópico seguinte.

3.3 NORMAS ADOTADAS

Existem três tipos de normas pertinentes para realização da pesquisa aqui proposta, a saber, normas para sistemas de medição, normas para procedimentos de medição e normas para limites de segurança. A importância desta avaliação, assim como o seu discernimento, está basicamente relacionada à clareza do processo científico e metrológico em questão, pois entende-se que, mais importante do que os dados obtidos pela pesquisa é o processo científico desenvolvido e os fins utilizados para obtenção destas informações. Para tanto, o objetivo de cada categoria de norma e as suas relações são definidas a seguir.

Normas para Sistemas de Medição: Estas normas objetivam a especificação das características técnicas e o desempenho necessário aos equipamentos e sistemas de aquisição de sinais para garantir a medição adequada dos parâmetros de interesse ao estudo de EMC. Além da especificação do equipamento, é comum a apresentação dos sensores que podem ser utilizados, assim como suas especificações técnicas, para cada faixa de frequência de interesse. São exemplos destas normas, que foram adotadas para este trabalho, a ANSI C63.2 [N1] e a CISPR 16-1 [N16].

Normas para Procedimentos de Medição: Estas normas objetivam a definição dos métodos de medição que devem ser aplicados para a aquisição adequada das grandezas elétricas de interesse. O principal propósito destas normas é procurar manter a ordem científica do processo metrológico em questão, buscando garantir a sua reprodutividade e coerência de resultados. São exemplos destas normas, que foram adotadas para este trabalho, a IEEE Std. 139 [N19] e a IEEE Std. C95-3 [N20].

Normas para Limites de Segurança: Conforme o próprio enunciado, objetivo destas normas é o estabelecimento dos critérios de segurança e a definição dos níveis limítrofes com relação aos parâmetros de interesse da EMC. Estas normas são baseadas em evidências científicas sobre o aparecimento de determinadas perturbações ou efeitos danosos, os quais se desejam suprimir ou evitar. São exemplos destas normas que foram adotadas para este trabalho a NBR IEC 60601-1-2 [N4] e a ICNIRP 1998 [N7]. Elas são fundamentais nesta pesquisa, pois definem o diagnóstico de um ambiente classificando-o como adequado ou não, seja com relação à operação segura de EEM ou para a saúde de seres vivos. Dada a sua importância, uma discussão detalhada sobre cada uma delas será realizada mais adiante.

Uma importante observação a ser destacada quanto ao conjunto de normas adotadas neste trabalho é o fato delas serem complementares. As normas adotadas para

procedimentos de medição freqüentemente referenciam as normas que especificam as características do equipamento de medição. As normas de limites de segurança, por sua vez, também costumam especificar o tipo de medição e as características dos equipamentos a que se referem os seus limites e, portanto, também estão correlacionadas às outras.

As relações fundamentais estabelecidas entre as normas adotadas, assim como o interesse principal que justifica a utilização de cada uma delas, estão esquematicamente ilustradas pela Figura 3-3. Nesta figura é possível observar duas normas que não foram explicitamente adotadas pela pesquisa, mas de certa forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que são partes integrantes no contexto destas relações - a norma CISPR 11 [N3] e a ANSI C63-4 [N2]. A CISPR 11 foi eleita por estar diretamente voltada para limites e métodos de medição de perturbações eletromagnéticas provocadas por EEM. Já a complementação da ANSI C63-4 é importante por apresentar uma abordagem bastante detalhada sobre especificações dos sistemas de medição e procedimentos, embora esta seja fundamentalmente voltada para ambientes controlados (testes de campo aberto) (*OATS - Open Area Test Sites*) [N2].

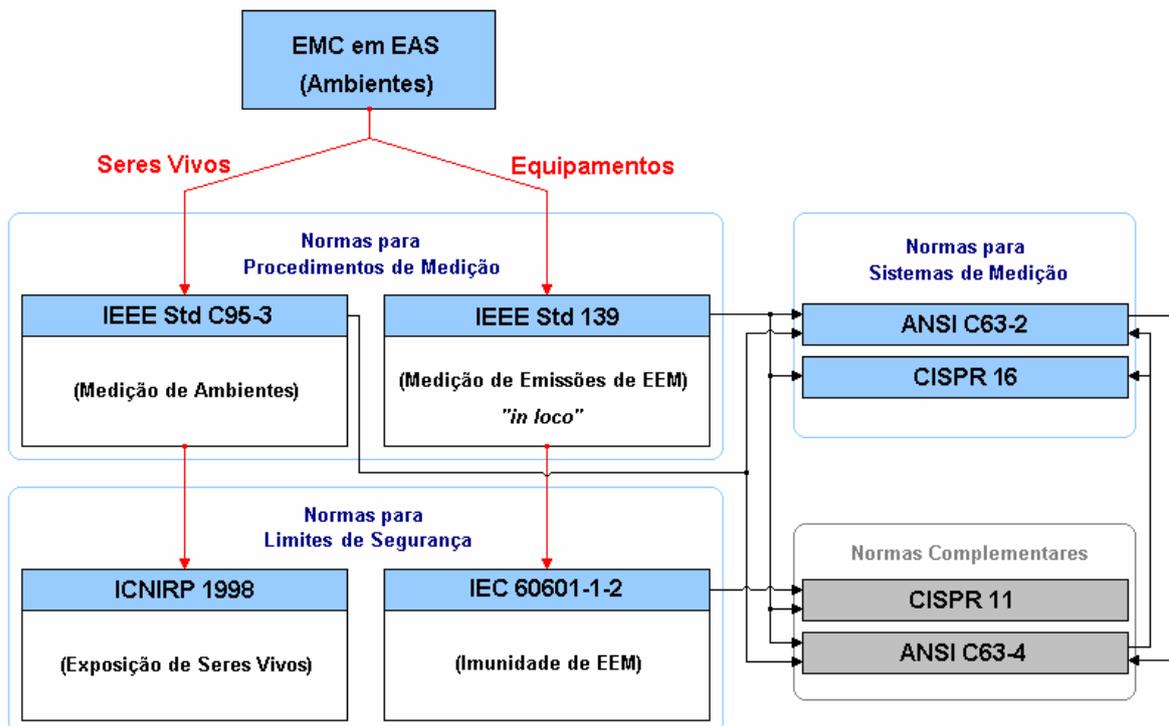


Figura 3-3: Relação Entre as Normas Adotadas.

3.3.1 Normalização para Sistemas de Medição

As normas que especificam as características técnicas dos sistemas de medição utilizadas neste trabalho são:

ANSI C63-2: Esta norma especifica os sistemas de instrumentação para medição de ruído e campos eletromagnéticos na faixa de frequência de 10 Hz até 40 GHz. Seu escopo é voltado para a definição das características do sistema, tais como unidades de medida, faixa de amplitude, seletividade e largura de banda, circuitos detectores, exatidão, sensores (antenas) e calibração, dentre outros [N1].

CISPR 16-1: A primeira parte da norma CISPR 16 especifica as principais características e o desempenho necessário aos sistemas de medição de campos eletromagnéticos no estudo de perturbação e imunidade em radiofrequências. Ela é voltada para aplicações tanto de banda larga ou banda estreita dentro dos limites de 9 kHz até 18 GHz [N16].

3.3.2 Normalização para Procedimentos de Medição

A normalização de procedimentos que sejam adequados ao ambiente clínico é uma das partes mais delicadas da pesquisa desempenhada por este trabalho. As normas utilizadas para especificação dos procedimentos de medição desenvolvidos nesta obra são:

IEEE Std. 139: Esta norma especifica métodos de medição de emissões de rádio frequência para equipamentos industriais, científicos e médicos instalados no seu ambiente de operação. Ela é a principal norma de procedimento adotada neste trabalho, pois seu escopo tem relação direta com a proposta da pesquisa aqui realizada. A abordagem apresentada por esta norma inclui a dificuldade da realização de medições eletromagnéticas em ambientes não controlados e admite que, para ambientes complexos, o agrupamento de diversos equipamentos eletrônicos que operam em um mesmo local é permitido sob o ponto de vista de emissões eletromagnéticas. Embora o escopo fundamental desta norma esteja voltado para emissão de equipamentos, ela também aborda os aspectos ambientais sob o ponto de vista de segurança pessoal [N19].

É interessante comentar que outros grupos de pesquisa [P53], com objetivos semelhantes aos traçados neste trabalho, utilizaram como procedimentos de medição a adaptação de normas para avaliação emissões em ambientes controlados (OATS), como a ANSI C63-4 [N2]. Tendo-se em vista que a IEEE Std. 139 faz referência aos trabalhos da ANSI C63-4, esta última foi adotada como norma complementar, e utilizada apenas para fins de esclarecimento dos aspectos não definidos adequadamente na norma principal.

IEEE C95-3: Esta norma especifica métodos de medição de campos eletromagnéticos na faixa de radiofrequências e microondas. Ela aborda os principais

problemas encontrados na medição de campos, algumas características dos sistemas de medição e o procedimento para medição de campos eletromagnéticos [N20]. Embora os métodos de medição apresentados por ela sejam clássicos e possam ser utilizados para medição de emissões provenientes de equipamentos, o seu objetivo principal é relacionado à verificação dos níveis de exposição de seres vivos em ambientes potencialmente perigosos. Por esta razão, ela acaba por complementar os trabalhos da IEEE Std. 139 principalmente nos aspectos de mapeamento do ambiente de interesse. Além disso, pelo fato de seu escopo ser voltado para exposição de seres vivos, ela apresenta algumas observações de protocolo que não são trazidas pelas normas que objetivam apenas a verificação de emissões provenientes de equipamentos. Então, torna-se justificada a sua adoção conjunta na definição do protocolo de medição utilizado nesta pesquisa.

3.3.3 Norma IEC 60601-1-2: Limites para Equipamentos Eletromédicos

Diversos países têm adotado a família IEC 60601 como referência para adequação dos requerimentos de segurança aos equipamentos eletromédicos. No Brasil, conforme a Resolução 444/1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), todos os equipamentos eletromédicos comercializados no país devem atender as prescrições da família da norma NBR IEC 60601 (tradução da norma internacional).

As normas da IEC de um modo geral podem ser classificadas quanto aos seguintes tipos: *Básicas*, *Genéricas*, *Família de Produtos* e *Produtos* [P57]. As *Normas Básicas* descrevem assuntos que podem servir como base para os outros tipos de norma, como definições e métodos de ensaio em geral. As *Normas Genéricas* são destinadas a produtos e sistemas em geral que não possuam características que se enquadrem em normas de *Família de Produtos* ou *Produtos*. As normas *Família de Produtos* são aplicadas para um grupo de equipamentos que possuam uma característica em comum, como por exemplo, os equipamentos eletromédicos. Por fim, as normas de *Produto* destinam-se a um determinado tipo de equipamento específico, como por exemplo, eletrocardiógrafos, bombas de infusão, etc.

A série IEC 60601 é o conjunto de normas destinadas à família de equipamentos eletromédicos. Ela é dividida basicamente em duas partes. A “parte geral”, ou “parte 1”, definida como IEC 60601-1 em conjunto com suas normas colaterais, dadas por IEC 60601-1-X. Como exemplo de uma delas, tem-se a norma colateral em EMC, que é definida como IEC 60601-1-2. Enquanto isso, a “parte particular”, ou “parte 2”, apresenta

as *Normas de Produto* definidas por IEC 60601-2-X. Como exemplo, tem-se a norma IEC 60601-2-24, que define as prescrições particulares para segurança em bombas de infusão, a norma IEC 60601-2-25, que define as prescrições particulares para segurança em eletrocardiógrafos, e assim por diante. As normas da parte 2 são bem mais específicas e, por sua vez, complementam e, dependendo da ocasião, podem substituir os requerimentos apresentados pela parte 1. Por esta razão, quando objetiva-se a certificação de um determinado equipamento é importante a observância de toda a hierarquia das normas requeridas.

De interesse especial para este trabalho, destaca-se a norma colateral NBR IEC 60601-1-2, voltada às prescrições e ensaios de compatibilidade eletromagnética. Com o objetivo de estabelecer os requerimentos em EMC para emissões e imunidade em equipamentos eletromédicos, ela faz referência aos trabalhos tanto do CISPR, quanto do comitê técnico 77 da IEC, cujo escopo é EMC. Dessa forma, as prescrições de EMC no Brasil têm como fundamento as normas CISPR para emissões e, as *Normas Básicas* da IEC para imunidade. A situação normativa para EMC em EEM no Brasil respeita a hierarquia ilustrada na Figura 3-4.

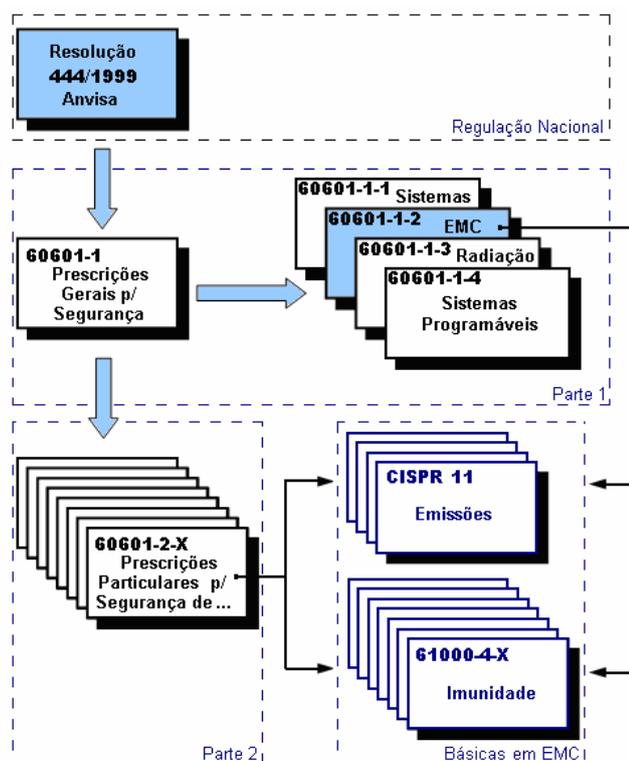


Figura 3-4: Hierarquia das Normas de EMC para Equipamentos Eletromédicos no Brasil.

O panorama internacional da EMC aplicada a equipamentos médicos está sob profundas modificações. Até então, a norma utilizada para a certificação de EEM era a

primeira edição da IEC 60601-1-2, publicada no ano de 1993. Esta norma trazia as prescrições e ensaios relativos aos testes de emissões (CISPR 11 e CISPR 14), tanto para radiadas quanto para conduzidas. Além destes, também eram requeridos testes de imunidade à descargas eletrostáticas (ESD) (IEC 61000-4-2) [N9], teste de imunidade radiada (IEC 61000-4-3) [N10], teste de imunidade a transientes rápidos (rajadas) (IEC 61000-4-4) [N11] e imunidade a surtos de tensão (IEC 61000-4-5) [N12]. Entretanto, ao observar os freqüentes relatos sobre a ocorrência de EMI em equipamentos certificados pela norma de 1993, e o intenso questionamento quanto aos níveis limites trazidos pela mesma, a IEC publicou no final do ano de 2001 a segunda edição da norma IEC 60601-1-2. A chegada desta publicação transforma o cenário atual, em tempo de profundas transformações relacionadas à EMC em equipamentos eletromédicos.

A segunda edição da norma IEC 60601-1-2 é bem mais completa e revisada ([N5] [N6]). As principais alterações na parte de emissões foram a inclusão de novos testes para harmônicos (IEC 61000-3-2) [N18] e *flicker* (IEC 61000-3-3) [N8], além da exigência de uma nova classificação quanto ao uso do equipamento eletromédico. Além disso, existe a adoção de novas normas básicas para equipamentos com aplicações particulares, como a CISPR 15 (iluminação) e a CISPR 22 (sistemas de informação). Para a parte de imunidade foram adicionados mais três testes, a saber, testes quanto a quedas de tensão (IEC 61000-4-11) [N15], imunidade a perturbações conduzidas (IEC 61000-4-6) [N13] e imunidade aos campos magnéticos (IEC 61000-4-8) [N14]. Foram incrementados ainda os níveis de imunidade para equipamentos de suporte vital, visando uma maior margem de segurança.

Por fim, a segunda edição da norma IEC 60601-1-2 requer o estabelecimento de um *desempenho essencial* do equipamento, o qual deve ser garantido durante os testes de imunidade [P16]. O termo *desempenho essencial* é definido pela norma como sendo “*As características de desempenho necessárias para manter o risco residual dentro de limites aceitáveis*” [N5]. O *desempenho essencial* é definido por meio da análise de risco e baseado no critério de degradação apresentado pela norma. A metodologia para desenvolver esta análise e determinar o risco residual está definida pela norma ISO 14971 e a IEC 60601-1-4 [P19].

Com tantas modificações, a situação da EMC para equipamentos eletromédicos nunca esteve tão avançada. A comunidade científica está com a atenção voltada para o impacto da nova edição da norma no dia a dia dos estabelecimentos assistenciais de saúde, sempre no intuito de garantir uma melhor condição de operação no uso dos equipamentos.

O impacto da chegada da nova edição da IEC 60601-1-2 no mercado mundial também é enorme. Desde que a publicação da nova edição foi listada no Jornal Oficial da Europa, os fabricantes tiveram o prazo até dia 1º de novembro de 2004 para adaptar seus produtos às novas prescrições da norma [P19]. A partir desta data, os produtos que obtiveram a conformidade com as prescrições da primeira edição da norma, tiveram seu certificado de conformidade antigo cancelado e devem ser submetidos aos testes adicionais para verificar a conformidade em relação à norma estendida. Caso o produto esteja em conformidade com a segunda edição, apenas os aspectos de documentação, como a análise de risco, desempenho essencial, classificação, informações ao usuário e novas marcações, devem ser adicionadas para revalidação do registro de conformidade. Caso o produto não obtenha sucesso nos testes adicionais prescritos pela segunda edição e, portanto, sejam necessárias adaptações para cumprir tais prescrições, é requerida a repetição de todos os testes para verificar a sua conformidade. É importante notar que as adaptações realizadas, em um determinado modelo de equipamento, também afetam a aprovação quanto à conformidade de outros países como, por exemplo, o FDA nos EUA.

Historicamente a situação brasileira quanto à EMC no tocante aos equipamentos eletromédicos encontra-se atrasada cerca de 4 (quatro) anos quando comparada à situação europeia. A primeira edição da norma IEC 60601-1-2 só foi traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1997 [N4]. Apenas dois anos mais tarde a resolução 444/1999 da ANVISA passou a regular este aspecto. Recentemente, durante o ano de 2005, iniciaram-se os trabalhos para a tradução da segunda edição da norma em questão, que atualmente encontra-se sob consulta pública. Portanto, para comercializar equipamentos eletromédicos no Brasil, deve-se estar atento às exigências que serão requeridas em um futuro próximo. Ainda assim, é natural que ocorra um período de transição entre as edições consecutivas da norma, devido à longa vida útil dos equipamentos, principalmente em estabelecimentos de ordem pública, onde as condições financeiras são precárias e a renovação do parque tecnológico é lenta.

IEC 60601-1-2 Segunda Edição (Aspectos Relevantes): Com o intuito de ilustrar as principais modificações ocorridas com a nova edição da IEC 60601-1-2, e demonstrar alguns aspectos fundamentais quanto aos requerimentos de EMC aplicados aos equipamentos médicos no Brasil, são sistematizados aqui alguns pontos de maior interesse. Para nosso entendimento, a principal alteração apresentada entre as duas edições está

relacionada com a abordagem dada em relação aos fenômenos de EMI, uma vez que a abordagem apresentada pela primeira edição da norma era estritamente focada na segurança dos pacientes. Deste modo, tão logo o equipamento preservasse a segurança à vida do paciente, ele era dito estar em conformidade com a norma. Entretanto, de acordo com a abordagem trazida pela segunda edição, os equipamentos devem garantir a segurança dos pacientes, além de manter o *desempenho essencial* baseado na realização de uma análise de risco. Portanto, apresenta-se uma das grandes novidades trazidas pela nova norma, o critério de degradação da imunidade do equipamento, que deverá ser utilizado para análise de risco requerida. De acordo com o parágrafo 36.202.1j da norma, as seguintes *degradações* associadas com o *desempenho essencial* e segurança não devem ser permitidas [N5]:

- Falhas de componentes;
- Mudanças em parâmetros programáveis;
- Restauração (“reset”) para os padrões de fábrica (pré-ajustados pelo fabricante);
- Mudança do modo de operação;
- Alarmes falsos;
- Suspensão ou interrupção de qualquer operação desejada, mesmo se acompanhada por um alarme;
- Inicialização de qualquer operação não-desejada, incluindo movimento não-desejado ou não-controlado, mesmo se acompanhada de um alarme;
- Erro de um valor numérico exibido suficientemente grande para afetar o diagnóstico ou tratamento;
- Ruído em uma forma de onda na qual o ruído é indistinguível dos sinais fisiológicos ou o ruído interfere na interpretação dos sinais fisiológicos;
- Artefato ou distorção em uma imagem na qual o artefato é indistinguível dos sinais fisiológicos ou a distorção interfere na interpretação dos sinais fisiológicos;
- Falha de *equipamento* ou *sistemas* de diagnóstico ou tratamento automáticos em diagnosticar ou tratar, mesmo se acompanhada de um alarme.

De maneira sistemática e comparativa, a Tabela 3-1 apresenta sucintamente as principais modificações para as prescrições de emissão. Os equipamentos são classificados de acordo com Grupo 1 ou Grupo 2, e Classe A e Classe B dependendo da sua aplicação, e a partir disto são definidos os níveis limites para cada teste prescrito.

Prescrições para Emissões		
Requerimentos	NBR IEC 60601-1-2 (Primeira Edição)	IEC 60601-1-2 (Segunda Edição)
Emissões Radiadas de Alta Frequência (30 – 1000 MHz) (Cláusula 36.201.1)	(CISPR 11) Equip. Eletromédicos em Geral: Valores de acordo com classe A ou B (CISPR 14) p/ Aplicações Específicas	(CISPR 11) Equip. Eletromédicos em Geral: Valores de acordo com classe A ou B (CISPR 14), (CISPR 15), (CISPR 22) p/ Aplicações Específicas
Emissões Conduzidas de Alta Frequência (0,15 – 30 MHz) (Cláusula 36.201.1)	(CISPR 11) Equip. Eletromédicos em Geral Valores de acordo com classe A ou B (CISPR 14) Aplicações Específicas	(CISPR 11) Equip. Eletromédicos em Geral Valores de acordo com classe A ou B (CISPR 14), (CISPR 15), (CISPR 22) p/ Aplicações Específicas
Distorção Harmônica (Cláusula 36.201.3.1)	Sem prescrições	(IEC 61000-3-2) Corrente de até 16 A por fase
Flutuações de tensão e “flicker” (Cláusula 36.201.3.2)	Sem prescrições	(IEC 61000-3-3) Corrente de até 16 A por fase
Documentação	Pouco Restrita	Bastante Restrita: Mais informações ao usuário, apresentação de tabelas, novas marcações, apresentação da classificação

Tabela 3-1: Prescrições de Emissões para Equipamentos Eletromédicos.

Do mesmo modo, a Tabela 3-2 apresenta de forma sucinta as principais prescrições de imunidade para equipamentos eletromédicos.

Prescrições para Imunidade		
Requerimentos	NBR IEC 60601-1-2 (Primeira Edição)	IEC 60601-1-2 (Segunda Edição)
Descargas Eletrostáticas (EDS) (Cláusula 36.202.2)	(IEC 801-2) 3 kV (em contato) e 8 kV (aérea)	(IEC 61000-4-2) 2 - 4 - 6 kV (em contato) e 2 - 4 - 8 kV (aérea)
Campos Eletromagnéticos de RF Radiados (Cláusula 36.202.3)	(IEC 801-3) Varredura de 3 V/m em 26 MHz-1 GHz	(IEC 61000-4-3) Varredura de 3 V/m de 80 MHz-2,5 GHz (10 V/m p/ EEM de suporte vital)
Transientes Elétricos Rápidos (Cláusula 36.202.4)	(IEC 801-4) 1 kV fonte móvel e 2 kV fonte fixa	(IEC 61000-4-4) 2 kV para todos os tipos de fonte
Surto de tensão (Transientes) (Cláusula 36.202.5)	(IEC 801-5) 1 kV em modo diferencial 2 kV em modo comum	(IEC 61000-4-5) ±0,5 kV, ±1 kV em modo diferencial (CA. entre linhas) ±0,5 kV, ±1 kV e ± 2 kV em modo comum (CA. entre linha e terra)
Perturbações conduzidas (induzidas por campos de RF) (Cláusula 36.202.6)	Sem prescrições	(IEC 61000-4-6) 3 V de 0,15-80 MHz (10 V para EEM de suporte vital)
Quedas de Tensão (breves interrupções e variações de tensão) (Cláusula 36.202.7)	Sem prescrições	(IEC 61000-4-11) sistemas de <1 kV Teste com níveis de: <5% por 0,5 ciclo, 40% por 5 ciclos e 70% por 25 ciclos Interrupção de tensão de 5 s
Campos Magnéticos (Cláusula 36.202.8)	Sem prescrições	(IEC 61000-4-8) 3 A/m (<3 A/m p/ dispositivos especiais) na frequência de 50/60 Hz
Documentação	Pouco Restrita	Bastante Restrita: Mais informações ao usuário, apresentação de tabelas, novas marcações, requer análise de risco e desempenho essencial

Tabela 3-2: Prescrições de Imunidade para Equipamentos Eletromédicos.

Os requerimentos apresentados pelas tabelas 3-1 e 3-2 são gerais e aplicáveis à maioria dos equipamentos eletromédicos, entretanto, foge do escopo deste trabalho apresentar as especificações para todos os tipos de equipamentos. Portanto, para a certificação de um determinado tipo de equipamento recomenda-se a leitura detalhada de todas as normas cabíveis, respeitando-se a hierarquia das mesmas. Alguns exemplos servem para ilustrar este ponto. A norma particular (parte 2) para bombas de infusão IEC 60601-2-24 modifica a especificação para os testes de descargas eletrostáticas (ESD) e, neste caso, os limites são entendidos para incluir 8 kV para descarga por contato e 15 kV para descarga aérea; o nível de imunidade radiada é aumentado para 10 V/m; o nível de imunidade a campos magnéticos é aumentado para 400 A/m [P19].

Por fim, a nova edição da norma apresenta o objetivo de garantir a EMC em equipamentos médicos, por meio de um esforço coordenado entre fabricantes, clientes e usuários. Os fabricantes são instruídos a fornecerem informações sobre o ambiente para o qual o equipamento foi projetado para operar, além de aconselhar os clientes e usuários quanto às ações para atingir o ambiente eletromagnético adequado [P16]. Por sua vez, os EAS deverão promover a gestão do seu parque tecnológico e a adoção de políticas que tornem o seu ambiente eletromagnético o mais propício para operação segura dos equipamentos. Os testes realizados *in situ* para verificação da imunidade dos equipamentos eletromédicos com relação a uma determinada fonte de energia, além de medições das emissões eletromagnéticas presentes no ambiente são tendências futuras para gerenciar a EMC em EAS. Estas informações podem ser fundamentais no gerenciamento das políticas de EMC implementadas aos diversos setores, no intuito de garantir a segurança com relação à fontes de energia específicas [P57]. A parcela de responsabilidade dos usuários é garantir a utilização adequada do equipamento em questão para manter a ordem do ambiente eletromagnético como um todo, além de policiar o acontecimento de efeitos adversos. Neste sentido, a educação dos usuários em aspectos de EMC tem sido amplamente reconhecida como um meio efetivo de promover a EMC em estabelecimentos da saúde, e as publicações na área de EMC são um modo simples de promover esta educação [P57].

3.3.4 Norma ICNIRP 1998: Limites de Exposição para Seres Vivos

A Comissão Internacional para Proteção à Radiação Não-Ionizante (ICNIRP – do inglês *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) foi estabelecida

para a investigação dos perigos que podem estar associados às diferentes formas de radiação não-ionizante, assim como para o desenvolvimento de recomendações internacionais e todos os aspectos voltados à proteção quanto a este escopo. O Brasil começou a regular estes aspectos apenas sob a faixa de frequências de telecomunicações, com os trabalhos da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), por intermédio da Resolução nº 303, de 02 de julho de 2002 [P11]. Esta resolução é denominada de “Regulamento Sobre a Limitação da Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 kHz” e foi rigorosamente baseada nas diretrizes da ICNIRP. Note que em território nacional, a faixa de frequências que vai de 0 Hz até 9 kHz, que a princípio estaria sob jurisdição da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), não possui regulamentações sobre este aspecto. Haja vista que a ICNIRP é uma comissão reconhecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para estudos na área de radiações não-ionizantes, que já existe uma regulamentação nacional baseada em suas recomendações, e ainda, o fato da norma⁴ ICNIRP 1998 apresentar os valores mais restritivos dentre os documentos cujo escopo avalia a exposição de seres vivos aos campos eletromagnéticos [P11], ela foi adotada integralmente como parâmetro para avaliação dos ambientes investigados por este trabalho.

A elaboração de normas para definição de limites de exposição a campos eletromagnéticos não é uma tarefa fácil e envolve uma série de profissionais de diversas áreas como, cientistas, engenheiros, médicos, biólogos, dentre outros. As abordagens utilizadas por esta equipe multidisciplinar, para definição de qualquer mecanismo reprodutível de efeito biológico são baseadas em técnicas como, estudos epidemiológicos, estudos “*in vivo*” (em animais), estudos “*in vitro*” (tecidos vivos em laboratório), estudos com voluntários (seres humanos) e estudos dosimétricos. Embora estas técnicas realizem uma verificação abrangente sobre a possibilidade de manifestação de efeitos biológicos em seres vivos, muitas vezes são requeridos tempo e condições específicas para a análise de seus dados. Deste modo, o avanço dos estudos e a realização de novas descobertas têm promovido uma revisão constante dos limites de segurança estabelecidos para exposição de indivíduos.

⁴ À rigor a ICNIRP 1998 não é uma norma técnica, mas sim uma diretriz reconhecida pela OMS. Em razão do seu conteúdo se assemelhar com as especificações de organizações normativas para este fim, e por questões de padronização do presente trabalho, o seu conteúdo também será discutido na seção 3.3 que é reservada às normas técnicas adotadas pela pesquisa.

É possível observar um roteiro de desenvolvimento para as principais normas de segurança sobre exposição às radiações de radiofrequências. A ICNIRP 1998 segue este modelo e é, portanto, desenvolvida a partir das seguintes etapas [P11]:

a) Identificação dos Efeitos Biológicos Comprovados: Trata-se de uma avaliação crítica de toda literatura técnica publicada sobre a evidência de efeitos biológicos devidos à exposição à radiação eletromagnética não-ionizante. O critério aplicado para a revisão da literatura técnica foi desenvolvido para avaliar a credibilidade das diversas pesquisas encontradas a este respeito [N7]. Após a verificação da consistência dos resultados destas pesquisas, da metodologia empregada, de uma estimativa de risco, e principalmente, da reprodutibilidade dos efeitos biológicos avaliados nestes documentos é possível o estabelecimento de um consenso sobre a comprovação científica de determinado efeito biológico.

b) Identificação dos Riscos Biológicos Comprovados: Após a identificação dos efeitos biológicos comprovados e da verificação da existência de um possível risco biológico é formada a base de informações para determinar os limites de exposição. Somente os efeitos bem estabelecidos são utilizados como base para as restrições de exposição proposta pela norma. A proposta de restrição da ICNIRP 1998, por exemplo, é baseada em exposição-curta (“*short-term*”) e avalia os riscos biológicos imediatos, como a estimulação de nervos periféricos e músculos, choque elétrico e queimaduras causadas por correntes de contato, e por fim, a elevação térmica dos tecidos que é resultante da absorção de energia durante a exposição aos campos eletromagnéticos [N7]. Para os casos de potenciais efeitos de exposição-longa (“*long-term*”), como em um aumento do risco de câncer, a ICNIRP concluiu que os dados disponíveis até o momento são insuficientes para determinar uma evidência básica na determinação de limites de exposição [N7]. Segundo seus relatórios, os estudos epidemiológicos apresentam evidências sugestivas, mas não convincentes com relação ao desenvolvimento desta doença e a exposição a campos eletromagnéticos de 60 Hz.

c) Definição do Limiar Fisiológico de Risco: A definição do limiar fisiológico de risco é fundamentada sobre cada um dos fatores de suscetibilidade dos seres vivos (*SAR*, *densidade de potência*, *correntes induzidas* e *de contato*, e *tempo de exposição*, todos descritos no item 2.3.4) que evidenciam um risco comprovado à saúde dos indivíduos. A partir de estudos experimentais é definido um limiar de risco mínimo para o qual se tem detectado efeitos adversos à saúde. Durante estes estudos, foi comprovado que para

exposição a campos eletromagnéticos intensos, que provoquem valores de SAR superiores a 4 W/kg (durante 30 minutos), verifica-se um aumento da temperatura média do corpo da ordem de 1 a 2 °C, que pode causar estresse, problemas comportamentais e febre [P43]. Além disso, em estudos realizados em animais roedores e primatas, com SAR nesta faixa de valores, observou-se em determinadas partes do corpo problemas como catarata, queimaduras superficiais e profundas, cansaço, esterilidade temporária dentre outros efeitos causados, principalmente, em razão do aquecimento na ordem de 1 a 2 °C [P11]. Como conclusão, definiu-se que embora a sensibilidade térmica de vários tipos de tecidos vivos possa variar amplamente, o limiar fisiológico de risco para SAR de 4 W/kg para o corpo inteiro é um consenso em diversos estudos de laboratório, e portanto, foi adotado como valor crítico. Para altas frequências, onde o comprimento de onda é relativamente pequeno e, como consequência, a profundidade de penetração dos campos eletromagnéticos também é pequena, a SAR não é uma boa grandeza para avaliar a energia absorvida pelo corpo. Para estes casos, valores de densidade de potência (em W/m^2) são utilizados para o estabelecimento de um limiar fisiológico que proteja o organismo do aquecimento excessivo em seus tecidos superficiais [P11].

Para correntes induzidas, os estudos experimentais em animais e humanos (voluntários) permitiram o estabelecimento de limiares fisiológicos com relação aos efeitos de eletro-estimulação e de aquecimento. Para frequências entre 3 Hz e 100 kHz o efeito predominante é a eletro-estimulação de músculos e nervos, onde as correntes induzidas com densidade da ordem de $10 mA/m^2$ foram escolhidas como limiar fisiológico. Já para a faixa de 100 kHz até 100 MHz o efeito de aquecimento de tecidos é preponderante, onde o limiar fisiológico de 100mA de corrente induzida (em cada perna) foi escolhido como limite para aparecimento dos efeitos de aquecimento excessivo [P11].

Para situações envolvendo correntes de contato, os limiares fisiológicos são definidos pelo aparecimento de efeitos como choque elétrico ou queimaduras. Os valores definidos para limiar fisiológico, na faixa de 1 MHz, são da ordem de 25 até 40 mA para percepção ao toque, de 28 a 55 mA para percepção dolorosa, de 112 mA para efeitos de choque elétrico doloroso, e da ordem de 160 mA para choque severo com dificuldade de respiração [N7].

d) Restrições Básicas (Fatores de Segurança): A partir da definição do limiar fisiológico de risco é estabelecido o conjunto de fatores de exposição que garantam que as pessoas expostas à radiação RF não corram riscos a sua saúde. Este conjunto de fatores,

conhecidos como restrições básicas de exposição, é definido em função da frequência das emissões e dos fatores de suscetibilidade apresentados pelos seres vivos. A base científica utilizada para restrição de exposição é definida pela norma em função das faixas de frequência da radiação, como segue [N7]:

- Entre 1 Hz e 10 MHz, a restrição básica fornecida é em termos de *densidade de corrente* para prevenção de efeitos nas funções do sistema nervoso;
- Entre 100 kHz e 10 GHz, a restrição básica fornecida é em termos de *SAR* para prevenção do aquecimento médio corporal e aquecimento excessivo em partes localizadas. Note que na faixa de 100 kHz a 10 MHz, as restrições básicas são definidas por ambos os fatores de suscetibilidade, *densidade de corrente* e *SAR*;
- Entre 10 e 300 GHz, a restrição básica é dada em termos de densidade de potência para prevenção de calor excessivo na região mais superficial do corpo.

A partir deste conjunto de restrições básicas são estabelecidos os fatores de segurança para exposição à radiação de RF. O estabelecimento rigoroso destes fatores, sobre toda faixa de frequência e todos os tipos de modulação em frequência, não é um trabalho fácil devido à insuficiência de informação sobre os efeitos biológicos em populações humanas. Entretanto, diversas variáveis são consideradas para a definição destes fatores, tais como condições ambientais fatigantes de temperatura e umidade, níveis de atividade física, sensibilidade térmica em grupos específicos (i.e. bebês, crianças, idosos, doentes), tamanho do indivíduo e posição relativa ao campo incidente, dentre outros [N7]. Com base nestes estudos, são estabelecidas duas categorias de população para a definição dos fatores de segurança: ocupacional e público geral [N7].

- A população **ocupacional** é formada por adultos que estão geralmente submetidos a condições de exposição conhecidas e são treinados para estarem atentos ao risco potencial e, portanto, são aptos para tomar as medidas apropriadas de precaução.
- O **público geral** é formado por indivíduos de todas as idades e estado de saúde, onde estão inclusos grupos ou indivíduos particularmente suscetíveis. Em muitos casos, estas pessoas não possuem consciência de sua exposição a campos de RF e, portanto, não estão aptos para tomarem as devidas precauções em minimizar ou evitar a sua exposição. Por esta razão, os fatores

de segurança para o público geral são mais rigorosos do que para a população ocupacional.

e) Definição dos Níveis de Referência:

A definição dos níveis de referência para exposição aos campos eletromagnéticos é obtida a partir das restrições básicas por meio de modelagem matemática e por extrapolação dos resultados das pesquisas em laboratório. Estes níveis são fornecidos em termos das grandezas físicas fundamentais (campo elétrico, campo magnético e densidade de potência) para permitir a verificação da conformidade de um determinado ambiente pela comparação dos valores obtidos na medição de campos eletromagnéticos. Eles são fornecidos para a condição de máximo acoplamento do campo com o indivíduo exposto, e deste modo, fornecem o máximo de proteção [N7]. Nas tabelas 3-3 e 3-4 são apresentados respectivamente os níveis de referência para exposição ocupacional e de público geral, todos eles expressos em valores rms.

Níveis de Referência para Exposição Ocupacional				
Faixa de Freqüências	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de Potência S (W/m ²)	Tempo de Exposição (minutos)
até 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	-	-
1 Hz até 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	-	-
8 Hz até 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	-	-
25 Hz até 82 Hz	$500/f$	$20/f$	-	-
82 Hz até 65 kHz	610	24,4	-	-
65 kHz até 1 MHz	610	$1,6/f$	-	6
1 MHz até 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	-	6
10 MHz até 400 MHz	61	0,16	10	6
400 MHz até 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$	6
2 GHz até 300 GHz	137	0,36	50	6 (f<10 GHz) e $68/f^{1,05}$ (f>10 GHz)

Tabela 3-3: Níveis de Referência para Exposição Ocupacional [N7].

Níveis de Referência para Exposição de Público Geral				
Faixa de Freqüências	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de Potência S (W/m ²)	Tempo de Exposição (minutos)
até 1 Hz	-	$0,32 \times 10^5$	-	-
1 Hz até 8 Hz	10000	$0,32 \times 10^5/f^2$	-	-
8 Hz até 25 Hz	10000	$0,4 \times 10^4/f$	-	-
25 Hz até 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	-	-
0,8 kHz até 3 kHz	$250/f$	5	-	-
kHz até 150 kHz	87	5	-	-
150 kHz até 1 MHz	87	$0,73/f$	-	6
1 MHz até 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	-	6
10 MHz até 400 MHz	28	0,073	2	6
400 MHz até 2 GHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$	6
2 GHz até 300 GHz	61	0,16	10	6 (f<10 GHz) e $68/f^{1,05}$ (f>10 GHz)

Tabela 3-4: Níveis de Referência para Exposição de Público Geral [N7].

As medições de campo eletromagnético que apresentem conformidade com estes níveis garantem o atendimento com relação às restrições básicas especificadas. Entretanto, para os casos em que os valores medidos excedem os níveis de referência, não significa necessariamente que a restrição básica foi excedida, mas sim que uma análise mais detalhada é necessária para garantir a conformidade com estas restrições [N7].

3.4 QUESITOS ADOTADOS PARA A FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

Conhecidas as normas técnicas que fundamentam a análise dos ambientes a serem investigados, destaca-se nesta seção os quatro quesitos fundamentais utilizados para a formulação dos diagnósticos propostos. Dois destes quesitos são referentes à operação segura dos EEM, e avaliam a sua conformidade em relação à norma IEC 60601-1-2. Os outros dois quesitos restantes avaliam o comportamento do ambiente em relação à exposição segura de seres vivos, verificando a sua conformidade em relação à diretriz ICNIRP 1998. Os limites de referência definidos por cada um destes quesitos, tanto em termos de frequência quanto em amplitude, estão sistematicamente representados a seguir.

O primeiro quesito refere-se aos limites de imunidade a campos elétricos, previsto na Tabela 3-2, como ilustram as marcações da Figura 3-5.

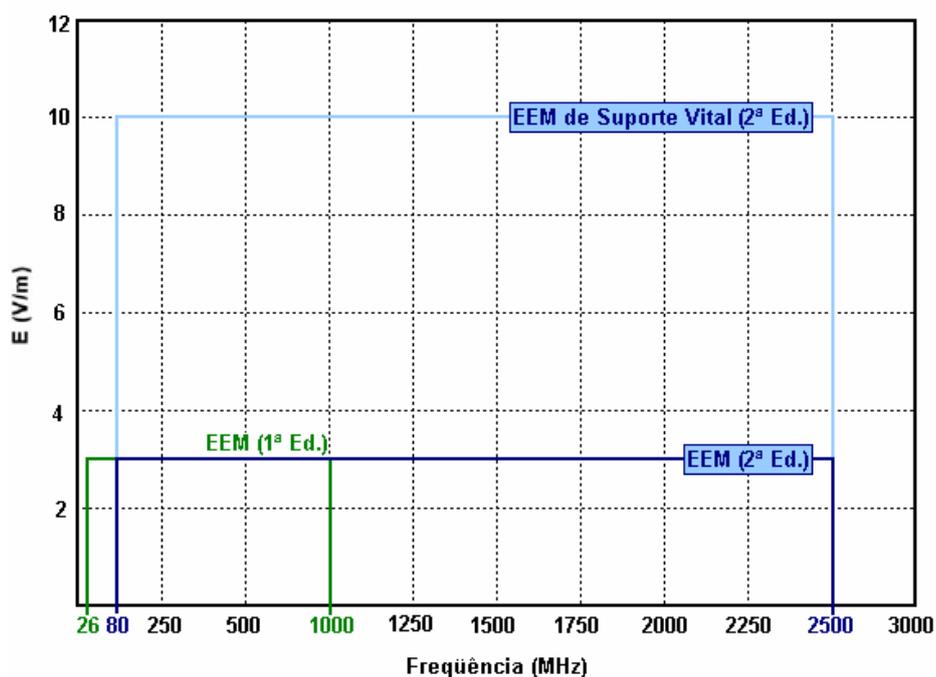


Figura 3-5: Limites de Campo Elétrico para EEM (NBR IEC 60601-1-2).

O segundo quesito refere-se aos limites de imunidade ao ruído conduzido, também previsto na Tabela 3-2, conforme ilustram as marcações da Figura 3-6.

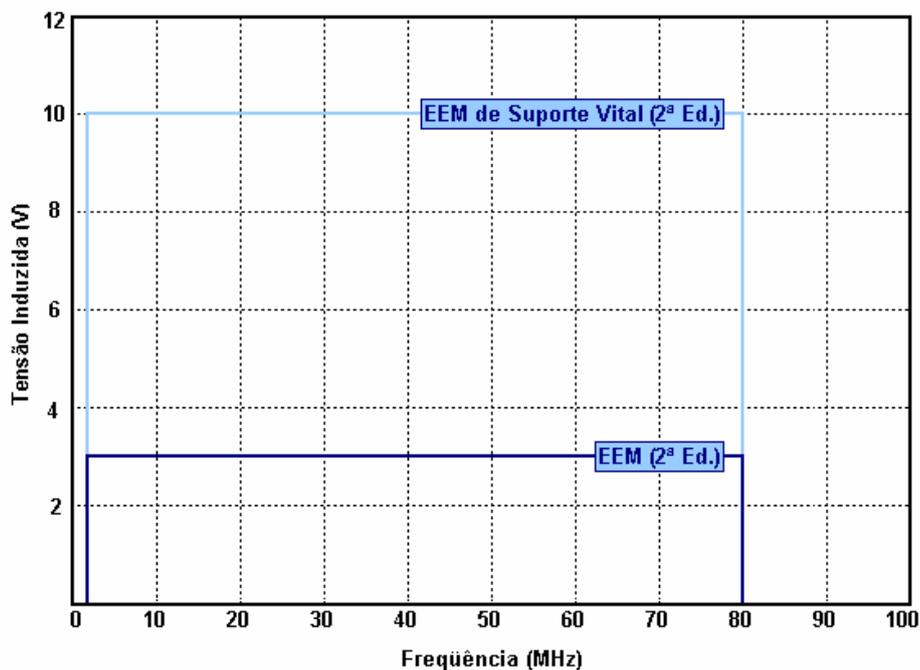


Figura 3-6: Limites de Ruído Conduzido para EEM (NBR IEC 60601-1-2).

O terceiro quesito está ilustrado pela Figura 3-7, que sintetiza os níveis de referência para campos elétricos, conforme previsto pelas tabelas 3-3 e 3-4, incluindo ainda a especificação para valores e pico.

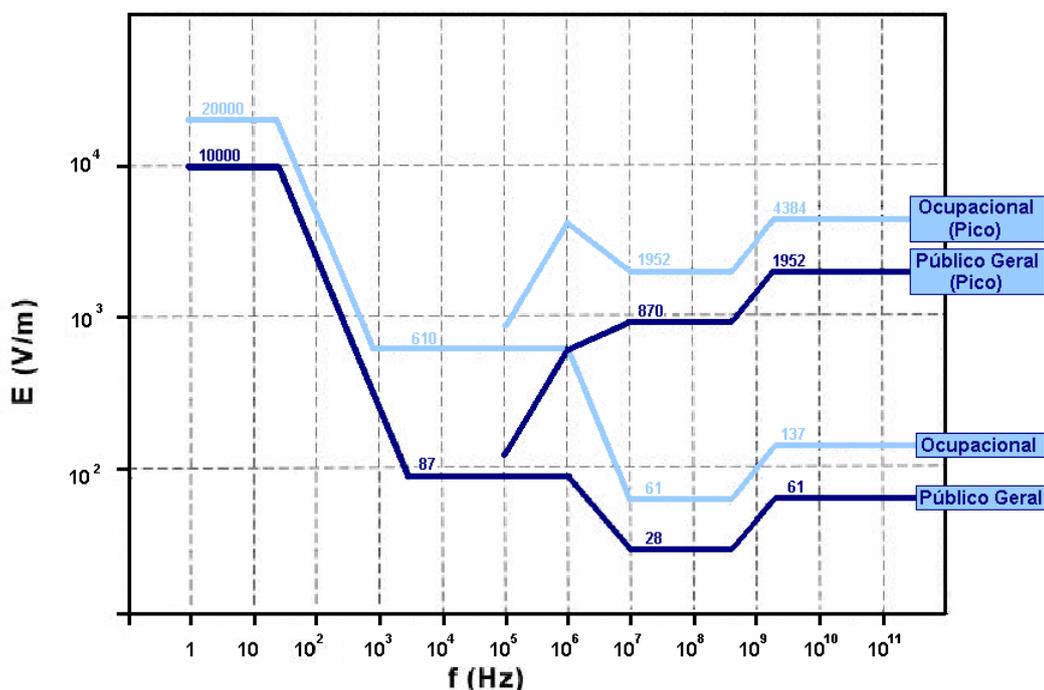


Figura 3-7: Limites de Campo Elétrico para Exposição de Seres Vivos (ICNIRP 1998).

O quarto quesito é apresentado pela Figura 3-8, que sintetiza os níveis de referência para campos magnéticos, conforme previsto pelas tabelas 3-3 e 3-4, e também inclui a especificação para valores e pico.

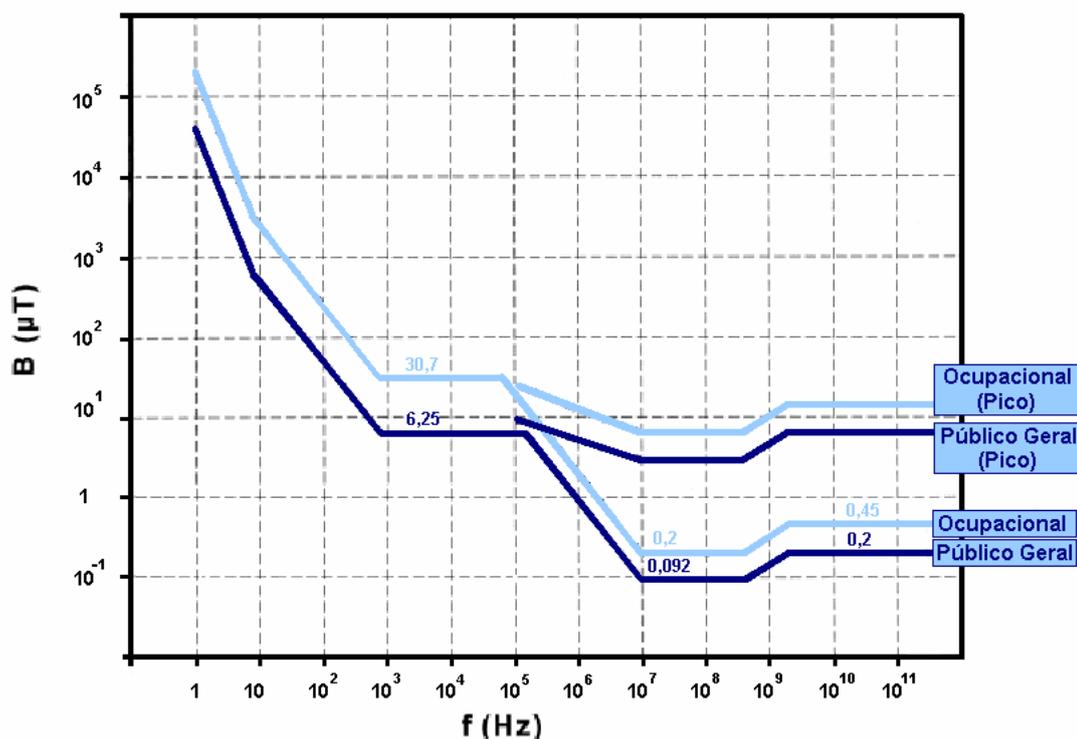


Figura 3-8: Limites de Campo Magnético para Exposição de Seres Vivos (ICNIRP 1998).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo realizou uma revisão detalhada com relação aos aspectos peculiares nos quais uma pesquisa a ser desenvolvida em ambientes clínicos deve estar focada. Assim, foi caracterizado o ambiente eletromagnético encontrado em EAS, englobando as fontes eletromagnéticas que influenciam este ambiente e seus aspectos globais, para finalmente, definir o seu comportamento em termos de emissões radiadas e conduzidas. Em seguida, foi realizada uma discussão detalhada com relação aos procedimentos normativos encontrados na literatura técnica que estão mais adequados para implementação da presente pesquisa. Por fim, uma abordagem minuciosa apresentou as normas que foram eleitas para avaliar os resultados adquiridos, e que servirão como base para definição do diagnóstico dos ambientes investigados, tanto com relação à operação segura dos EEM (IEC 60601-1-2), quanto para exposição dos seres vivos (ICNIRP 1998).

Toda a discussão realizada nesta seção foi de caráter teórico, na revisão dos diversos conceitos de EMC, sobre o que é pretendido colocar em prática durante as jornadas de medição. Já o capítulo seguinte, apresenta a contextualização destes conceitos de maneira aplicada, com a definição do protocolo implementado para aquisição de sinais, e ainda uma revisão sobre os sistemas utilizados para esta avaliação.

Capítulo IV

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destina-se à documentação e discussão dos sistemas de medição utilizados na parte experimental desta pesquisa, assim como dos métodos empregados para a avaliação das grandezas eletromagnéticas de interesse.

O trabalho desenvolvido procurou realizar uma estimativa completa do ambiente investigado, com a caracterização da parte radiada (pela medição dos campos elétricos e dos campos magnéticos), e da parte conduzida (pela a medição de ruídos propagados). Ainda assim, procurou-se contemplar na medida do possível, uma ampla faixa de frequências para verificação dos limites estabelecidos pelas normas de segurança.

4.1 SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO

Para medição de campos elétricos na faixa de 100 kHz até 3 GHz foi utilizado um sistema composto por um conjunto de antenas, um analisador de espectro portátil e um microcomputador convencional (tipo laptop), operado via controle remoto.

4.1.1 Analisador de Espectro

Para medições no domínio da frequência (principalmente na faixa de RF) a utilização de analisadores de espectro é tida como a forma mais tradicional e eficiente para análise de sinais. Neste trabalho, o analisador de espectro empregado foi o FSH-3 (Rhode & Schwartz), controlado via controle remoto por um laptop convencional equipado com o programa de controle de operação remota e de armazenamento de dados (FSH View 8.0). Dentre as principais vantagens desta implementação destacam-se:

- Portabilidade e características de resposta (sensibilidade, exatidão e precisão conforme requerido por norma);
- Monitoramento e armazenagem de sinais na faixa de 100 kHz a 3 GHz;
- Seletividade em frequência dentro da faixa de operação (medição em faixa estreita);

- Varredura cíclica dos níveis de campo em intervalos de tempo pré-determinados;
- Detecção de todo tipo de emissão (incluindo as pulsadas);
- Mínima influência do sistema de controle na medição, em razão da operação via controle remoto;
- Carregamento instantâneo dos parâmetros de medição pré-definidos;
- Armazenamento dos dados de medição em meio digital.

Durante a realização de uma sessão típica de medições, diversos fatores de ajuste são importantes na configuração do analisador de espectro empregado. Alguns destes parâmetros são estabelecidos por prescrições normativas, enquanto outros são especificados em função do objetivo da aquisição a ser desempenhada. De todo modo, a utilização não apropriada dos parâmetros definidos pode incorrer em erros significativos no sinal adquirido. Por esta razão, a discussão realizada no restante desta seção é voltada, essencialmente, aos principais parâmetros de ajuste utilizados na análise espectral dos campos elétricos adquiridos para esta pesquisa.



Figura 4-1: Analisador de Espectro FSH-3 (Rhode & Schwartz).

Seleção de Sensores (Antenas): A seleção dos sensores utilizados em uma determinada sessão de medidas tem fundamental importância na aquisição adequada da intensidade dos campos elétricos de interesse. É através desta seleção que é passado ao analisador de espectro, sob forma tabelada, o conjunto de fatores de correção (i.e. AF) para cada frequência dentro da faixa de operação do sensor escolhido. Estes valores são obtidos por meio de calibração realizada pelo fabricante dos sensores e, portanto, cada sensor, deve possuir o seu conjunto exclusivo de fatores de correção especificado de acordo com as condições de medidas a serem realizadas.

Seleção da Unidade de Medida: A unidade de medida selecionada para as medições realizadas neste trabalho foi o $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$. Esta escolha foi dada em função da relação direta entre a tensão lida nos terminais do analisador (em $\text{dB}\mu\text{V}$) e o fator de antena (em dB (1/m)), cujo somatório simples fornece o valor do campo elétrico incidente, conforme demonstrado pela equação 2-44. Além disso, a unidade de $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ possui uma transformação fácil para a unidade de V/m , na qual geralmente são expressos os limites de segurança para EMI e para exposição aos campos elétricos.

Seleção da Faixa de Freqüência: Esta seleção é realizada em função da faixa de operação de cada um dos sensores utilizados, que pode ser definida em termos de freqüência inicial e final, ou ainda, em termos de freqüência central e largura da faixa. Para este trabalho, as faixas selecionadas para cada sensor são de 100 kHz a 30 MHz (antena loop), 30 MHz a 200 MHz (antena bicônica), 200 MHz a 1 GHz (antena log-periódica A) e por fim, 1 GHz a 3 GHz (antena log-periódica B).

Resolução da Largura de Banda: Analogamente, a largura de banda de um analisador de espectro pode ser entendida como a banda passante de um filtro passa-faixa (geralmente com atenuação de pelo menos 6 dB na banda de rejeição) que varre constantemente todo espectro de interesse durante uma operação de medida. O nível apresentado pelo analisador para uma determinada freqüência central equivale ao somatório de todas as componentes espectrais que se encontram dentro da sua “janela” de banda passante, em um determinado instante de tempo. Desta forma, o interesse neste parâmetro está basicamente relacionado à distinção entre dois sinais adjacentes separados por um Δf no domínio da freqüência. Para resoluções menores da largura de banda, estes dois sinais se tornam mais distintos, o ruído de fundo diminui e o tempo de varredura para todo espectro aumenta. A principal idéia no que tange os aspectos de largura de banda é a obtenção de um ajuste da sua resolução consideravelmente pequeno em relação a Δf , mas não tão menor a ponto do analisador levar um tempo muito grande para realizar a varredura em toda banda de freqüência selecionada.

Em geral, a largura de banda é definida por norma em termos da faixa de freqüência do sensor (antena) e do tipo de detector utilizado na medida. Neste trabalho, estas prescrições foram atendidas de acordo com as especificações para detectores de pico e, segundo cada uma das faixas de freqüência medidas, com resoluções que variam entre 10 kHz, 100 kHz e 1 MHz.

Seleção de Impedância de Entrada: A impedância de entrada do analisador de espectro foi selecionada para 50Ω , visto esta ser a impedância característica dos sensores (antenas) utilizados nas aquisições de campo elétrico. Conforme mencionado no Capítulo III, esta seleção visa o casamento das impedâncias entre o analisador de espectro e a antena, no sentido de evitar a reflexão das ondas incidentes e uma conseqüente perda de informação.

Seleção do Sistema de Detectores: O sistema de detecção utilizado para aquisição está basicamente relacionado à característica do sinal que é interessante adquirir, dependendo do ensaio a ser realizado. Por norma, geralmente três tipos de circuitos eletrônicos de detecção são bem difundidos: o *detector de pico*, o *detector de quase-pico* e o *detector de valor médio*.

O *detector de pico* é o método mais simples para detecção de um sinal. Ele apresenta o valor máximo de uma harmônica senoidal [P5]. Desta forma, sua detecção representa o pior caso estabelecido para um sinal de interesse, mesmo que o sinal detectado seja de natureza esporádica.

O *detector de quase-pico* foi projetado para verificar o efeito subjetivo da influência de um determinado harmônico do sinal frente a sua taxa de repetição. De certo modo, este dispositivo pode ser entendido como um detector de pico acoplado a um circuito RC, que permite fuga de corrente e se descarrega parcialmente entre os pulsos consecutivos do sinal de entrada. O ponto fundamental a ser destacado aqui é que para sinais de baixa taxa de ocorrência, as respostas apresentadas por um detector de quase-pico tornam-se consideravelmente menores do que as respostas de um detector de pico. Por outro lado, para sinais com alta taxa de repetição as respostas de ambos os detectores se tornam semelhantes.

O *detector de valor médio* é constituído basicamente por um filtro passa-baixa conectado após um circuito detector de envoltória comum. Este filtro permite apenas a passagem de componente contínua da forma de onda detectada [P5].

Geralmente, os níveis de limite máximo exigidos por norma para verificação de conformidade são estabelecidos para ensaios que empregam detectores de quase-pico. Entretanto, a conformidade também pode ser demonstrada pelo emprego de detectores de pico, visto este apresentar a pior situação estabelecida. Assim, neste trabalho optou-se por empregar detectores de pico, visando sempre caracterizar a situação de pior caso

estabelecida e, portanto, trabalhar em prol de uma maior margem de segurança nas comparações.

Modo de Traço: Este parâmetro é referente ao tipo de marcação utilizado pelo analisador de espectro na apresentação dos seus resultados. Para este trabalho, o modo de traço foi ajustado para “*hold maximum*” no intuito de apresentar a situação de maior intensidade de campo para cada valor de frequência. Logo, dentre todos os picos do sinal, apenas o de valor mais alto é adquirido.

Modo de Varredura: Para uma verificação constante dentro do espectro de interesse, o analisador foi ajustado para modo de varredura cíclica. O ajuste deste parâmetro permite o monitoramento constante da faixa de frequência de interesse durante um período de tempo desejado.

Nível de Referência: O nível de referência é relacionado ao ajuste do valor de amplitude máxima para a faixa de entrada do analisador de espectro, e pode ser entendido analogamente ao valor de escala plena para o eixo “y” de um osciloscópio. Durante uma aquisição de sinal, seu valor deve ser ajustado para um pouco acima da máxima amplitude esperada. Quando o nível de referência é ajustado para muito baixo, o sinal de entrada pode saturar o instrumento e criar uma distorção no sinal medido. Por outro lado, quando o nível de referência é ajustado desnecessariamente para valores muito altos, a sensibilidade e a faixa dinâmica do analisador são reduzidas e, como resultado, pode-se observar um aumento considerável no nível de ruído de fundo. Desta forma, o nível de referência ótimo é dado pelo compromisso entre minimizar a distorção (saturação do sinal) e o nível de ruído de fundo.

4.1.2 Sensores (Antenas)

Os sensores utilizados acoplados ao analisador de espectro, na medição de campos elétricos, formam um conjunto de quatro antenas em banda larga (*broadband antennas*) que operam em uma faixa de frequência que se estende de 100 kHz até 3 GHz. As antenas de banda larga têm sido amplamente utilizadas em testes de emissões radiadas, visto a obtenção de uma rápida e eficiente aquisição de dados sobre uma ampla gama de frequências. Dentre os diversos tipos de antenas, as *log-periódicas* e as *bicônicas* são as mais difundidas para propósitos de medições em EMC [P5]. Seguindo este padrão, apresenta-se a seguir as antenas utilizadas neste trabalho para medição de campo elétrico.

Antena Loop HFH2-Z2 (Rhode & Schwartz): Esta antena “loop” magnética possui faixa nominal de frequências que se estende de 100 kHz a 30 MHz.

Antena Bicônica HK116 (Rhode & Schwartz): Esta antena possui faixa nominal de frequências que se estende de 20 MHz a 300 MHz.

Antena Log-Periódica HL223 (Rhode & Schwartz): Esta antena possui faixa nominal de frequências que se estende de 200 MHz a 1,3 GHz.

Antena Log-Periódica HL040 (Rhode & Schwartz): Esta antena possui faixa nominal de frequências que se estende de 400 MHz a 3 GHz. Visto as prescrições normativas de largura de banda e a faixa utilizada pelas outras antenas, sua utilização neste trabalho foi para frequências de 1 GHz a 3 GHz.

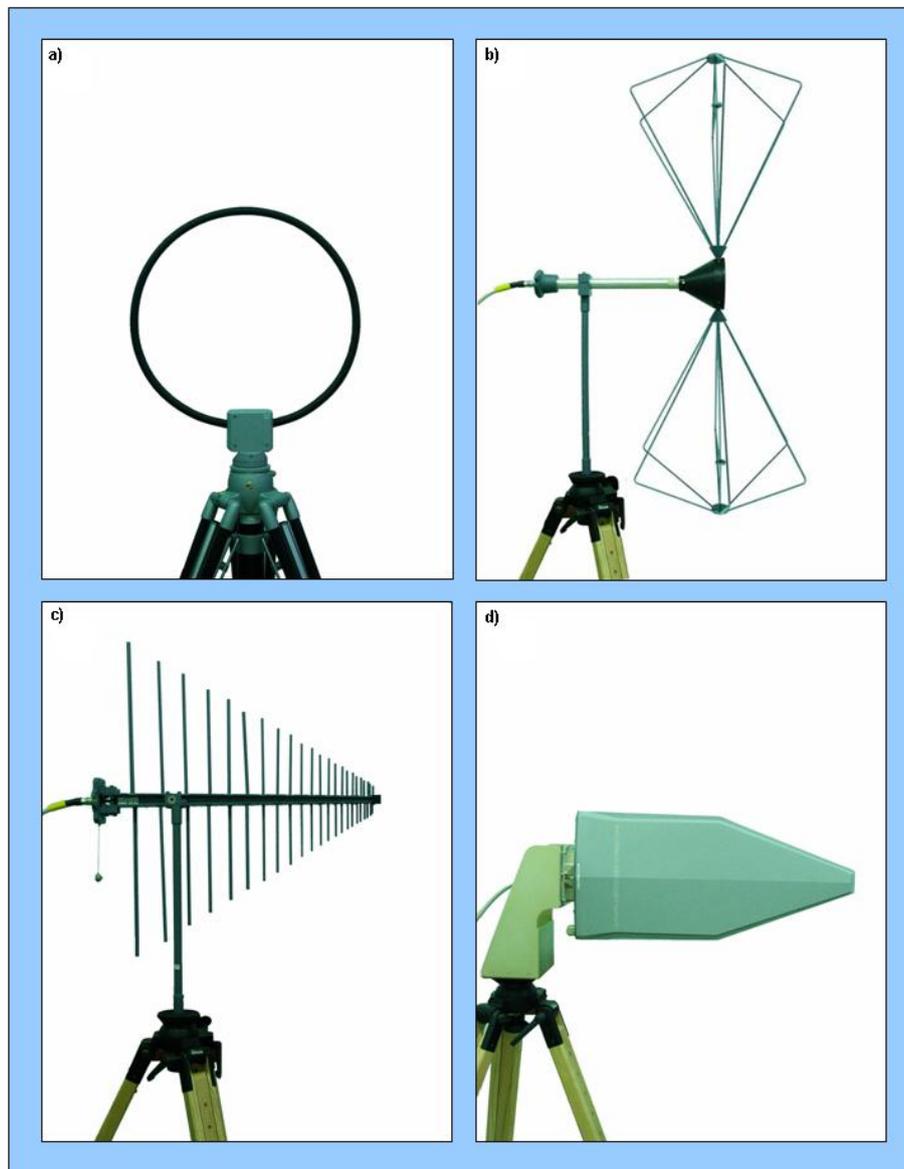


Figura 4-2: Antenas Utilizadas para Medição de Campo Elétrico: a) Antena Loop; b) Antena Bicônica; c) Antena Log-Periódica A; d) Antena Log-Periódica B.

Todas as antenas apresentadas possuem polarização linear e, portanto, para obtenção do campo elétrico total foi necessária a realização de duas etapas de medição (uma em polarização vertical e outra em horizontal) seguida de composição vetorial. As principais características das antenas utilizadas neste trabalho encontram-se no ANEXO B.1.

4.2 SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

Para medição de campos magnéticos na faixa de 1 Hz até 400 kHz foi utilizado um medidor de campo magnético, operado manualmente.

4.2.1 Medidor de Campo Magnético

Para medições de campo magnético foi empregado o medidor de nível de exposição ELT-400 (Narda). Embora este sistema realize medições em banda larga e não forneça uma análise espectral do sinal incidente, ele foi escolhido em função da verificação direta da conformidade do campo medido e a norma para exposição a campos eletromagnéticos adotada neste trabalho (ICNIRP 1998). Tendo-se em vista que o principal interesse nesta faixa de frequências é efetivamente a exposição de seres vivos aos campos eletromagnéticos, este sistema pode ser empregado sem a perda da finalidade proposta neste trabalho. Dentre as principais vantagens na utilização deste instrumento destacam-se:

- Medição em baixa frequência (a partir de 1 Hz) e em tempo real;
- Verificação da conformidade em relação à ICNIRP, tanto para público geral quanto para ocupacional;
- Detecção do valor de pico e RMS dentro da faixa medida;
- Medição isotrópica (com 3 eixos de polarização);
- Detecção de todo tipo de emissão (incluindo as pulsadas).



Figura 4-3: Medidor de Campo Magnético ELT-400 (Narda).

Durante a realização de uma sessão típica de medições, alguns fatores de ajuste foram adotados na configuração do medidor de campo empregado. São eles:

Seleção da Frequência de Corte Inicial: Este parâmetro define o limite de baixa frequência em que o equipamento realiza a aquisição. Neste trabalho a frequência de corte inicial foi ajustada para 1 Hz, visando a maior capacidade do instrumento.

Modo de Operação: Define o objetivo da medição a ser realizada. Neste trabalho foram utilizados os modos de exposição para público geral, de exposição para público ocupacional (ambos relativos à ICNIRP 1998) e de intensidade de campo magnético (em μT ou mT , dependendo do nível de amplitude verificado durante a medição).

Modo de Detecção: Define o tipo de detector a ser utilizado na aquisição do sinal. Neste trabalho foram utilizados detectores de pico e de valor RMS, para as aquisições no modo de intensidade de campo, assim como o modo padrão, para as aquisições de exposição (público geral e ocupacional) referentes à norma ICNIRP.

Tipo de Escala: A escala do equipamento pode ser ajustada entre alta e baixa, dependendo da intensidade do sinal a ser medido. A escala baixa apresenta medições com alta sensibilidade e limitada capacidade de sobrecarga, por outro lado, a escala alta apresenta alta capacidade de sobrecarga com sensibilidade limitada.

Max Hold: Este parâmetro é referente ao tipo de apresentação dos resultados obtidos pelo medidor. Para este trabalho o modo “*max hold*” foi utilizado no intuito de apresentar a situação de maior intensidade de campo, ou de pior caso para cada medida.

4.3 SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÕES CONDUZIDAS

Para medição de emissões conduzidas na faixa de 100 kHz até 100 MHz foi utilizado um sensor de corrente, um analisador de espectro portátil e um microcomputador convencional (tipo laptop), operado via controle remoto. O sistema empregado para esta análise e seus parâmetros é idêntico ao utilizado para medições de campo elétrico, salvo o sensor de corrente ao invés de antenas.

Sensor de Corrente RF EZ-17 (Rohde &Schwartz): É um sensor “*clamp*” indutivo e opera de 20 Hz até 100 MHz. As medições foram tomadas a partir de 100 kHz, visando a comparação com o limite da norma, com larguras de banda de 10 kHz e 100 kHz.

4.4 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO EMPREGADOS

Esta seção destina-se à discussão das limitações do sistema de medição empregado nesta pesquisa, frente ao sistema dito ideal para o tipo de aquisição pretendida. Desta forma, a discussão aqui apresentada realiza algumas considerações importantes a cerca do

protocolo implementado, assim como das implicações diretas nos resultados do levantamento do comportamento eletromagnético do ambiente em EAS.

4.4.1 Limitações do Sistema Utilizado e suas Implicações

Notadamente, a grande limitação do sistema de aquisição implementado neste trabalho é relacionada aos sensores (antenas) utilizados durante o processo de medição. Diversas propriedades podem ser citadas como não ideais para esse tipo de levantamento.

Primeiramente, destaca-se que a característica não portátil dos sensores é um fator complicador no trabalho realizado. Embora esta consideração não possua implicação direta sobre as aquisições de sinal, este aspecto dificulta bastante a logística de transporte do sistema de medição. Estas antenas são constituídas por materiais sensíveis e de geometria complicada e, dessa forma, o seu transporte deve ser realizado em caixas revestidas por proteção que são de grande volume e peso. Isto acaba por dificultar o acesso dos equipamentos aos EAS, além de exigir uma demanda considerável de esforço.

Outra consideração importante, é com relação à característica direcional das antenas implementadas. Este fato implica necessariamente na realização da rotação das antenas para compor sua orientação de modo a receber emissões provenientes de todas as fontes presentes no ambiente e fora dele (em todas as direções). Ao considerar o grande número de pontos medidos durante o levantamento de um ambiente, tal característica contribui consideravelmente para um consumo de tempo excessivo, e torna a avaliação lenta e cansativa.

Por fim, e talvez a mais importante, a característica de polarização linear das antenas é a que possui maior impacto nos resultados adquiridos. Tal situação requer que para cada ponto investigado seja realizada a medição de pelo menos duas polarizações, horizontal e vertical, para a obtenção do campo elétrico resultante. Para os casos de fontes eletromagnéticas estáticas (imóveis), como ensaios de EMC em laboratório, esta situação não se constitui em grande problema, visto que o padrão de emissão em ambas as polarizações é parcialmente constante e a sua composição vetorial fornece o campo elétrico total. Entretanto em um ambiente dinâmico, como o encontrado em EAS, esta situação nem sempre é verdadeira.

Em um ambiente clínico, deve-se ter em mente que uma mesma fonte eletromagnética pode emitir radiação ora em polarização horizontal, ora em polarização vertical, simplesmente devido a uma rotação aleatória de seu elemento emissor. A partir de

então, a medição de ambas as polarizações em um determinado ponto, realizadas em tempos distintos, não garante que o resultado adquirido represente o padrão de comportamento do ambiente. A única conclusão que pode ser levada em consideração nesta situação é: “Se o levantamento em ambas as polarizações é realizado para o campo elétrico máximo e em um tempo considerável, a composição vetorial destes valores representa uma situação específica de pior caso”. De fato, a única possibilidade desta situação ocorrer verdadeiramente é quando a fonte eletromagnética possui característica estática (imóvel) e com polarização inclinada em relação às polarizações medidas pela antena. Nesta situação, a composição de ambas as polarizações leva à resultante vetorial máxima. Por outro lado, em todas as outras situações esta composição pode levar a uma superestimação do campo elétrico resultante.

4.4.2 O Sistema Ideal para Medições

O sistema ideal para realização do levantamento do ambiente eletromagnético em ambientes hospitalares não deve apresentar os problemas indicados na seção anterior. Assim, estima-se que um sistema portátil de antenas, que possua padrão de recepção omnidirecional ou isotrópico, e que opere em uma ampla faixa de frequência, pode reduzir consideravelmente o esforço realizado e aumentar significativamente o tempo de medição efetiva. Como resultado, além de uma melhor caracterização do comportamento eletromagnético, fica subsidiado a possibilidade de investigações mais aprofundadas sobre o ambiente clínico.

É claro que a obtenção de um sistema de antenas sofisticado requer investimentos de alto custo, entretanto, julga-se este fator fundamental no que tange uma avaliação mais precisa e menos trabalhosa dos ambientes investigados. À guisa de exemplo, pode-se apresentar a antena TS-EMF, também da Rhode & Schwartz, que é um sensor portátil, isotrópico, com faixa de operação que se estende de 30 MHz até 3 GHz. A cotação de preço atual para esta antena situa-se na faixa de 6.000 € (seis mil Euros) para compra do hardware, e mais 4.500 € (quatro mil e quinhentos Euros), para compra do software.

4.5 PROTOCOLO DE MEDIÇÃO

O protocolo de medições implementado nesta pesquisa é fruto de um longo estudo, envolvendo uma rigorosa revisão bibliográfica de artigos técnicos, publicações e normas. Seus primeiros resultados começaram a aparecer por volta de 2002 [P62], e desde então

seu conteúdo vem sendo constantemente revisado no intuito de configurar um método adequado para operar em ambientes críticos de EAS. As prescrições normativas que embasam estes protocolos são sucintamente apresentadas pela Tabela 4-1.

Resumo das Prescrições Normativas Utilizadas na Medição de Campo Elétrico				
	Norma	Ítem	Prescrição Normativa	Condição de Teste
Parâmetros do Sistema	ANSI C63-4	4	Detectores de pico devem ser utilizados para representação da situação de pior caso	Em todas as medições foram utilizadas detecção de pico
	ANSI C63-2	4	Especificação de Instrumentos (devem ser seletivos em frequência, com unidade adequada e fornecidos com curva de calibração pelo fabricante)	Foi utilizado o analisador de espectro FSH-3, em unidade de dB μ V/m e com documentação fornecida pela Rhode & Schwartz (ver anexos).
		8	Seletividade e largura de banda (BW) (-6dB)	Por norma, para detectores de pico: 100 kHz a 30 MHz (BW = 10 kHz) 30 MHz a 1GHz (BW = 100 kHz) 1 GHz a 40 GHz (BW = 1 MHz)
		7	Impedância de entrada de 50 Ω	Selecionado para 50 Ω , conforme especificado no manual dos sensores
		13	A exatidão do sistema deve ser melhor que ± 3 dB	$\pm 0,5$ dB conforme manual de operação FSH-3
		15	Especificação de Sensores	Conjunto de 4 antenas lineares e direcionais (uma para cada faixa de frequência e com especificação de AF definida pelo fabricante)
Especificações do Procedimento de Medição	IEEE Std. 139	2.1	Agrupamento de EEM que são instalados em uma mesma área e operam ao mesmo tempo devem ser utilizados para medição e avaliação do ambiente	Os equipamentos foram agrupados segundo sua disposição típica de operação na rotina hospitalar
		2.2	Inspeção física dos EEM	A inspeção física dos EEM foi realizada pelo eng. clínico responsável do estabelecimento avaliado, no início de cada jornada
		2.3	Determinação dos locais de medição	A área do ambiente avaliado foi dividida em uma "grade" de 1 m ² de acordo com a especificação da norma IEEE Std. C95-3
		2.4	Ajuste dos EEM para situação de máxima emissão eletromagnética	Os equipamentos que permitem ajuste foram regulados para potência nominal máxima (ex: UEC)
		2.5.1	Verificação da condição de operação dos equipamentos de medição e antenas	Antenas utilizadas de acordo com a operação especificada pelo fabricante: a) AF calibrado para 1m de distância b) Montagem em suporte próprio c) Utilização de cabos blindados d) Verificação de sobrecarga do analisador
		2.5.2	Verificação da calibração do sistema	A verificação da calibração do sistema foi realizada em laboratório antes de cada jornada de medição. Os resultados foram obtidos por comparação com equipamentos que possuem rastreabilidade metrológica
		2.6	Determinação do espectro de frequências (assinatura eletromagnética)	Realizado utilizando-se o analisador de espectro na opção "hold maximum" (situação de pior caso)
		2.8	Antenas posicionadas entre 1 e 4 m do solo. Realizar rotação das antenas tanto para direção quanto para polarização	Todas as medições foram realizadas de acordo com as prescrições estabelecidas
		3	Documentação do ensaio	Baseado nas recomendações da norma
	IEEE Std.C95-3	5	Divisão da área avaliada em uma "grade" de 1m ² . As medições devem ser realizadas em cada intersecção da "grade".	A cada jornada foram medidos todos os pontos de intersecção da "grade", exceto aqueles em que se encontram a menos de 1m de distância de fontes eletromagnética ou paredes (conforme especificado pelo fator de calibração do fabricante)
Limites	NBR IEC 60601-1-2	36	Especificação do nível de imunidade para EEM	Foi utilizado o limite de 3 V/m (de 26 MHz até 2,5 GHz) conforme retratado pela tabela 3-2
	ICNIRP 1998	10	Especificação do limite de exposição para seres vivos	Foram utilizadas as especificações para público geral e ocupacional, conforme as tabelas 3-3 e 3-4.

Tabela 4-1: Resumo das Principais Prescrições Normativas Adotadas.

Com base nas prescrições normativas estabelecidas na Tabela 4-1, foram desenvolvidos diversos protocolos de medição e operação, cada um cumprindo a sua finalidade para uma caracterização adequada do ambiente sob investigação. Quatro destes procedimentos merecem destaques. O primeiro protocolo define as diretivas para a aquisição de sinal em baixa frequência, por meio de medições de campo magnético com o equipamento ELT-400. O segundo protocolo define as diretivas para a aquisição de sinal em alta frequência (faixa RF), por meio de medições de campo elétrico com o analisador FSH-3 e o conjunto de antenas. O terceiro protocolo define diretrizes para medição de ruídos conduzidos. Por fim, o quarto protocolo define as diretivas para realização da simulação dos EEM, principalmente com a operação da UEC em seus diversos modos de acionamento. Todos os protocolos estão documentados conforme o ANEXO B.3.

Em linhas gerais, uma jornada de medição para investigação de um determinado ambiente é desenvolvida de acordo com os seguintes passos:

Passo 1 - Pré-calibração: Esta etapa é realizada em laboratório antes da jornada de medições em um EAS. Ela é necessária para validar as medições realizadas pelos equipamentos e sistemas definidos pelo protocolo, bem como a metodologia para a medição. Os resultados apresentados pelos equipamentos utilizados para caracterização do ambiente eletromagnético do EAS foram comparados com equipamentos rastreados, apresentando desempenho compatível.

Passo 2 - Documentação: Consiste no levantamento e documentação dos EEM disponíveis no ambiente avaliado, assim como no registro da sua exata localização e disposição no interior da sala cirúrgica. Este documento é uma importante ferramenta para a verificação da reprodutibilidade dos testes, assim como serve de base para o registro da situação desempenhada durante a simulação.

Passo 3 - Definição dos pontos de medida: O ambiente sob investigação é dividido em uma “grade” de 1 m² e as medidas são tomadas em todos os pontos de intersecção desta grade, que são adequadamente identificados por um sistema de coordenadas formado por letras (a partir de A) e números (a partir de 1). Por motivos de calibração das antenas, os pontos que se encontram a uma distância inferior a 1 m das fontes eletromagnéticas e das paredes são dados como inválidos para medição de campo elétrico. A realização de medidas nestes pontos não é correta visto que o sistema não consegue acoplar eficientemente os campos elétricos emitidos e os dados obtidos nesta situação não são garantidos pelo fabricante dos sensores.

Passo 4 - Medição em repouso: É realizada a medição (geralmente em um ponto central da sala) enquanto todos os equipamentos da sala cirúrgica sob estudo encontram-se desligados. Para cada faixa de frequência são levadas em consideração as rotações requeridas tanto por questões de diretividade quanto de polarização. Este passo é imprescindível para a caracterização do ambiente externo ao EAS e avalia a influência dada, principalmente, em razão da localização do estabelecimento. A partir destas medições, é possível verificar a existência de fontes de EMI em potencial que não estão sob o controle do EAS. Durante o período de realização destas medições (cerca de 10 minutos para cada faixa de frequências conforme estabelecido pelo protocolo), o sistema de controle deve ajustar o receptor em detecção de valores de pico, modo de varredura cíclico e proceder com a gravação da amplitude de campo elétrico máxima para cada frequência. As medições de campo magnético também são realizadas para adquirir o valor de intensidade máxima.

Passo 5 - Simulação: Após a caracterização do ambiente externo, é iniciada a etapa de simulação clínica. Os equipamentos devem operar segundo a supervisão de um profissional ligado à rotina do EAS, de modo a garantir a situação típica de operação dos equipamentos. A situação crítica também deve ser avaliada, através do ajuste dos equipamentos para os níveis de emissão máxima (ajuste de potência). É importante ressaltar que a simulação dos procedimentos médicos não deve utilizar equipamentos simuladores de princípio elétrico, sob pena de mascarar o ambiente a ser mensurado. Portanto, é admitida nesta etapa, apenas a utilização de simuladores mecânicos (pneumáticos ou até mesmo voluntários) para estimular os EEM em funcionamento.

Passo 6 - Medição em simulação: Com a simulação em andamento, procede-se com a caracterização do ambiente eletromagnético do EAS, avaliando a influência da combinação das inúmeras fontes de energia presentes no ambiente. Para cada ponto medido e em cada faixa de frequências são levadas em consideração as rotações requeridas tanto por questões de diretividade quanto de polarização. As medições para cada situação são tomadas em intervalos de tempo que podem variar de 1 minuto até a estabilização do sinal adquirido conforme definido pelo protocolo. Neste período, o sistema de controle deve ajustar o receptor em detecção de valores de pico, modo de varredura cíclico e proceder com a gravação da amplitude de campo elétrico máxima para cada frequência. As medições de campo magnético também são realizadas para adquirir o valor de intensidade máxima. Após o encerramento do ensaio de emissões radiadas, ainda com os EEM em

operação, são realizadas as medições de ruído conduzido conforme definido pelo protocolo.

A configuração típica de uma jornada de medição para o levantamento do ambiente eletromagnético radiado em um EAS é apresentada pela Figura 4-4.

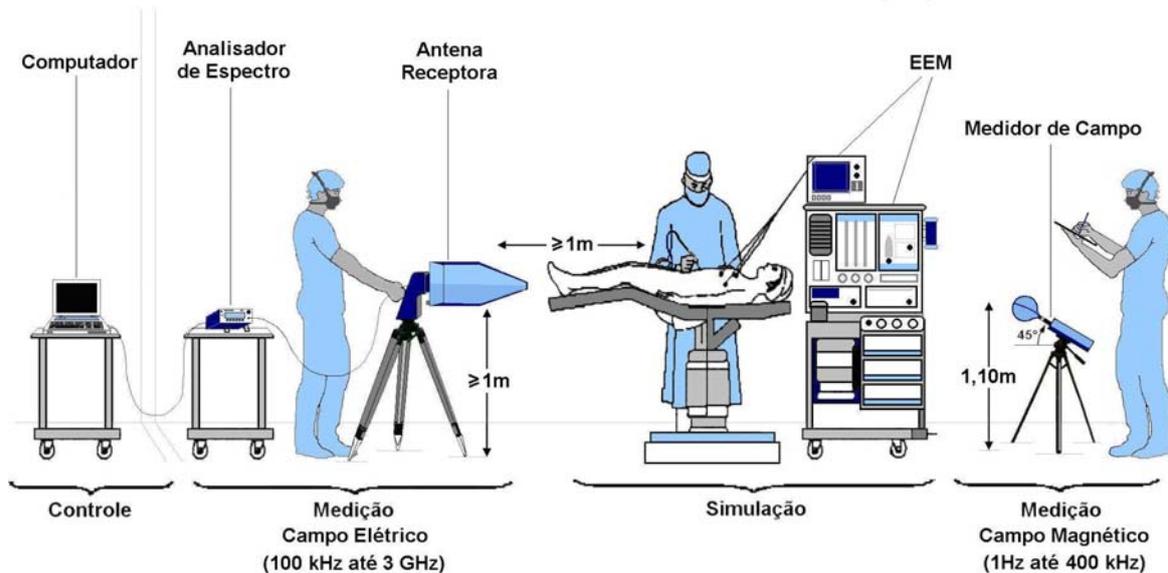


Figura 4-4: Configuração Típica de um Ambiente Sob Teste de Emissões Radiadas.

Todos os ensaios realizados foram registrados fotograficamente e, à guisa de exemplo, alguns dos principais registros são apresentados nesta seção de modo a destacar alguns pormenores. Os registros fotográficos apresentados pela Figura 4-5 ilustram detalhes da simulação dos procedimentos médicos durante a realização dos ensaios de medição.

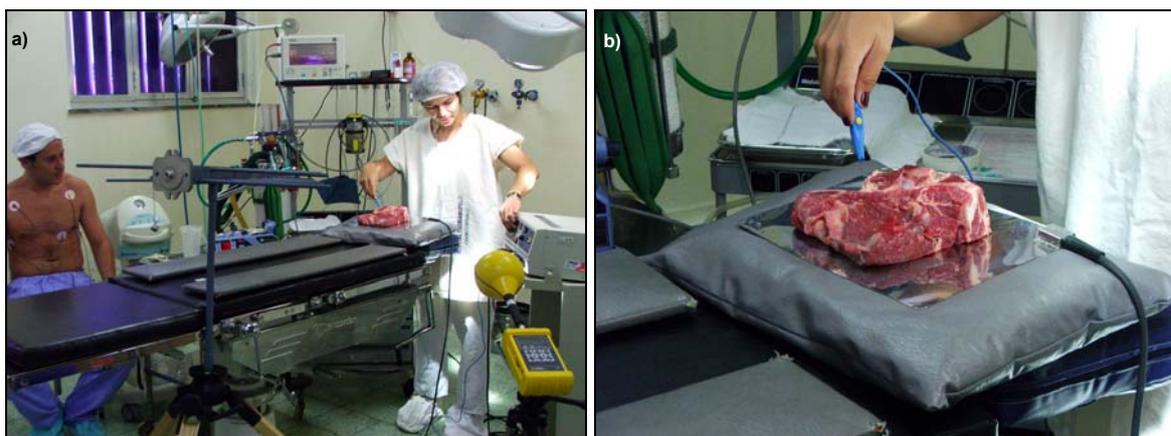


Figura 4-5: Simulação de Procedimento Clínico; a) Ajuste de Potência Máxima; b) Detalhe da Utilização da UEC Sobre o Espécime.

Os registros fotográficos apresentados pela Figura 4-6 ilustram os sistemas de medição de campo elétrico e de campo magnético durante a realização de um ensaio típico.

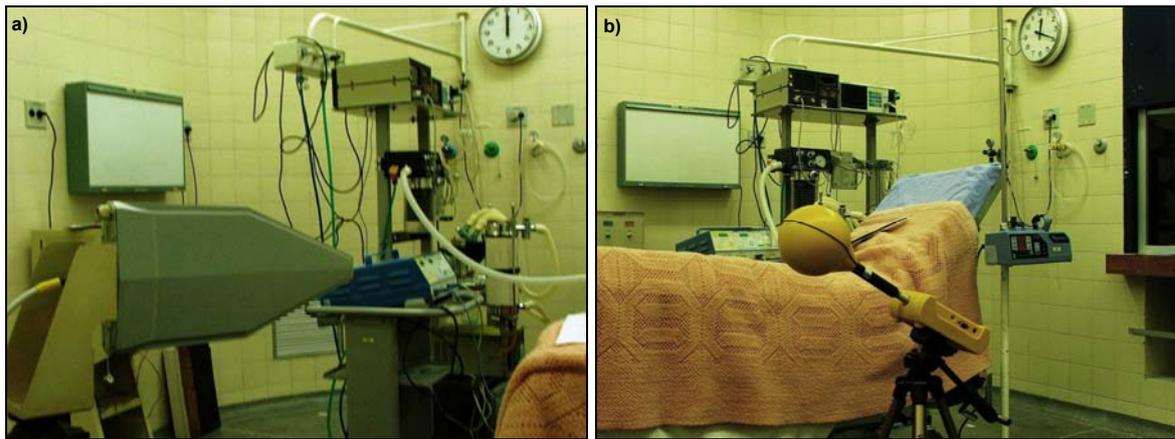


Figura 4-6: Sistemas de Medição; a) Medição de Campo Elétrico; b) Medição de Campo Magnético.

Além disso, a Figura 4-7 ilustra com detalhes o sistema de controle para medição de campos elétricos, situado fora da sala cirúrgica, e a marcação dos pontos de medição definidos pela “grade”.

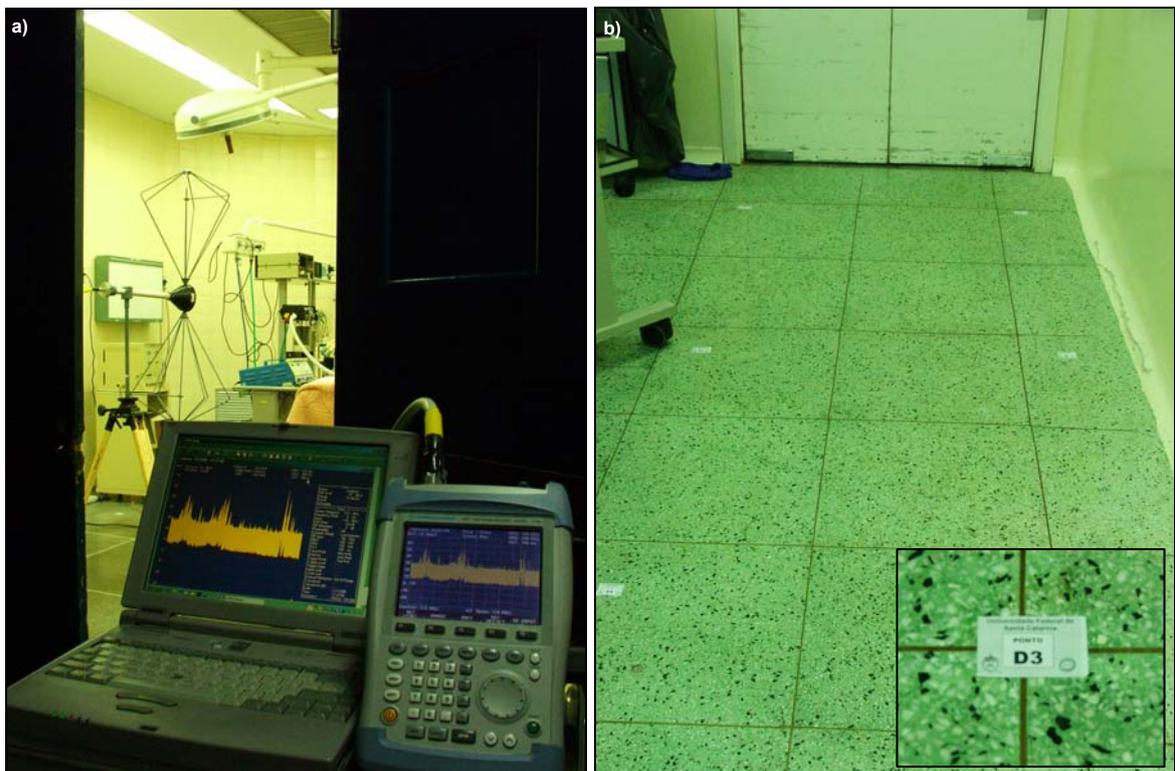


Figura 4-7: a) Detalhe do Sistema de Controle Situado Fora da Sala Cirúrgica; b) Detalhe da Marcação dos Pontos de Medição Definidos pela “Grade”.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo abordou os aspectos técnicos da pesquisa realizada neste trabalho, seja na discussão das características do sistema empregado, ou na discussão do protocolo utilizado para aquisição de sinais. Os resultados dos ensaios obtidos pela aplicação destes protocolos e sistemas serão apresentados no próximo capítulo.

Capítulo V

5 RESULTADOS

Na análise do comportamento do ambiente eletromagnético de um EAS, um grande número de dados é levantado durante uma jornada de medição. A partir disto, é importante sistematizar este grande volume dados de modo a abstrair a maior quantidade de informação possível do levantamento realizado, sem a perda de representatividade do objeto avaliado. Por sua vez, é imprescindível ter em vista a natureza física destas informações, sempre no intuito de realizar uma análise adequada da informação representada implicitamente nestes conjuntos numéricos.

A parte introdutória deste capítulo é reservada à sistematização e processamento de dados realizado nesta pesquisa. Nela é apresentada e discutida a maneira julgada adequada para sintetizar todo o trabalho realizado, frente às características físicas do problema estabelecido e das limitações do sistema empregado. Em seguida, são apresentadas as sínteses dos resultados de ensaios obtidos para cada um dos EAS investigados, ressaltando-se que embora este capítulo reproduza apenas o que há de mais significativo nestas avaliações, todo volume de dados levantado pode ser encontrado integralmente no ANEXO C.

5.1 SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos em cada ensaio foram sintetizados de acordo com os sistemas de medição empregados para seu levantamento. Dessa forma, foi realizada uma abordagem distinta para apresentação dos resultados de campos elétricos, assim como dos campos magnéticos e dos ruídos conduzidos. Como a avaliação da parte radiada é bem mais complexa e detalhista em sua análise, cada uma delas é discutida a seguir.

5.1.1 Sistematização para Avaliação de Campo Elétrico

O sistema de medição de campos elétricos é notadamente o mais sensível deste trabalho, uma vez que durante uma jornada típica de medições, este sistema impõe uma

série de restrições em função das suas características mencionadas anteriormente. A principal restrição decorre do fato de que seus sensores devem estar a pelo menos 1 m de distância de qualquer fonte eletromagnética, ou superfície condutora, devido ao tipo de fator de antena utilizado nas medições e dos problemas de acoplamento de campo com a antena. Em decorrência deste aspecto, em uma sala com aproximadamente 25 (vinte e cinco) pontos (definidos pela “grade”), e uma determinada quantidade de EEM, em média, apenas cerca de 8 (oito) acabam sendo válidos para as medições. A maioria deles tornam-se inválidos em função da sua proximidade com as paredes do recinto, e outros em razão da sua proximidade em relação aos EEM e demais objetos.

A partir de então, para cada ambiente investigado, tem-se um conjunto com cerca de 9 (nove) gráficos (um para cada ponto, mais a medição do ambiente em repouso). Todos eles são apresentados conforme os padrões da Figura 5-1, e traçam a intensidade de campo em função da frequência das emissões. A curva identificada pela cor verde representa medição da máxima polarização vertical, enquanto a definida em azul representa a máxima polarização horizontal. A composição vetorial de ambas as polarizações (somatório quadrático) fornece o campo elétrico resultante máximo obtido no ponto medido, e está representado pela curva em vermelho.

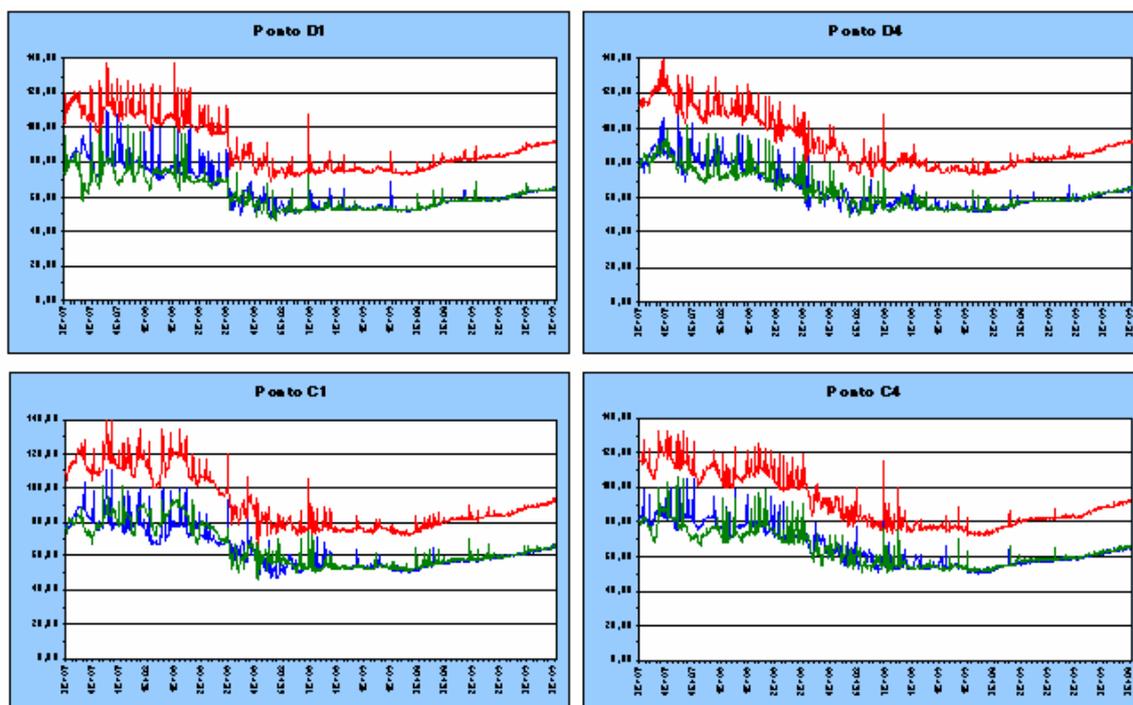


Figura 5-1: Exemplo de Quatro Curvas Obtidas pela Medição de Campo Elétrico em um EAS.

Conforme as limitações do sistema de medição empregado, discutidas no capítulo anterior (seção 4.4.1), e vista a possibilidade das fontes eletromagnéticas terem um

comportamento não estático no ambiente, este gráfico deve ser interpretado como o intervalo de intensidade provável em que se encontra o vetor campo elétrico resultante máximo. Nas linhas limite deste intervalo tem-se dois casos extremos passíveis de observação no ambiente avaliado.

O limite superior (linha vermelha) define a situação de pior caso para o campo elétrico resultante. Ela representa o caso em que a fonte eletromagnética é estática (imóvel) e emite radiação em um ângulo inclinado em relação aos eixos de polarização da antena. Neste caso, ambas as polarizações, vertical e horizontal, de fato coexistem em um mesmo tempo e espaço, e são componentes do vetor campo elétrico máximo.

O limite inferior é definido pela maior intensidade entre as duas polarizações medidas (linhas azul e verde). Este limite representa o caso extremo em que a fonte possui comportamento dinâmico e a contribuição obtida na polarização de menor intensidade é exclusivamente dada em função de uma rotação dos elementos radiantes da fonte. Portanto, ao avaliar que o aparecimento da componente de menor intensidade é função da rotação da fonte, fica definida a melhor situação para o comportamento dos campos elétrico. Neste caso, é garantido que o vetor campo elétrico máximo presente no ambiente possui intensidade no mínimo igual e, possivelmente, maior do que esta componente para os casos em que ambas as polarizações de fato coexistem em tempo e espaço.

Para cada EAS avaliado, todos os pontos medidos apresentaram um espectro bastante característico e com variações pouco significativas em termos de frequência e intensidade de campo. Esta constatação também pode ser observada pela comparação dos espectros exemplificados na Figura 5-1. A partir de então, optou-se pela composição de um gráfico de máxima intensidade de campo para cada frequência em específico. Dessa forma, fica sistematizado que para cada EAS investigado, dois arranjos espectrais são apresentados nos padrões da Figura 5-1. O primeiro apresenta a situação do ambiente em repouso, enquanto o segundo representa a situação de pior caso encontrado (máxima intensidade de campo) no ambiente em operação, para cada frequência e independente da sua posição na sala. Para os interessados no mapeamento espacial obtido para cada EAS, os espectros adquiridos em todos os pontos medidos estão documentados no ANEXO C.

5.1.2 Sistematização para Avaliação de Campo Magnético

Os resultados obtidos por meio da avaliação de campo magnético foram adquiridos pela medição isotrópica em todos os pontos de intersecção da “grade”, ou seja, cerca de 25

(vinte e cinco) pontos por ambiente investigado. Nos pontos em que existia a impossibilidade física, devido ao posicionamento de algum objeto, foram realizadas interpolações matemáticas a partir das medições adjacentes ao objeto em questão, e assim, fica caracterizado o mapeamento espacial em termos de intensidade de campo.

Nesta investigação, cada modo de operação da UEC foi avaliado separadamente e, portanto, foi mapeado o comportamento dos campos magnéticos para o modo de corte (*cut*), modo de coagulação (*coag*) e modo misto (*blend*). Haja vista que neste trabalho, a faixa de frequências avaliada para campos magnéticos é mais voltada às especificações da norma ICNIRP 1998, para cada um dos modos foram levantados os valores percentuais em relação aos limites de exposição de público geral e ocupacional, e ainda os valores de pico e rms da intensidade de campo. Portanto, para cada modo de operação da UEC tem-se os resultados conforme o exemplo da Figura 5-2.

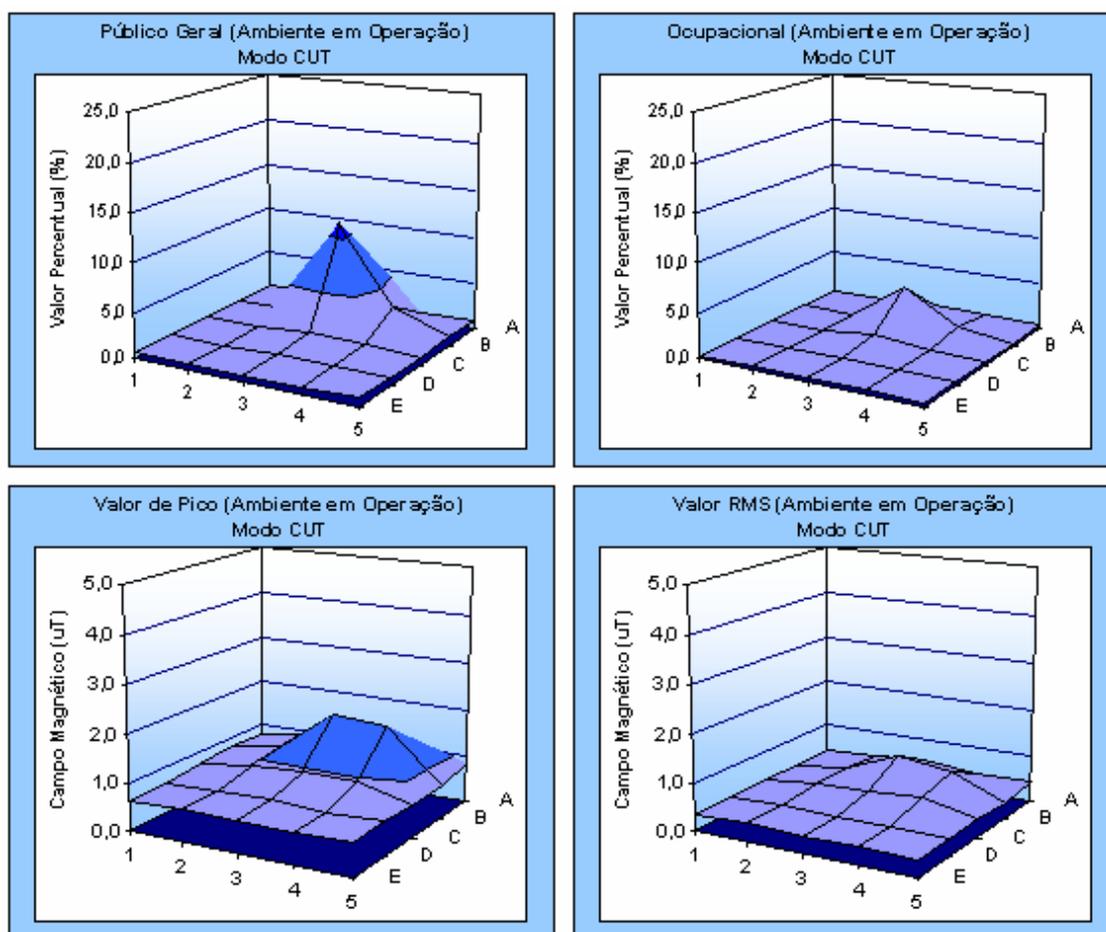


Figura 5-2: Exemplo de Quatro Mapeamentos Obtidos pela Medição de Campo Magnético para um Modo de Operação da UEC em um EAS.

Contudo, ao considerar as medições realizadas com o ambiente em repouso fica constituído, para cada ambiente investigado, um conjunto de 16 (dezesseis) gráficos de

mapeamento espacial, cada um deles formado por cerca de 25 (vinte e cinco) pontos de medição. No intuito de sintetizar os resultados obtidos, optou-se pela composição de um gráfico dos máximos valores (percentuais e de intensidade de campo) observados em cada ponto de medição. Assim, fica representada a situação de pior caso observada em cada ponto do ambiente avaliado, independentemente do modo de operação da UEC. Além destas considerações, serão apresentados neste corpo de texto apenas os mapeamentos relativos ao público geral e valores de pico, visto que estas situações constituem os valores mais restritos e significativos para efeito de avaliação. Para os interessados no mapeamento espacial obtido para cada modo de operação da UEC, assim como exposição ocupacional e valores rms, os resultados também estão documentados no ANEXO C.

5.2 ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL FLORIANÓPOLIS

Os ensaios realizados nas dependências do Hospital Florianópolis foram procedidos no interior da sala número 3 (três) do centro cirúrgico, com dimensões de 5,5 m x 4,5 m. O ambiente típico avaliado está ilustrado pelos registros fotográficos da Figura 5-3.



Figura 5-3: Ambiente Típico Avaliado no Hospital Florianópolis.

A disposição de equipamentos e objetos no interior da sala avaliada obedece as recomendações do corpo clínico do hospital para constituir a configuração usual de um procedimento de rotina do EAS. Esta configuração está ilustrada no croqui da Figura 5-4.

Contudo, é possível identificar 30 (trinta) pontos de intersecção formados pela “grade” traçada no ambiente avaliado. Para a medição de campo elétrico, 8 (oito) destes pontos foram considerados aptos por atenderem às restrições impostas pelo sistema de aquisição de dados, a saber: A4, C2, C3, C4, D2, D3, D4 e E3. Para medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados, com exceção dos pontos F1, F2, F3, F4 e F5. A justificativa dessa omissão encontra-se embasada no ANEXO C.1.

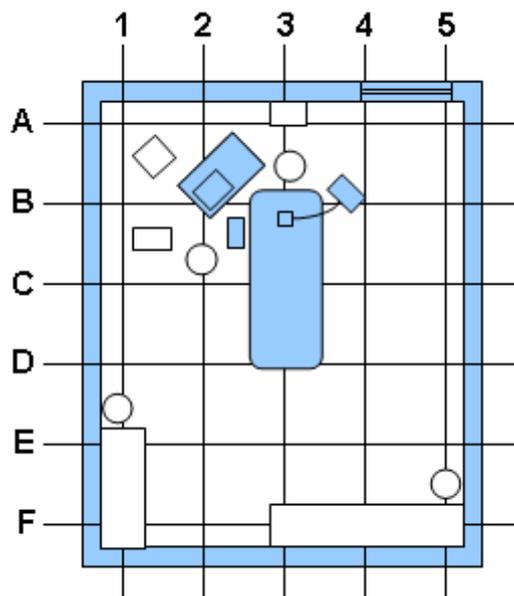


Figura 5-4: Disposição dos EEM no Interior do Ambiente Avaliado.

Dentre os equipamentos presentes no ambiente investigado que foram disponibilizados para realização da simulação clínica deste ensaio, destacam-se a UEC (bisturi elétrico), um carro de anestesia com ventilador pulmonar, um monitor multiparâmetros, uma bomba de infusão (tipo seringa) e um foco cirúrgico. A documentação técnica destes equipamentos também pode ser encontrada no ANEXO C.1.

5.2.1 Resultado das Medições de Campo Elétrico

O resultado das medições de campo elétrico com os EEM em repouso, que avalia as emissões originadas por fontes eletromagnéticas situadas no ambiente externo ao EAS, é apresentado pela Figura 5-5.

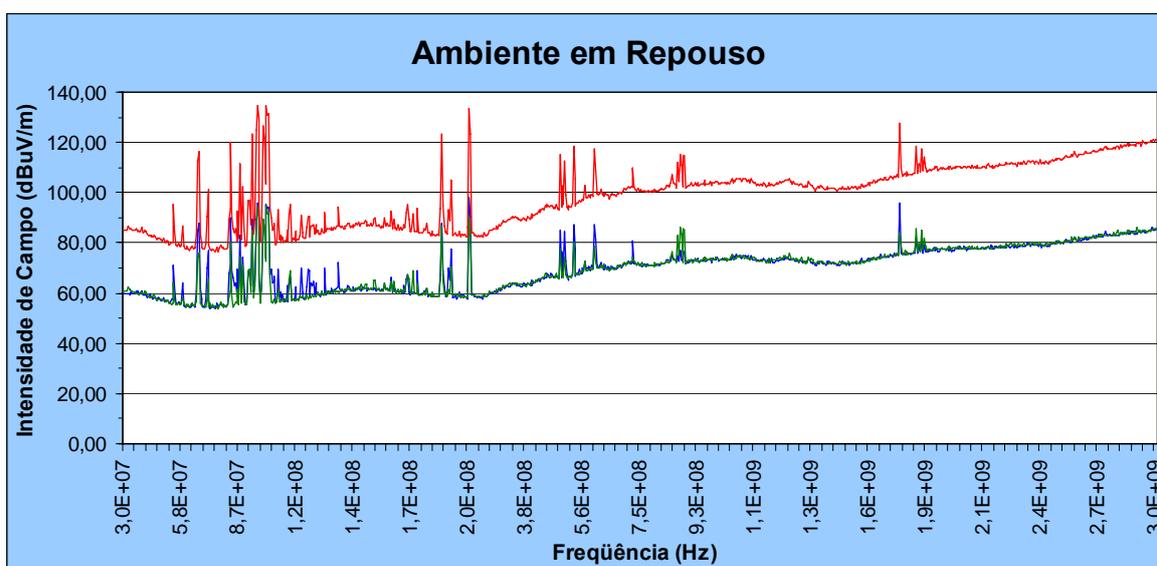


Figura 5-5: Espectro de Frequências do Hospital Florianópolis para Ambiente em Repouso.

O espectro de frequências apresentado é comum da região de Florianópolis. As contribuições mais significativas são apresentadas de forma tabelada no ANEXO C.1.3, dentre elas destacam-se: os canais de TV-VHF, a saber, 4 (67,4 MHz), 6 (83,3 MHz), 9 (188 MHz), e 12 (204 MHz), com intensidades de campo de até 133,43 dB μ V/m; As rádios FM, Itapema (93,7 MHz), Band (96,1 MHz), Evangélica (99,3 MHz) e Atlântida (100,9 MHz); com intensidades de campo de até 134,48 dB μ V/m; Os canais de TV-UHF, 17 (493,3 MHz), 20 (508,0 MHz), 25 (537,3 MHz), 36 (603,3 MHz), com intensidades de campo de até 118,32 dB μ V/m; As bandas de telefonia celular A e B, com intensidade de campo de até 115,46 dB μ V/m em 878,3 MHz, e a banda C, com intensidade de campo de até 127,5 dB μ V/m em 1.731 MHz.

O resultado das medições com os EEM em operação, que configura a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado, é ilustrado pela Figura 5-6.

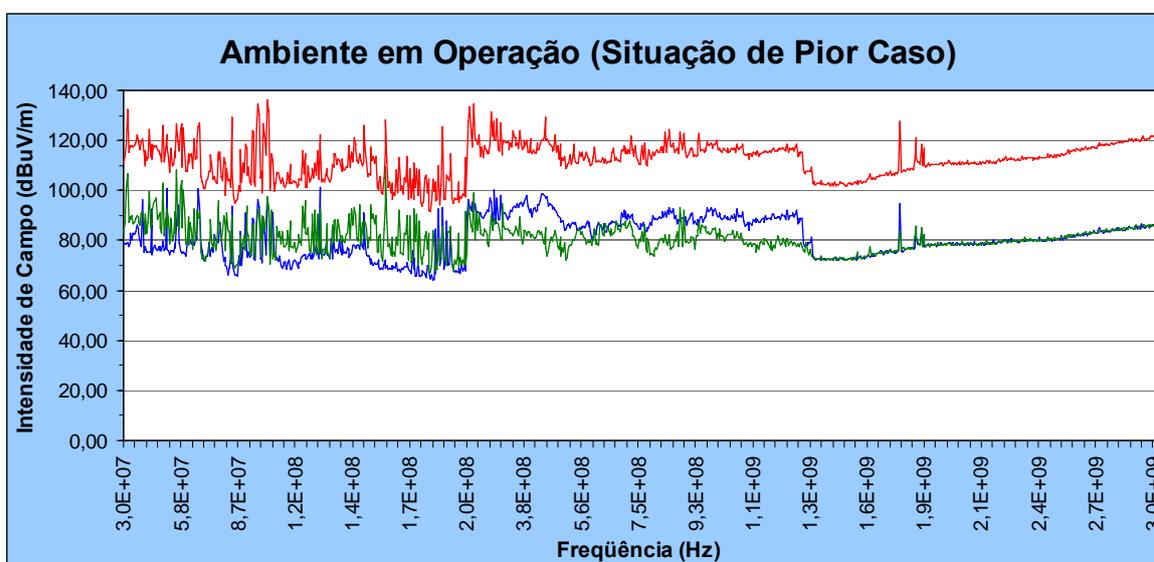


Figura 5-6: Espectro de Frequências do Hospital Florianópolis para Ambiente em Operação.

Pode-se notar que a operação dos EEM contribui significativamente para o aumento do ruído espectral no ambiente, uma vez que o incremento médio de ruído observado para operação dos EEM neste EAS é da ordem de 13,39 dB μ V/m, e ocorre principalmente para frequências de até 1.270 MHz. A situação mais crítica para este ambiente é observada na frequência de 100,9 MHz onde a intensidade de campo atinge a casa de 136,03 dB μ V/m. Os resultados mais significativos, com intensidade de campo elétrico superior a 3 V/m (129,54 dB μ V/m), também ocorrem para as frequências de 31,7 MHz, 83,3 MHz, 96,1 MHz, 203,7 MHz, 218,3 MHz e 273,3 MHz. Estes valores são apresentados devidamente identificados de forma tabelada conforme o ANEXO C.1.3.

5.2.2 Resultado das Medições de Campo Magnético

O resultado das medições de campo magnético com o ambiente em repouso configura o mapeamento apresentado pela Figura 5-7.

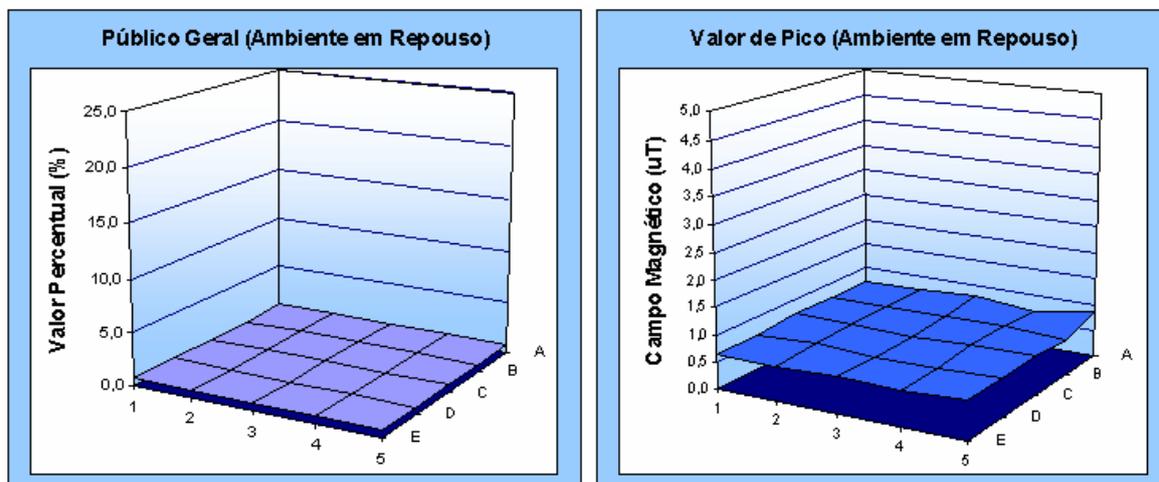


Figura 5-7: Mapeamento do Hospital Florianópolis para Ambiente em Repouso.

Os resultados da medição do ambiente em operação, que configuram a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado são ilustrados pela Figura 5-8.

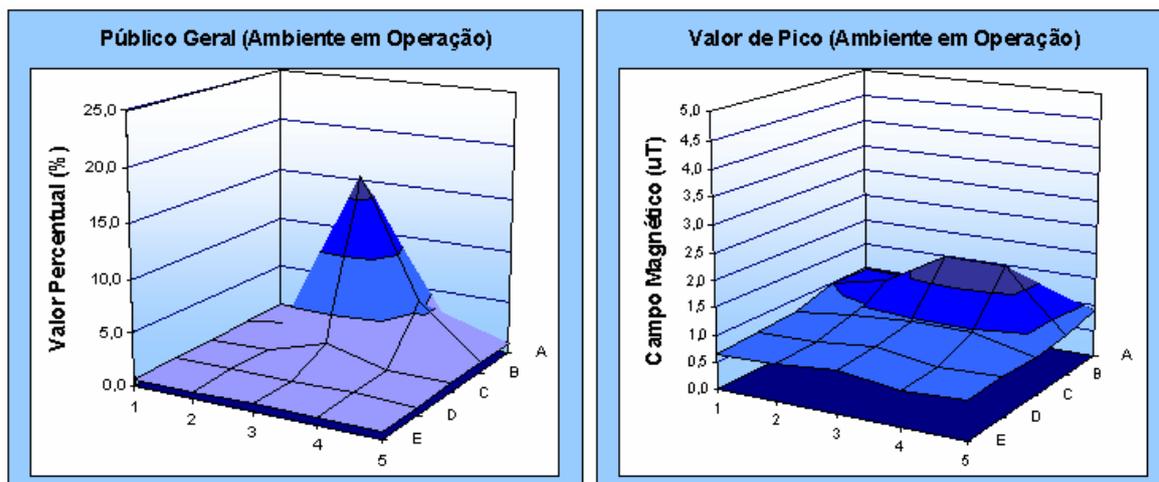


Figura 5-8: Mapeamento do Hospital Florianópolis para Ambiente em Operação.

Conforme apresentado pelo mapeamento espacial da Figura 5-8, os valores de campo magnético no ponto B3 (próximo à região de operação da caneta da UEC) atingem 17,09% do limite estipulado pela ICNIRP para exposição de público geral, com valores de pico que chegam a 1,880 μT . Destaca-se ainda, conforme mostrado em anexo, a obtenção da marca de 6,87% do limite para exposição de público ocupacional e valores rms de até 0,970 μT . Todos os resultados desta avaliação, incluindo a distinção de valores para cada modo de operação da UEC, podem ser encontrados no ANEXO C.1.4.

5.2.3 Resultado da Medição de Ruído Conduzido

O resultado da medição de ruído conduzido obtido durante a operação de todos os EEM é apresentado pela Figura 5-9.

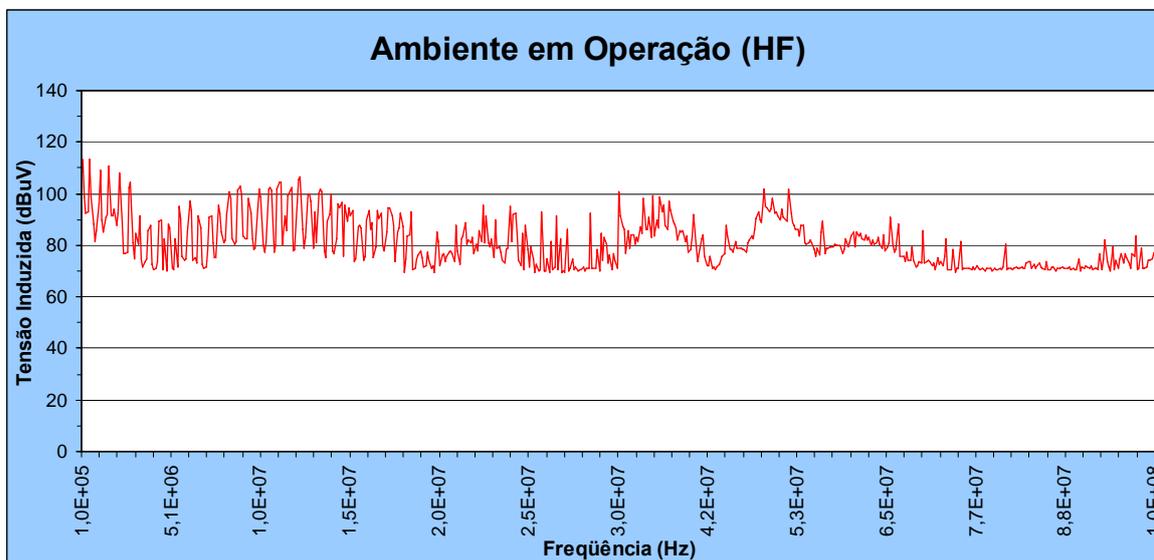


Figura 5-9: Espectro de Frequências de Ruído Conduzido no Hospital Florianópolis

O valor crítico é de 113,60 dBµV e pode ser observado na frequência de 100 kHz. As harmônicas emitidas durante a operação da UEC podem ser claramente identificadas até a faixa de 18,44 MHz.

5.2.4 Avaliação dos Resultados

Os resultados mais significativos para o ambiente investigado são referentes a emissões radiadas na faixa de rádio FM e TV-VHF. Uma característica marcante deste EAS é a observação de valores da ordem de até 133,43 dBµV/m, mesmo para quando os EEM não estavam em operação. Isto por si só já consolida um ambiente propício ao aparecimento de fenômenos de EMI, visto que este nível está acima dos 3 V/m (129,54 dBµV/m) definidos como o limite de imunidade para equipamentos médicos que não são de suporte vital, conforme a norma IEC 60601-1-2 [N6]. Com os EEM em operação é observado um aumento considerável no nível médio de ruído e o valor máximo é incrementado para 136,03 dBµV/m, agravando a situação já estabelecida.

Outro ponto a ser destacado é a influência externa de sinais de telefonia celular. Embora os níveis não ultrapassem os limites de imunidade, o valor de 127,5 dBµV/m sugere que uma política interna para garantir a manutenção destes índices abaixo dos 3 V/m é bem-vinda ao hospital.

Os valores obtidos para ruído conduzido, de no máximo 113,60 dB μ V, também se encontram em conformidade em relação ao limite de emissões conduzidas de 3 V (129,54 dB μ V) da IEC 60601-1-2 [N6], e não devem originar problemas de EMI.

Os valores de campo magnético atingem no máximo 17,09% do limite da norma ICNIRP, e para os campos elétricos também se encontram em conformidade [N7]. Portanto, conclui-se que para a faixa de frequências avaliada não existem evidências para riscos biológicos decorrentes da exposição excessiva aos campos eletromagnéticos.

Por fim, para suprimir a notação técnica das grandezas mensuradas, apresenta-se os resultados em termos percentuais, sempre em relação aos limites das normas de referência (onde 100% representa o valor limite estipulado). Para os quesitos de operação segura dos EEM, definidos pela NBR IEC 60601-1-2, tem-se a situação ilustrada pela Figura 5-10.

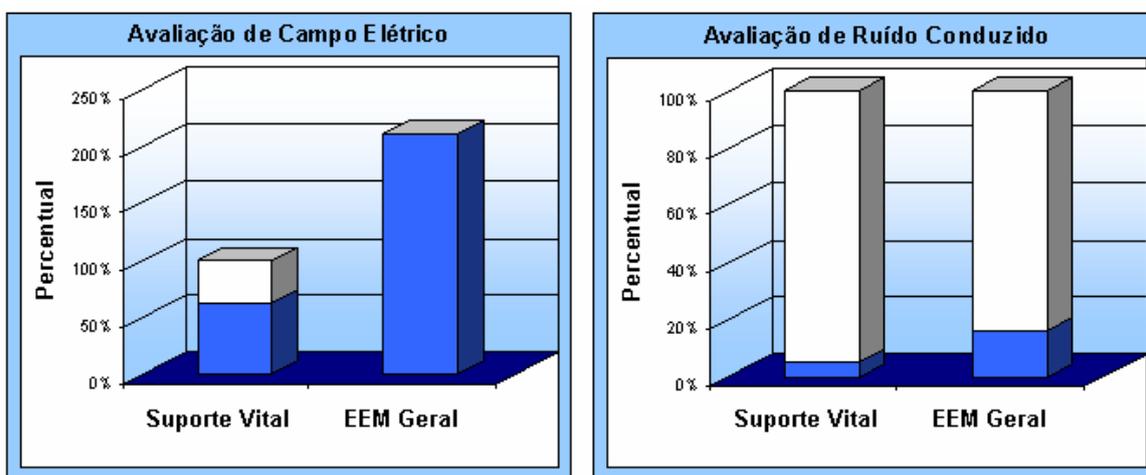


Figura 5-10: Avaliação Percentual do HF para Operação Segura dos EEM (NBR IEC 60601-1-2).

Para os quesitos de exposição de seres vivos, definidos pela ICNIRP, tem-se a situação ilustrada pela Figura 5-11.

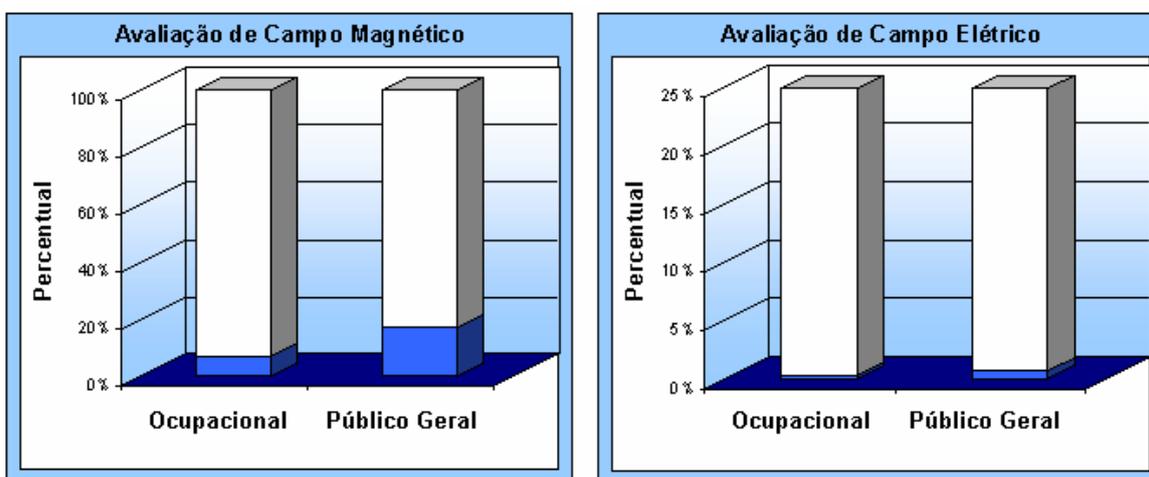


Figura 5-11: Avaliação Percentual do HF para Exposição dos Seres Vivos (ICNIRP 1998).

Com o diagnóstico apresentado por estes gráficos torna-se claro que a situação crítica estabelecida neste EAS está relacionada a apenas um quesito avaliado. Assim, fica consolidada somente à possibilidade de EMI radiada (campos elétricos) em EEM gerais, com índices de até 211,0% (i.e. mais de 2 vezes o limite de imunidade desta categoria). Ainda é possível observar, que a situação apresentada é adequada para operação de EEM de suporte vital, desde que os mesmos atendam os requisitos de imunidade preconizados pela norma.

5.3 ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ

Os ensaios realizados nas dependências do Hospital Regional de São José deram-se no interior da sala número 2 (dois) do centro cirúrgico, com dimensões de 5,0m x 5,0m. O ambiente típico avaliado está ilustrado pelos registros fotográficos da Figura 5-12.



Figura 5-12: Ambiente típico avaliado no Hospital Regional de São José.

A disposição de equipamentos e objetos no interior da sala avaliada obedece as recomendações do corpo clínico do hospital para constituir a configuração usual de um procedimento de rotina do EAS. Esta configuração está ilustrada no croqui da Figura 5-13.

Contudo, é possível identificar 25 (vinte e cinco) pontos de intersecção formados pela “grade” traçada no ambiente avaliado. Para a medição de campo elétrico, 7 (sete) destes pontos foram considerados aptos por atenderem às restrições impostas pelo sistema de aquisição de dados, à saber: A3, A4, C4, D2, D3, D4 e E3. Para a medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados. A justificativa da não medição de todos os pontos excluídos da análise encontra-se no ANEXO C.2.

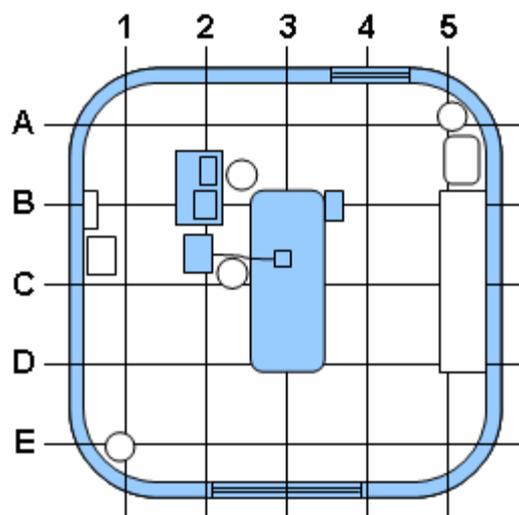


Figura 5-13: Disposição dos EEM no Interior do Ambiente Avaliado.

Dentre os equipamentos presentes no ambiente investigado que foram disponibilizados para a realização da simulação clínica deste ensaio, destacam-se a UEC (bisturi elétrico), um carro de anestesia com ventilador pulmonar, um monitor cardíaco, um oxi-capnógrafo, uma bomba de infusão (tipo seringa) e um foco cirúrgico. A documentação técnica destes equipamentos também pode ser encontrada no ANEXO C.2.

5.3.1 Resultado das Medições de Campo Elétrico

O resultado das medições de campo elétrico com os EEM em repouso, que avalia as emissões originadas por fontes eletromagnéticas situadas no ambiente externo, é apresentado pela Figura 5-14.

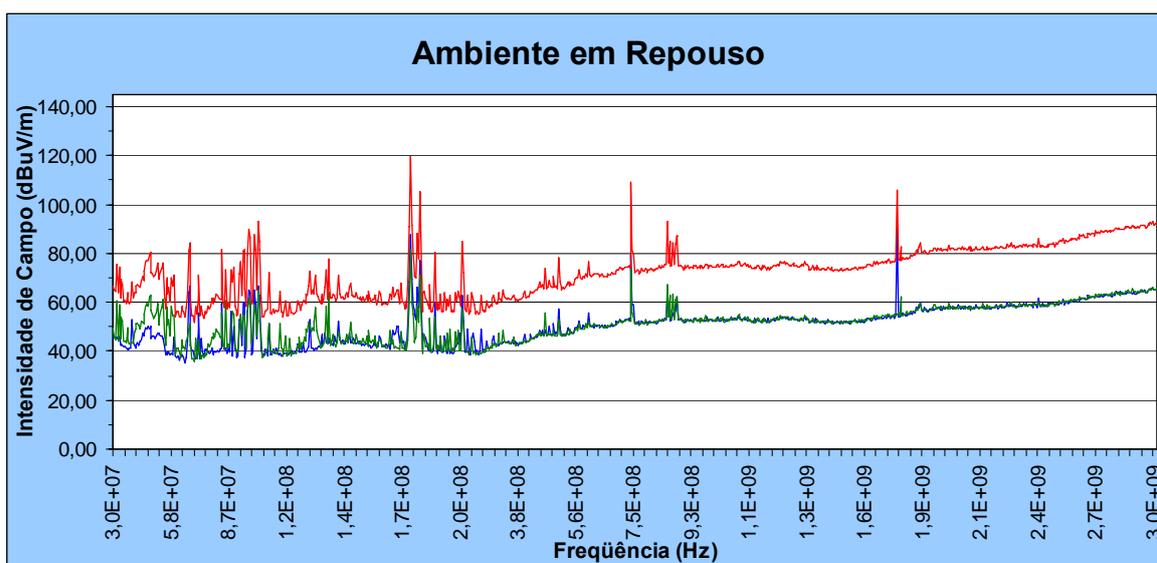


Figura 5-14: Espectro de Frequências do Hospital Regional de São José para Ambiente em Repouso.

O espectro de frequências apresentado é típico da região da Grande Florianópolis. As contribuições mais significativas são apresentadas de forma tabelada no ANEXO C.2.3, dentre elas destacam-se: Os canais de TV-VHF, a saber, 4 (67,4 MHz), 6 (83,3 MHz), 7 (176MHz), 8 (180MHz), 9 (188 MHz), e 12 (204 MHz), com intensidades de campo de até 119,77 dB μ V/m; As rádios FM, Itapema (93,7 MHz), Band (96,1MHz), Evangélica (99,3 MHz) e Atlântida (100,9 MHz); com intensidades de campo de até 93,27 dB μ V/m; Os canais de TV-UHF, com intensidades de campo de até 108,92 dB μ V/m para o canal 58 (739 MHz); Os serviços de comunicação, com intensidades de campo de até 93,05 dB μ V/m para 852,7 MHz As bandas de telefonia celular A e B, com intensidade de campo de até 87,14 dB μ V/m em 885,7 MHz, e a banda C, com intensidade de campo de até 105,72 dB μ V/m em 1.731 MHz.

O resultado das medições com os EEM em operação, que configura a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado, é ilustrado pela Figura 5-15.

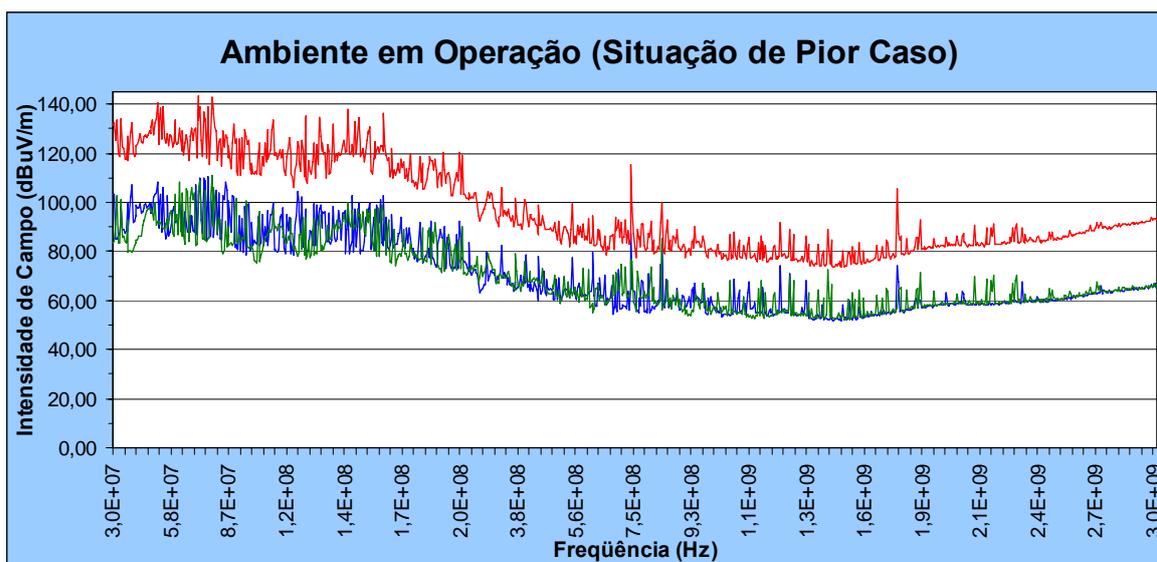


Figura 5-15: Espectro de Frequências do Hospital Regional de São José para Ambiente em Operação.

Pode-se notar que a operação dos EEM contribui significativamente para o aumento do ruído espectral no ambiente. O incremento médio de ruído observado, para operação dos EEM neste EAS, é da ordem de 24,62 dB μ V/m e ocorre principalmente para frequências de até 2.734 MHz. A situação mais crítica para este ambiente é observada para a frequência de 71,4 MHz onde a intensidade de campo atinge a casa de 143,54 dB μ V/m. Além disso, pode ser observado um nível de ruído bastante expressivo, que apresenta intensidade de campo elétrico superior a 3 V/m (129,54 dB μ V/m) em diversos pontos, na

faixa de frequências que se estende de 30,6 MHz até 163 MHz. Os valores mais significativos são apresentados de forma tabelada conforme ANEXO C.2.3.

5.3.2 Resultado das Medições de Campo Magnético

O resultado das medições de campo magnético com o ambiente em repouso resulta no mapeamento apresentado pela Figura 5-16.

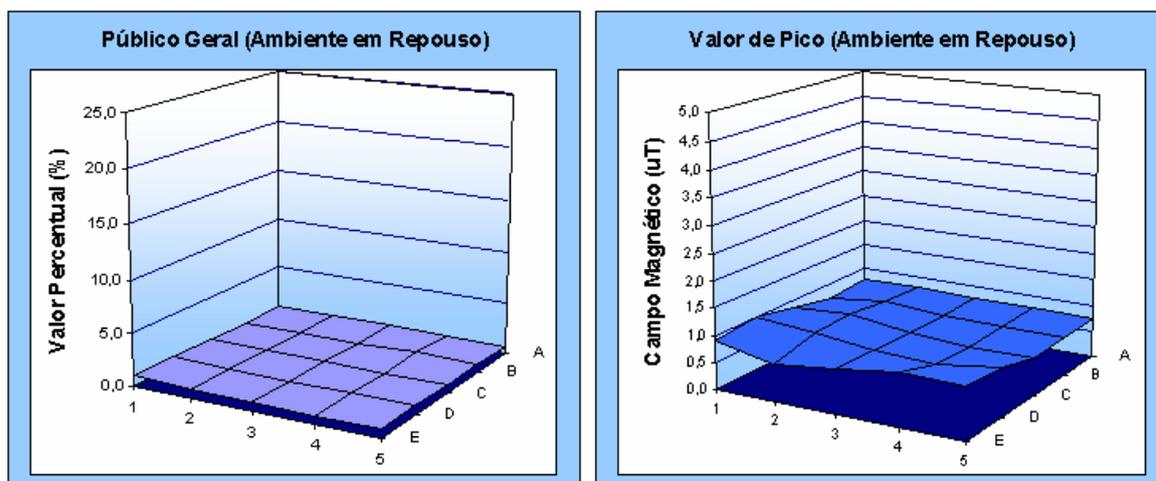


Figura 5-16: Mapeamento do Hospital Regional de São José para Ambiente em Repouso.

Os resultados da medição do ambiente em operação, que configuram a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado são ilustrados pela Figura 5-17.

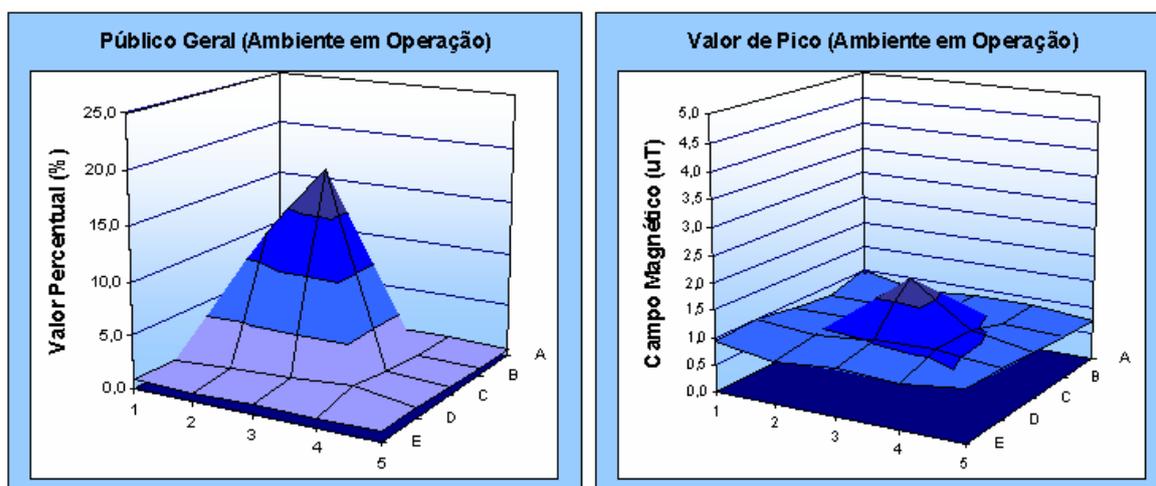


Figura 5-17: Mapeamento do Hospital Regional de São José para Ambiente em Operação.

Conforme apresentado pelo mapeamento espacial da Figura 5-15, os valores de campo magnético no ponto C3 (próximo à região de operação da caneta da UEC) atingem 19,09% do limite estipulado pela ICNIRP para exposição de público geral, com valores de pico que chegam a 1,834 μT . Destaca-se ainda, conforme mostrado em anexo, a obtenção da marca de 5,89% do limite para exposição de público ocupacional e valores rms de até

0,992 μ T. Todos os resultados desta avaliação, incluindo a distinção de valores para cada modo de operação da UEC, podem ser encontrados no ANEXO C.2.4.

5.3.3 Resultado da Medição de Ruído Conduzido

O resultado da medição de ruído conduzido obtido durante a operação de todos os EEM é apresentado pela Figura 5-18.

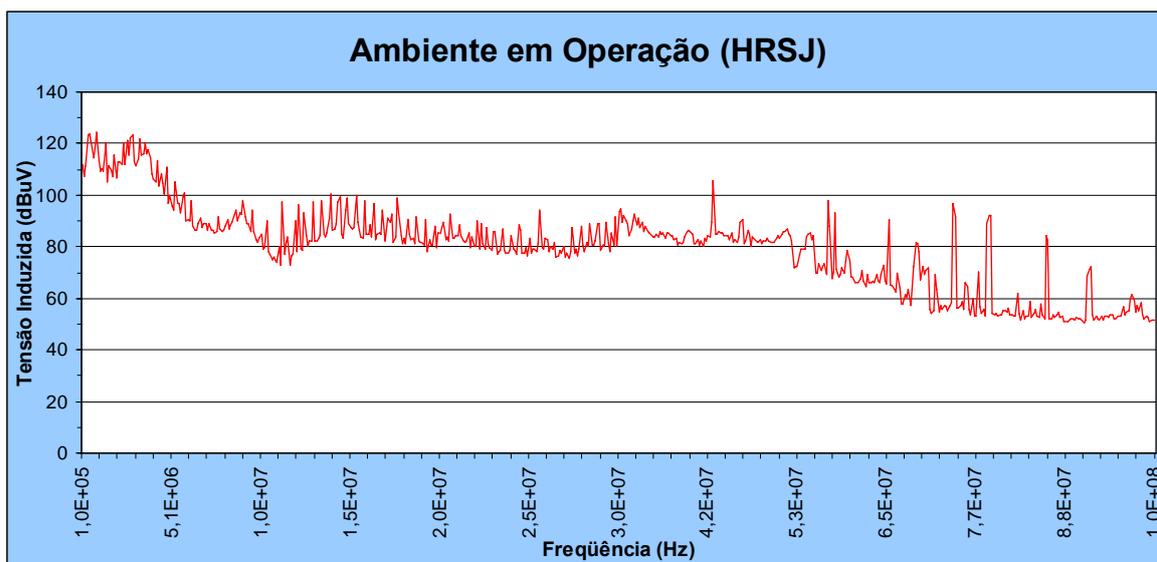


Figura 5-18: Espectro de Frequências de Ruído Conduzido no Hospital Regional de São José.

O valor crítico é de 124,42 dB μ V e pode ser observado na frequência de 900 kHz. As harmônicas emitidas durante a operação da UEC estão parcialmente encobertas por outros ruídos, mas podem ser observadas até próximo de 28 MHz.

5.3.4 Avaliação dos Resultados

Os resultados de campo elétrico observados durante a operação dos EEM neste EAS são bem críticos, visto que o incremento médio de ruído é bastante intenso e seus valores chegam a atingir até 143,54 dB μ V/m. Esta intensidade de campo supera tanto o nível de imunidade de para EEM de apoio e diagnóstico, de 3 V/m (129,54 dB μ V/m) [N6], quanto o nível de imunidade para equipamentos de suporte vital, de 10 V/m (140,0 dB μ V/m) [N6]. Portanto, fica constituído um ambiente que é altamente propício ao aparecimento de fenômenos de EMI via emissões radiadas.

A faixa de frequências crítica para este hospital estende-se de 30 MHz até 163 MHz, assim, uma maior investigação sobre os equipamentos que contribuem com as emissões radiadas estabelecidas nessa faixa, visando sua adaptação ou renovação é fortemente

recomendada. Este parâmetro também deve ser utilizado na aquisição de novos equipamentos, de modo a evitar o agravamento desta situação estabelecida.

Os valores obtidos para ruído conduzido, de no máximo 112,12 dB μ V, também se encontram em conformidade em relação ao limite de emissões conduzidas de 3 V (129,54 dB μ V) da IEC 60601-1-2 [N6], e não devem originar problemas de EMI.

Os valores de campo magnético atingem no máximo 19,09% do limite da norma ICNIRP, e para os campos elétricos também se encontram em conformidade [N7]. Portanto, conclui-se que para a faixa de frequência avaliada não existem evidências para riscos biológicos decorrentes da exposição excessiva aos campos eletromagnéticos.

Por fim, para suprimir a notação técnica das grandezas mensuradas, também se apresenta os resultados em termos percentuais. Os quesitos de operação segura dos EEM, definidos pela NBR IEC 60601-1-2, são observados na Figura 5-19.

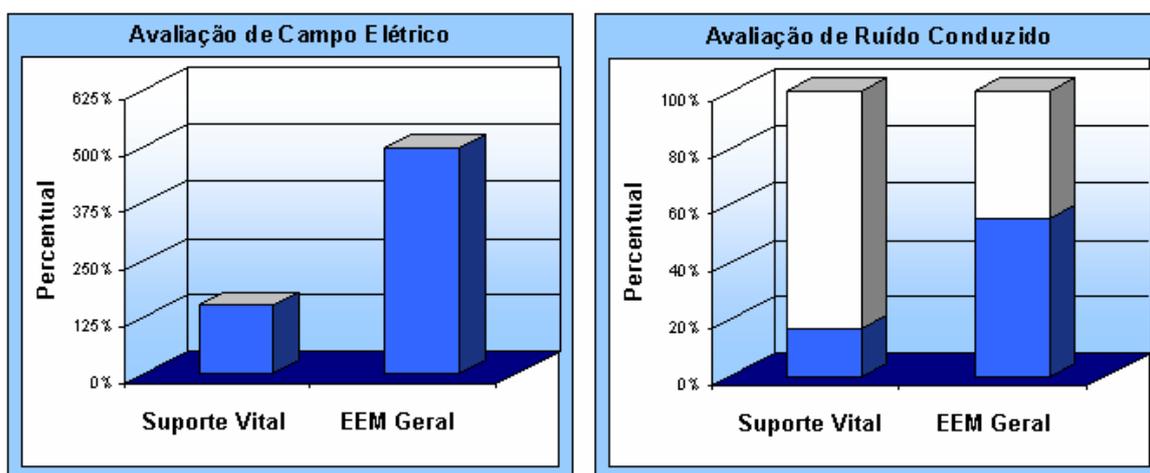


Figura 5-19: Avaliação Percentual do HRSJ para Operação Segura dos EEM (NBR IEC 60601-1-2).

Para os quesitos de exposição de seres vivos observa-se a ilustração da Figura 5-20.

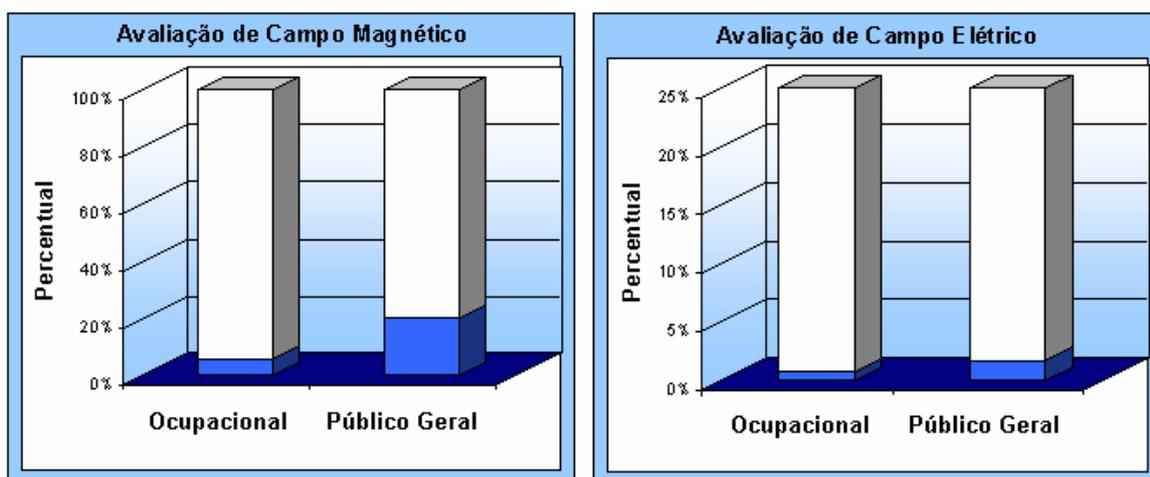


Figura 5-20: Avaliação Percentual do HRSJ para Exposição dos Seres Vivos (ICNIRP 1998).

Com o diagnóstico apresentado por estes gráficos torna-se claro que a situação crítica estabelecida neste EAS está relacionada a apenas um quesito avaliado. Portanto, constituiu-se a possibilidade de EMI radiada (campos elétricos), tanto para EEM gerais quanto para EEM de suporte vital. Os índices encontrados neste quesito chegam a até 501,0% (i.e. cerca de 5 vezes o limite de imunidade dos equipamentos), o que representa um quadro bastante desfavorável à operação segura dos mesmos.

5.4 ENSAIO REALIZADO NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

Os ensaios realizados nas dependências do Hospital Universitário foram procedidos no interior da sala número 3 (três) do centro cirúrgico, com dimensões de 5,4m x 5,2m. O ambiente típico avaliado está ilustrado pelos registros fotográficos da Figura 5-21.



Figura 5-21: Ambiente Típico Avaliado no Hospital Universitário.

A disposição de equipamentos e objetos no interior da sala avaliada obedece as recomendações do corpo clínico do hospital para constituir a configuração usual de um procedimento de rotina do EAS. Esta configuração está ilustrada no croqui da Figura 5-22.

Contudo, é possível identificar 25 (vinte e cinco) pontos de intersecção formados pela “grade” traçada no ambiente avaliado. Para a medição de campo elétrico, 7 (sete) destes pontos foram considerados aptos por atenderem às restrições impostas pelo sistema de aquisição de dados, à saber: A1, A4, C4, D1, D2, D3 e D4. Para a medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados. A justificativa da não medição de todos os pontos excluídos da análise encontra-se no ANEXO C.3.

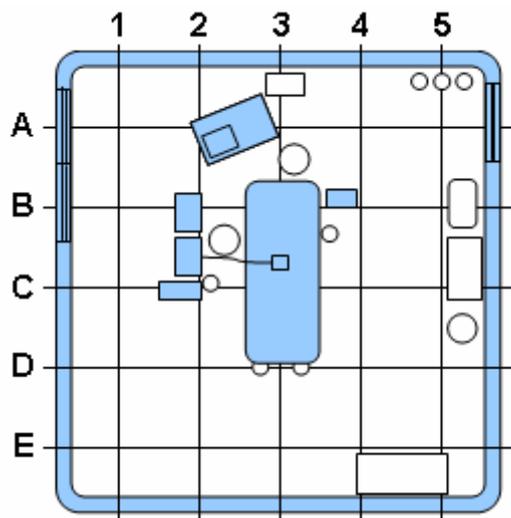


Figura 5-22: Disposição dos EEM no Interior do Ambiente Avaliado.

Dentre os equipamentos presentes no ambiente investigado que foram disponibilizados para a realização da simulação clínica deste ensaio, destacam-se a UEC (bisturi elétrico), um carro de anestesia com ventilador pulmonar, um monitor multiparâmetros, um medidor de pressão, uma bomba de infusão (tipo seringa) e um foco cirúrgico. A documentação técnica destes equipamentos também pode ser encontrada no ANEXO C.3.

5.4.1 Resultado das Medições de Campo Elétrico

O resultado das medições de campo elétrico com os EEM em repouso, que avalia as emissões originadas por fontes eletromagnéticas situadas no ambiente externo, é apresentado pela Figura 5-23.

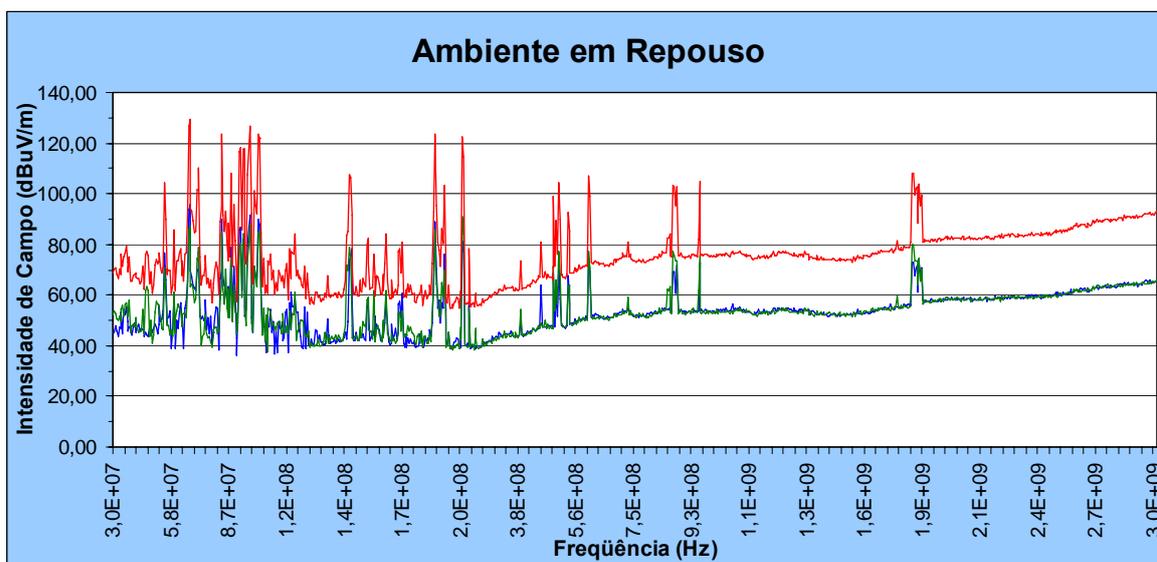


Figura 5-23: Espectro de Frequências do Hospital Universitário para Ambiente em Repouso.

O espectro de freqüências apresentado é típico da região de Florianópolis. As contribuições mais significativas são apresentadas de forma tabelada no ANEXO C.3.3, dentre elas destacam-se: Os canais de TV-VHF, a saber, 2 (54,9 MHz), 4 (67,4 MHz), 6 (83,3 MHz), 9 (188 MHz), 10 (192 MHz) e 12 (204 MHz), com intensidades de campo de até 129,40 dB μ V/m; As rádios FM, Amiga (89,1 MHz) Itapema (93,7 MHz), Band (96,1 MHz), Novo Tempo (96,9 MHz), Evangélica (99,3 MHz) e Atlântida (100,9 MHz); com intensidades de campo de até 134,48 dB μ V/m; Os canais de TV-UHF, 20 (508,0 MHz), 36 (603,3 MHz), com intensidades de campo de até 107,03 dB μ V/m; Os serviços de comunicação, com intensidades de campo de até 105,09 em 955,3 MHz; As bandas de telefonia celular A e B, com intensidade de campo de até 102,57 dB μ V/m em 874,7 MHz, e a banda C, com intensidade de campo de até 108,15 dB μ V/m em 1.810 MHz;

O resultado das medições com os EEM em operação, que configura a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado, é ilustrado pela Figura 5-24.

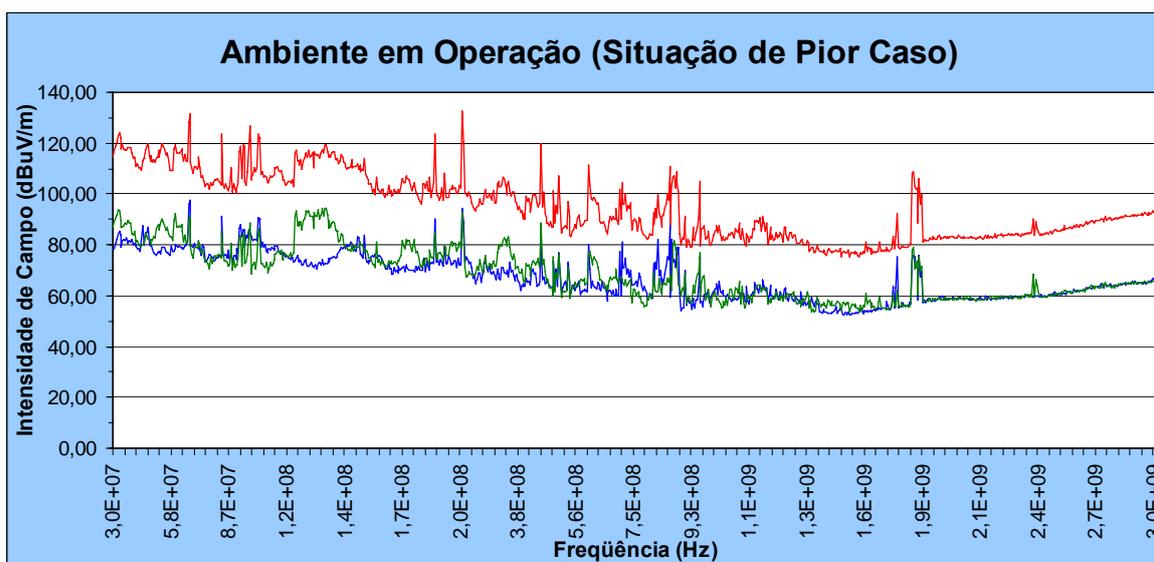


Figura 5-24: Espectro de Freqüências do Hospital Universitário para Ambiente em Operação.

Pode-se notar que a operação dos EEM contribui significativamente para o aumento do ruído espectral no ambiente. O incremento médio de ruído observado, para operação dos EEM neste EAS, é da ordem de 18,83 dB μ V/m e ocorre principalmente para freqüências de até 1.734 MHz. A situação mais crítica para este ambiente é observada para a freqüência de 204 MHz, onde a intensidade de campo atinge a casa de 132,45 dB μ V/m. Além desta freqüência, o limite de 3 V/m (129,54 dB μ V/m) também é superado para a freqüência de 67,4 MHz, onde é observada uma intensidade de 131,74 dB μ V/m. Os valores mais significativos são apresentados de forma tabelada conforme ANEXO C.3.3.

5.4.2 Resultado das Medições de Campo Magnético

O resultado das medições de campo magnético com o ambiente em repouso resulta no mapeamento apresentado pela Figura 5-25.

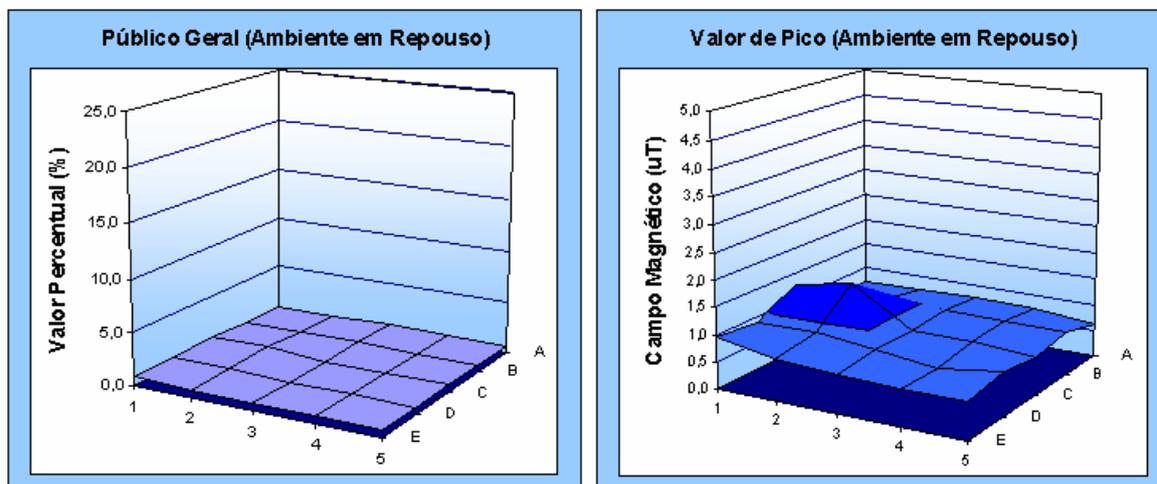


Figura 5-25: Mapeamento do Hospital Universitário para Ambiente em Repouso.

Os resultados da medição do ambiente em operação, que configuram a situação de pior caso encontrado no ambiente avaliado são ilustrados pela Figura 5-26.

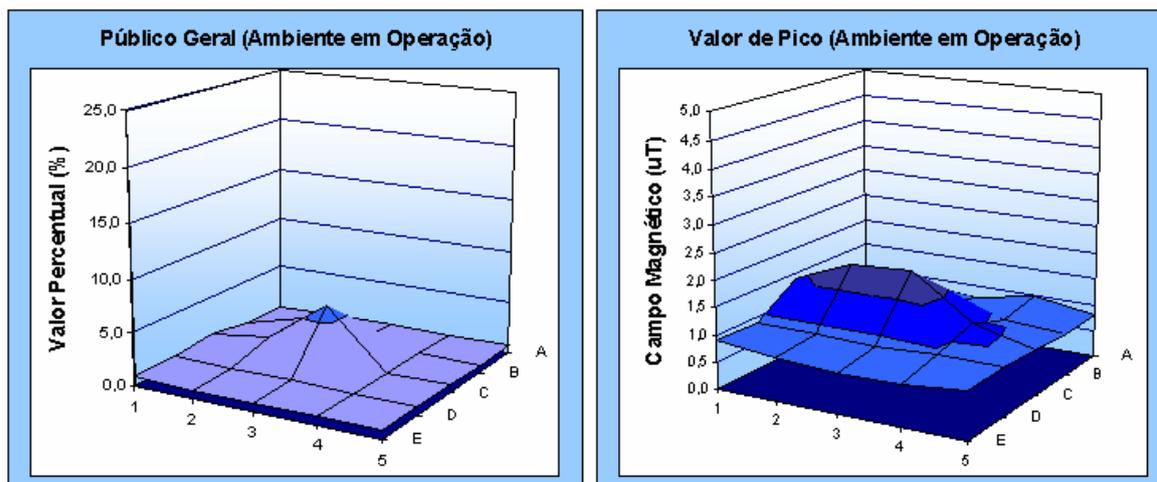


Figura 5-26: Mapeamento do Hospital Universitário para Ambiente em Operação.

Conforme apresentado pelo mapeamento espacial da Figura 5-22, os valores de campo magnético no ponto C3 (próximo à região de operação da caneta da UEC) atingem 6,17% do limite estipulado pela ICNIRP para exposição de público geral, com valores de pico que chegam a 1,925 μT . Destaca-se ainda, conforme mostrado em anexo, a obtenção da marca de 2,00% do limite para exposição de público ocupacional e valores rms de até 1,02 μT . Todos os resultados desta avaliação, incluindo a distinção de valores para cada modo de operação da UEC, podem ser encontrados no ANEXO C.3.4.

5.4.3 Resultado da Medição de Ruído Conduzido

O resultado da medição de ruído conduzido obtida durante a operação de todos os EEM é apresentado pela Figura 5-27.

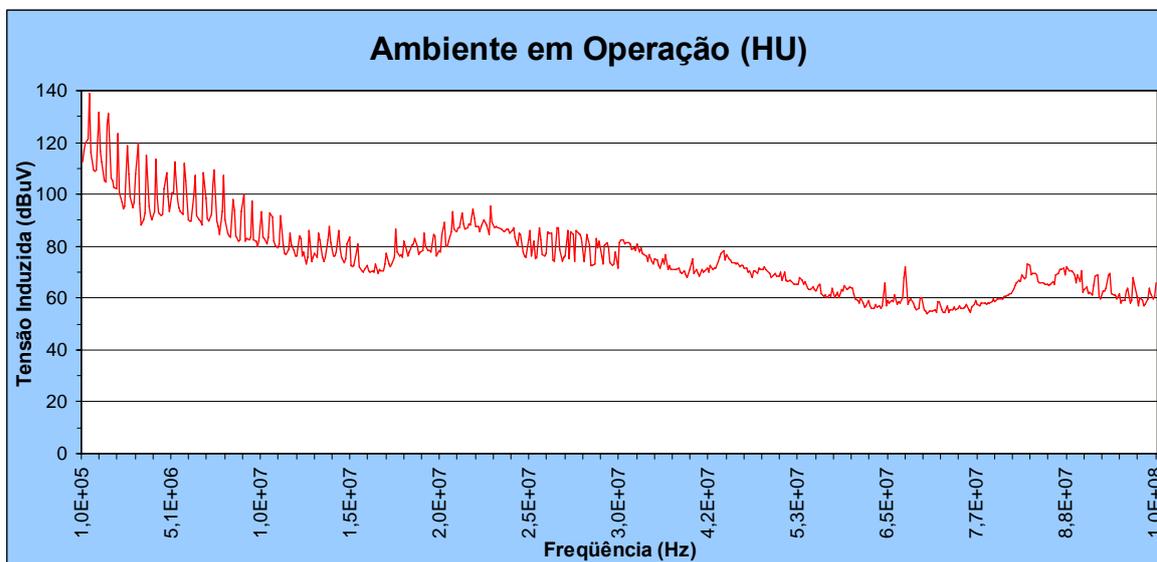


Figura 5-27: Espectro de Frequências de Ruído Conduzido no Hospital Universitário.

O valor crítico é de 138,96 dBμV e pode ser observado na frequência de 500 kHz. As harmônicas emitidas durante a operação da UEC podem ser claramente identificados até a faixa de 22,82 MHz.

5.4.4 Avaliação dos Resultados

O resultado de maior expressão observado neste EAS é o de ruído conduzido, aonde a tensão induzida por correntes espúrias chega a 138,96 dBμV e ultrapassam o nível de imunidade de 3 V (129,54 dBμV) [N6], para EEM de apoio e diagnóstico, e ainda, encontra-se relativamente próximo ao nível de 10 V (140,0 dBμV) [N6], para equipamentos de suporte vital. Contudo fica estabelecida uma situação propícia ao aparecimento de EMI via emissões conduzidas. Tal situação é provavelmente decorrente da utilização da UEC, haja vista que a margem de ruído em desconformidade foi notadamente alcançada pelo ruído harmônico provocado por este equipamento.

Além disso, o EAS também apresenta evidências para constituir EMI via emissões radiadas, pois durante a operação dos EEM os níveis de intensidade de campo atingem 132,45 dBμV/m, acima dos 3 V/m (129,54 dBμV/m) estabelecidos pela norma [N6].

Os valores medidos de campo magnético atingem no máximo 6,17% do limite estabelecido pela norma ICNIRP, e para os campos elétricos também se encontram bem

abaixo dos limites [N7]. Portanto, conclui-se que para a faixa de frequência avaliada não existem evidências para ocorrência de riscos biológicos oriundos da exposição excessiva aos campos eletromagnéticos.

Por fim, para suprimir a notação técnica das grandezas mensuradas, apresenta-se os resultados em termos percentuais, em relação aos limites das normas de referência (onde 100% representa o valor limite estipulado). Para os quesitos de operação segura dos EEM, definidos pela NBR IEC 60601-1-2, tem-se a situação ilustrada pela Figura 5-28.

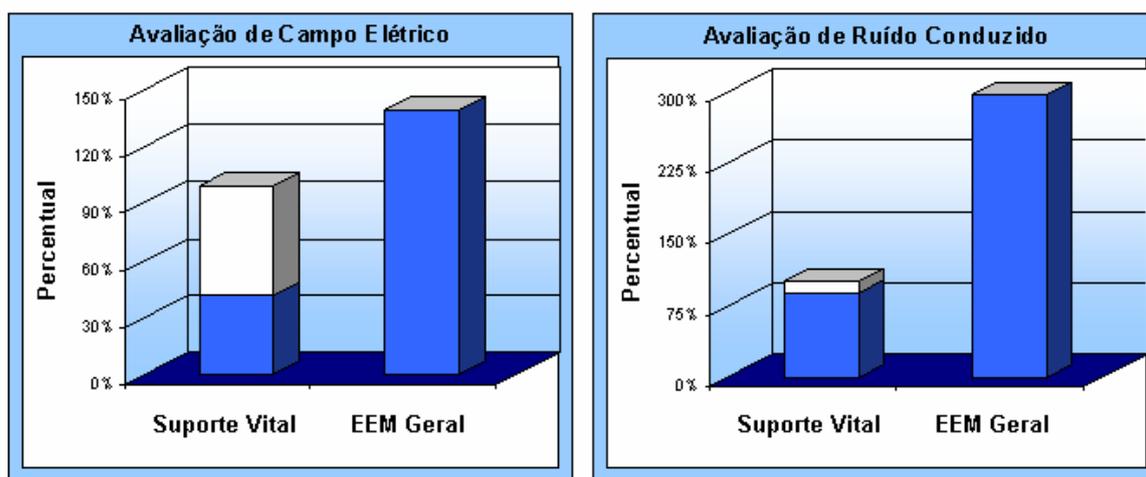


Figura 5-28: Avaliação Percentual do HU para Operação Segura dos EEM (NBR IEC 60601-1-2).

Para os quesitos de exposição de seres vivos, definidos pela ICNIRP, tem-se a situação ilustrada pela Figura 5-29.

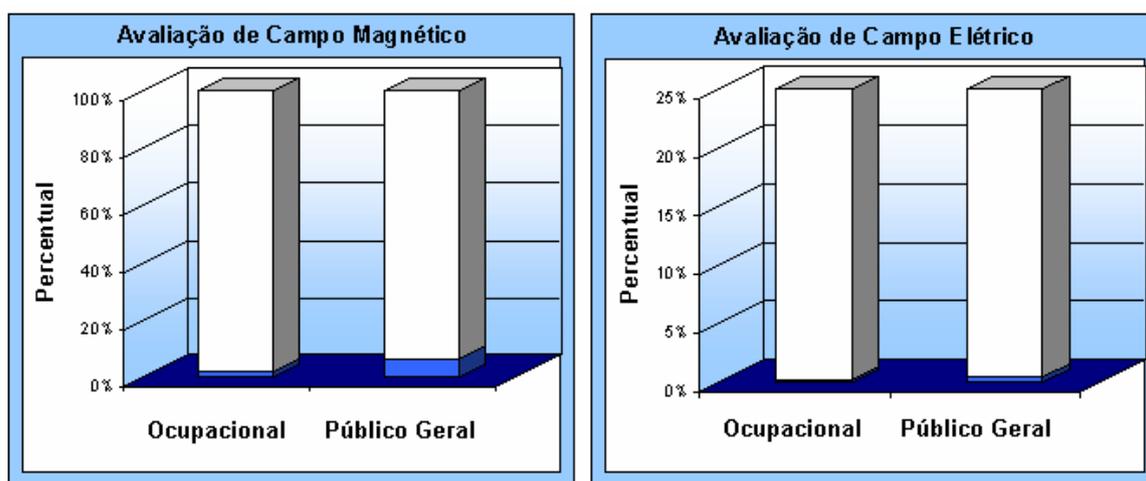


Figura 5-29: Avaliação Percentual do HU para Exposição dos Seres Vivos (ICNIRP 1998).

Com o diagnóstico apresentado por estes gráficos torna-se claro que a situação crítica deste EAS está relacionada a dois quesitos avaliados. Primeiramente, a possibilidade de EMI conduzida em EEM gerais, com índices de até 295,7% (i.e. quase 3 vezes o limite de imunidade para esta categoria). Além disso, também pode ser constituída a EMI via

emissões radiadas (campo elétrico) em EEM gerais, onde os índices chegam a atingir valores de 139,7%.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou sucintamente os resultados obtidos por meio de medições de emissões radiadas e conduzidas em cada um dos EAS avaliados. Ainda assim, uma discussão específica sobre os resultados encontrados em cada um dos hospitais foi realizada de modo a colocar em evidência as suas características particulares mais significativas. Residem justamente nesta especificação os principais pontos a serem observados para a implementação dos programas de gestão em EMC.

O capítulo que segue apresentará uma discussão global, sobre os aspectos comuns encontrados em todos os ambientes avaliados e as suas implicações. Assim, a discussão a seguir possui um caráter bem mais amplo, em que os aspectos indicados transpassam as fronteiras de um ou outro EAS, e devem ser encarados como aspectos gerais evidenciados pelos ambientes clínicos investigados, que possivelmente, podem estar presentes em diversos outros hospitais em funcionamento no país.

Capítulo VI

6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a avaliação detalhada das características de EMC encontradas nos EAS sob análise foram bastante estimulantes, haja vista que o objetivo proposto pelo trabalho, de diagnosticar a situação estabelecida em cada um dos ambientes investigados, foi alcançado com sucesso. Embora estes resultados devam ser utilizados com certa cautela, frente às restrições impostas pelo sistema de medição, e ainda a necessidade de validação do processo metrológico e do protocolo desenvolvido, à luz desta pesquisa, começa a existir um maior discernimento quanto à real situação do ambiente eletromagnético encontrado em EAS nacionais.

Os indicadores levantados neste trabalho (campo elétrico, campo magnético e ruído conduzido), por meio da análise espectral, mostraram-se diretrizes fundamentais para o desenvolvimento de programas de gestão em EMC a serem implementados em cada hospital. A partir de agora, estes programas passam a contar com um diagnóstico preciso em EMC, que aponta as principais fontes de energia eletromagnética, presentes no EAS, que devem ser combatidas por configurarem um risco conhecido à segurança dos procedimentos clínicos.

Um ponto de destaque da abordagem utilizada reside no fato de que cada um dos EAS avaliados apresentou um diagnóstico diferenciado, evidenciando o poder de análise do protocolo desenvolvido. Como fundamento para a presente afirmação, cabe salientar as diferentes características diagnosticadas pelos ensaios realizados nestes 3 (três) hospitais. O primeiro deles apresentou uma situação bastante delicada em relação a fontes eletromagnéticas externas, mesmo quando todos os EEM estavam em repouso. Tal característica vai ao encontro de conclusões alcançadas por outros trabalhos, que evidenciam a importante influência de fontes externas, como sinais de rádios FM, TV e de telefonia celular, no ambiente interno ao EAS.

Já para o caso do segundo EAS, foram observados problemas de emissões radiadas oriundas do funcionamento dos próprios EEM (fontes eletromagnéticas internas). Mais

uma vez, estes resultados referendam conclusões obtidas por outras pesquisas, e confirmam os EEM como importantes fontes de EMI. Cabe aqui ressaltar que a maioria dos equipamentos utilizados nesta avaliação eram tecnologias mais antigas, que provavelmente não foram projetadas sob os aspectos de EMC, e assim podem justificar o considerável incremento de ruído emitido de forma radiada ao ambiente.

Por último, o terceiro EAS apresentou problemas de ordem conduzida, em uma situação que é bastante peculiar de emissões provenientes da UEC. Embora este modelo de UEC ainda esteja em utilização neste hospital, trata-se de um equipamento antigo que não se encontra mais em comercialização segundo o fabricante. Este aspecto pode justificar o nível excessivo de ruído conduzido emitido pelo EEM, eis que o seu projeto, provavelmente, não tenha levado em consideração as recomendações de EMC.

A partir de então, faz-se necessário destacar que as características encontradas para cada um dos EAS avaliados são de caráter particular e definidas, exclusivamente, em função de sua localização e de seu parque tecnológico. Embora possam existir características comuns encontradas pelos levantamentos realizados em EAS distintos, em geral, os pontos críticos estabelecidos em uma determinada análise não devem ser extrapolados para outros ambientes. Como consequência, os programas de gestão tecnológica que devem ser adotados para cada EAS são independentes e adequados a uma situação específica de comportamento eletromagnético.

As discussões e avaliações desenvolvidas para cada um dos EAS investigados foram relatadas no Capítulo V, e brevemente rediscutidas nesta seção. A partir de agora, a discussão que se segue é referente aos aspectos globais e características em comum observadas nos ambientes avaliados. Embora ainda seja ponderada uma demanda maior de investigações para estabelecer definitivamente as conclusões aqui retratadas, algumas observações merecem destaque, tanto com relação à interferência eletromagnética, quanto para questões referentes aos riscos biológicos. Estes pontos são evidenciados a seguir.

6.1 CONCLUSÕES QUANTO A INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

A partir dos resultados obtidos pela caracterização eletromagnética dos ambientes encontrados em EAS nacionais, pode-se afirmar que há um risco comprovado para existência de fenômenos de EMI em diversos equipamentos médicos. Além disso, fica claro que este risco se apresenta de maneira diferenciada para cada EAS, pois ele é dependente de aspectos específicos da sua configuração, localização e de seu parque

tecnológico. Apenas com a avaliação global das tecnologias envolvidas no contexto de cada EAS pode-se garantir a segurança e a funcionalidade dos EEM em operação. Logo, a disseminação deste tipo de investigação deve ser incentivada em hospitais de todo país.

Cabe ressaltar, que a análise aqui desempenhada parte do princípio de que todos os EEM presentes no EAS estão em conformidade com os requisitos de imunidade estabelecidos pela norma vigente no país. Infelizmente, sabe-se que como a renovação do parque tecnológico em hospitais nacionais costuma ser lenta, é possível encontrar em operação nos hospitais uma considerável gama de equipamentos que são de uma geração tecnológica antiga. O principal problema nesta situação reside no fato de que, para estes equipamentos, os requisitos de EMC não costumavam ser utilizados em seus projetos e, em tese, além de contribuir mais para emissões espúrias ao ambiente, eles tendem a apresentar níveis de imunidade inferior aos definidos por norma. Como consequência, o risco real de EMI em equipamentos de uma geração tecnológica antiga é efetivamente maior do que o avaliado nesta análise, uma vez que as interferências podem ocorrer mesmo para níveis inferiores aos 3 V/m utilizados por este trabalho como parâmetro de imunidade.

Outro ponto de destaque, segundo os resultados obtidos, é a tendência decrescente para contribuição dos ruídos espúrios originados pelos EEM em função da frequência destas emissões. Em todos os hospitais avaliados, é possível observar que a manifestação dos ruídos em frequências mais baixas (cerca de 30 MHz) é notavelmente mais intensa do que a sua manifestação em frequências mais altas (próximas a 3 GHz).

O fator preocupante em relação a esta conclusão, reside no indício de que a faixa crítica para imunidade de EEM pode estar abaixo da frequência de 80 MHz, onde de fato o limite de imunidade radiada de 3 V/m foi excedido em todos os 3 (três) estabelecimentos avaliados. Levando-se em conta que a segunda edição da norma IEC 60601-1-2 suprimiu o limite de imunidade para frequências de 26 MHz até 80 MHz, esta faixa de frequências fica em descoberto (em relação à primeira edição) e pode estabelecer um problema bastante crítico. Assim, para todos os hospitais avaliados nesta pesquisa, existe uma lacuna normativa justamente na faixa de frequências onde eles mais carecem, que abre margem para o aparecimento de fenômenos de EMI em uma circunstância crucial.

Certamente, para a IEC suprimir a normalização internacional nesta faixa de frequências um motivo coerente deve ter sido levado em consideração. Entretanto, fica a dúvida se a situação dos EAS brasileiros está de acordo com estas considerações, e ainda, dá espaço para que o retorno desta faixa sobre a normalização nacional seja repensado.

Por fim, também baseado na contribuição decrescente das emissões radiadas dos EEM em função da frequência, é possível observar que a influência dos EEM na faixa de frequência reservada para telefonia celular tem-se mostrado baixa ou pouco correlacionada. Portanto, existe um indicativo de que a composição das emissões eletromagnéticas presentes nestas frequências é basicamente proporcionada pelo sistema de telefonia em si. Dessa forma, uma política de gestão para a definição de zonas de “restrição ao uso” baseada na influência das ERB presentes nos arredores do EAS e no número de aparelhos circulantes no ambiente pode ser suficiente para evitar problemas de EMI nesta faixa de frequências.

6.2 CONCLUSÕES QUANTO A RISCOS BIOLÓGICOS

Segundo a análise realizada por esta pesquisa, não existe evidência para o aparecimento de riscos biológicos em profissionais e pacientes presentes no ambiente dos EAS avaliados. Entretanto, destaca-se que esta conclusão é baseada nos limites normativos preconizados pela norma ICNIRP 1998, a qual na medida em que os estudos na área avançam e novas conclusões com relação aos riscos biológicos são descobertas, costuma revisar os limites estabelecidos de modo a garantir uma margem de segurança para exposição de seres vivos.

Os resultados obtidos para medição de campo magnético na faixa de 1 Hz até 400 kHz, apresentam valores bem abaixo do limite estabelecido pela norma, e não chegam a atingir 20% do seu valor estipulado. Embora medições de campo elétrico nessa faixa de frequências não tenham sido realizadas, e ainda, visto que para estas frequências os campos eletromagnéticos encontram-se na região de campo próximo onde a impedância intrínseca do meio não é exatamente os 377Ω , os valores bem abaixo do limite estabelecidos para campos magnéticos sugerem que a condição de campos elétricos também seja favorável.

Seguindo as conclusões apresentadas por outras pesquisas, a faixa de frequências de 20 MHz a 400 MHz também é expressiva, visto a existência de sinais de alta intensidade de campo, como rádios FM, TV e alguns sistemas de comunicação. Além disso, a regulamentação de níveis de campo eletromagnético neste intervalo de frequências é o mais rigoroso, pois é justamente neste intervalo onde existe a maior absorção de energia pelo ser humano, uma vez que os comprimentos de onda são das dimensões do corpo em pé.

Os limites de segurança estabelecidos para exposição de público geral nas frequências de 20 MHz até 400 MHz são da ordem de 28 V/m (rms), e de 870 V/m (valor de pico) [N7]. Portanto, mesmo nesta faixa crítica, os valores de campo elétrico encontrados no ambiente avaliado estão bem abaixo dos limites preconizados pela norma. Haja vista a situação bastante favorável estabelecida, uma extrapolação desses valores para campos magnéticos também se encontram dentro da margem de segurança.

Por fim, cabe destacar que embora as evidências para o estabelecimento de risco biológico nestes ambientes tenham se mostrado fraca, este tipo de avaliação possui um importante papel no sentido de proporcionar um embasamento científico no tocante a estes assuntos. Os resultados apresentados seguem a linha de conclusões obtidas por outros trabalhos, que avaliaram estes fenômenos em ambientes tipicamente urbanos [P11]. Este tipo de iniciativa deve ser incentivada, para avaliar rigorosamente a real situação estabelecida e diminuir os apelos especulativos que tangem esta polêmica.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A existência do risco comprovado de EMI e o maior esclarecimento da situação eletromagnética estabelecida em EAS são fortes estímulos para que outros trabalhos nessa linha sejam realizados. Além de continuar e aprimorar a análise desempenhada deve-se, a partir de agora, aprimorar a gama de investigações realizadas nestes ambientes. Como exemplo, é importante a realização de medições de longa duração que avaliem continuamente o padrão de variação das emissões eletromagnéticas em hospitais nacionais.

Ainda assim, o acompanhamento do comportamento eletromagnético destes ambientes, em uma programação semelhante a uma manutenção periódica, também é um ponto importante a ser avaliado. Nesse sentido, é cabível um estudo para melhoria do sistema de medição implementado, de modo que seja permitida a realização de medições durante procedimentos cirúrgicos reais sem interferir no trabalho do corpo clínico e expor os pacientes a riscos. Mais uma vez, destaca-se que esta análise não substitui por completo a realização da simulação clínica, visto que nesta é possível operar os EEM em condições extremas, como por exemplo, a de potência máxima.

Outra contribuição interessante vem no sentido de realizar ensaios de EMC para os modelos de EEM que são encontrados em operação durante a rotina hospitalar, de modo a constituir um banco de dados dos padrões de emissão eletromagnética para equipamentos e ambientes. A análise conjunta dos padrões de emissão oriundos de EEM e dos padrões

estabelecidos no EAS são ferramentas importantes para a gestão da EMC em aspectos globais. Esta avaliação pode-se tornar uma importante ferramenta para renovação do parque tecnológico dos hospitais, pois permite a aquisição de EEM que sejam adequados para operação no ambiente estabelecido.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 NORMAS TÉCNICAS

- [N1] ANSI; C63-2 (1996) “*American National Standard for Electromagnetic Noise and Field Strength Instrumentation, 10Hz to 40 GHz – Specifications*”, American National Standards Institute (ANSI).
- [N2] ANSI; C63-4 (2003) “*American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz*”, American National Standards Institute (ANSI).
- [N3] BRASIL/ABNT; (1995) NBR IEC/CISPR 11 “*Limites e Métodos de Medição de Características de Perturbação Eletromagnética em Radiofrequência de Equipamentos Industriais, Científicos e Médicos*”, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [N4] BRASIL/ABNT; (1997) NBR IEC 60601-1-2 “*Equipamento Eletromédico – Norma Colateral: Compatibilidade Eletromagnética – Prescrições e Ensaio*”, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [N5] BRASIL/ABNT; (2005) Draft da NBR IEC 60601-1-2 (Segunda Edição) “*Equipamento Eletromédico – Norma Colateral: Compatibilidade Eletromagnética – Prescrições e Ensaio*”, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [N6] IEC (2005); IEC 60601-1-2 (Edition 2.1) “*Medical Electrical Equipment: General Requirements for Safety – Collateral Standard: Electromagnetic Compatibility – Requirements and Tests*”, International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N7] ICNIRP; (1998) “*Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*”, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

-
- [N8] IEC 61000-3-3; “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current $\leq 16 A$* ”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N9] IEC 61000-4-2 (1995); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques – Section 2: Electrostatic Discharge Immunity Test – Basic EMC Publication*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N10] IEC 61000-4-3 (1995); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and Measurement Techniques - Radiated, Radio-frequency, Electromagnetic Field Immunity Test.*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N11] IEC 61000-4-4 (1995); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 4: Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test – Basic EMC Publication*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N12] IEC 61000-4-5 (1996); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 5: Surge Immunity Test*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N13] IEC 61000-4-6 (1995); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 6: Immunity to Conducted Disturbances, Induced by Radio-frequency Fields*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N14] IEC 61000-4-8; “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 8: Power Frequency Magnetic Field Immunity Test - Basic EMC Publication*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N15] IEC 61000-4-11 (1994); “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 11: Voltage Dips, Short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests*”; International Electrotechnical Commission (IEC)

- [N16] IEC/CISPR; (1993) IEC/CISPR 16-1 “*Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods: Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus*”, International Electrotechnical Commission (IEC).
- [N17] IEC/CISPR; (1996) IEC/CISPR 16-2 “*Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods: Methods of Measurement of Disturbance and Immunity*”, International Electrotechnical Commission (IEC).
- [N18] IEC; IEC 61000-3-2, “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current $\leq 16 A$ Perphase)*”; International Electrotechnical Commission (IEC)
- [N19] IEEE; Std 139-1988 (1993) “*Recommended Practice for the Measurement of Radio Frequency Emission from Industrial, Scientific, and Medical (ISM) Equipment Installed on User’s Premises*”, New York, Revisão de Março de 1993, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [N20] IEEE; Std C95-3 (1991) “*Recommended Practice for the Measurement of Potential Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*”, New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [N21] IEEE; Std. 519 (1992) “*Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*”, New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

7.2 RESOLUÇÕES

- [R1] BRASIL/ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, “*Resolução nº444, de 31 de agosto de 1999*”, Publicação, D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 01 de setembro de 1999.
- [R2] BRASIL/ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações, “*Resolução nº 303, de 02 de julho de 2002*”, Publicação, D.O.U. – Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 01 de agosto de 2002.

7.3 PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

- [P1] BASTOS, J.P.A.; (1992) “*Eletromagnetismo e Cálculo de Campos*”, 3ª Edição Revisada, Florianópolis / SC: Editora da UFSC.
- [P2] CABRAL, S.; (2001) “*Interferência Eletromagnética em Equipamento Eletromédico Ocasionalada por Telefonia Celular*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [P3] CARPES JUNIOR, W.P.; (2005) “*Curso de Antenas*”, Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- [P4] KRAUS, J.D.; (1991) “*Electromagnetics*”, 4ª Edição (Internacional), Nova Iorque / NY: Ed. McGraw-Hill.
- [P5] PAUL, C. R.; (1992) “*Introduction to Electromagnetic Compatibility*”, Primeira Edição, Nova Iorque / NY: Ed. John Wiley & Sons Inc.
- [P6] PERES, R.; (1995) “*Handbook of Electromagnetic Compatibility*”, Primeira Edição, San Diego / CA: Ed. Academic Press.
- [P7] RAIZER, A.; (2000) “*Introdução à Compatibilidade Eletromagnética*”, Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- [P8] SHADIKU, M.N.O; (2004) “*Elementos de Eletromagnetismo*”, 3ª edição, Porto Alegre / RS: Ed. Bookman.
- [P9] VALENTE JR., W.; (2002) “*Compatibilidade Eletromagnética Aplicada à Área Médica*”, Monografia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- [P10] WILLIAMS, T.; ARMSTRONG, K.; (2003) “*EMC for Systems and Installations*”, 2ª Edição, Burlington / MA: Ed. Newnes.

[P11] WOLLINGER, P.R.; (2003) “*Estudo dos Níveis de Radiação Eletromagnética em Ambiente Urbano*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

7.4 ARTIGOS TÉCNICOS

[P12] ARCANGELIS, T.D.; (1998) “*Antennas for EMC Applications*”, Item Update – Antennas, 1998, p. 46-53.

[P13] ARNOFSKY, S.; DOSHI, P.; KENNETH, R.; FOSTER; HANOVER, D.; MERCADO, R.; SCHLECK, D.; SOLTYS, M.; (1995) “*Radiofrequency Field Surveys in Hospitals*”, Proceedings of IEEE, 1995, p. 129-131.

[P14] ASHLEY, J.R.; (2000) “*Are Power Lines Unsafe?*”, IEEE Spectrum, jul./2000.

[P15] BABA, I.; FURUHATA, H.; KANO, T.; WATANABE, S.; ITO, T.; NOJIMA, T.; TSUBOTA, S.; (1998) “*Experimental Study of Electromagnetic Interference From Cellular Phones with Electronic Medical Equipment*”, *Journal of Clinical Engineering*, vol. 23, No 2, mar/abr. 1998, p. 122-134.

[P16] BAISAKHIYA, S.; GANEASN, R.; DAS, S.K.; (2003) “*IEC 60601-1-2, 2001: New EMC Requirements for Medical Equipment*”, Proceedings of INCEMIC, 2003, p. 409-414.

[P17] BANDOPADHYAY, S.; VARKEY, J.K.; (1997) “*Measurement of Electromagnetic Field Strengths in Urban and Suburban Hospital Operating Rooms*”, Proceedings of 19th International Conference IEEE/EMBS, out./nov. 1997, p. 266-272.

[P18] BANSAL, R.; (1999) “*The Far-field: How Far is Far Enough?*”, Design Ideas, Applied Microwave & Wireless, 1999, p. 58-59.

[P19] BARE, D.W.; (2004) “*Medical Product EMC*”, International Symposium of Electromagnetic Compatibility, EMC'04, 2004.

- [P20] BITTAR, G; RAIZER, A; (2005) “*A Compatibilidade Eletromagnética em Equipamentos de Telecomunicações no Cenário Nacional*”, XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT’05.
- [P21] BOISVERT, P.; SEGAL, B.; PAVLASEK, T.; RETFALVI, S.; SEBE, A.; CARON, P.; (1991) “*Preliminary Survey of the Electromagnetic Interference Environment in Metropolitan Hospitals*”, Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1991, p. 214-219.
- [P22] BOIVIN, W.S.; BOYD, S.M.; COLETTA, J.N.; HARRIS, C.D.; NEUNABER, L.M.; (1997) “*Measurement of Electromagnetic Field Strength in Urban and Suburban Hospital Operating Rooms*” Proceedings of 19th International Conference IEEE/EMBS, out./nov. 1997, p. 2539-2542.
- [P23] BOYD, S.M; BOIVIN, W.S.; COLETTA, J.N.; HARRIS, C.D.; NEUNABER, L.M.; (1999) “*Documenting Radiated Electromagnetic Field Strength in the Hospital Environment*” Journal of Clinical Engineering, mar./abr. 1999, p.124-132.
- [P24] CABRAL, S.; MÜHLEN, S. S; (2000) “*Interferência Eletromagnética em Ambientes Hospitalares*”, Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB 2000.
- [P25] CABRAL, S.; MÜHLEN, S. S; (2002) “*Interferência Eletromagnética em Equipamentos Eletromédicos Ocasionalada por Telefonía Celular*”, Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, vol. 18, No 3, set./dez. 2002, p. 141-149.
- [P26] CAPPS, C.; (2001) “*Near Field or Far Field?*”, Design feature, EDN, ago./2001, p. 95-102.
- [P27] COMAR Reports; (2001) “*Human Exposure to Radio Frequency and Microwave Radiation from Portable and Mobile Telephones and Other Wireless Communication Devices – A COMAR Technical Information Statement*”, IEEE Engineering in Medicine and Biology, jan./fev. 2001, p. 128-131.

- [P28] DAVID, Y; BUKHARI, A.R.S.; PAPERMAN, W.D.; (2000) “*Management of Electromagnetic Interference at a Hospital Environment*”, Journal of Clinical Engineering, mar./abr. 2000, p. 95-103.
- [P29] DAVIS, D.; SEGAL, B.; CINQUINO, A.; HOEGE, K.; MASTROCOLA, R.; PAVLASEK, T.; (1999) “*Electromagnetic Compatibility in Hospital Corridors*”, Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999, p. 268-272.
- [P30] DAVIS, D.; SEGAL, B.; MARTUCCI, D.M.; PAVLASEK, T.; (2001) “*Volumetric 1.9-GHz Fields in a Hospital Corridor: Electromagnetic Compatibility Implications*”, Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2001, p. 1131-1134.
- [P31] DAVIS, D.; SEGAL, B.; PAVLASEK, T.; (1999) “*Can Minimum Separation Criteria Ensure Electromagnetic Compatibility in Hospitals? An Experimental Study*”, Proceedings of 34th Annual Meeting of the Association for the Advancement of Medical instrumentation, set./out. 1999, p. 411-416.
- [P32] DAVIS, D.; SEGAL, B.; TRUEMAN, R.; CALZADILLA, R.; PAVLASEK, T.; (2000) “*Measurement of Indoor Propagation at 850 MHz and 1.9 GHz in Hospital Corridors*”, Proceedings of IEEE-APS Conference on Antennas & Propagation for Wireless Communication, 2000, p. 77-80.
- [P33] DAVIS, D.; SKULIC, B.; SEGAL, B.; VLACH, P.; PAVLASEK, T.; (1997) “*Hospital Emergency Room Electromagnetic Environment*”, Proceedings of 19th International Conference IEEE/EMBS, out./nov. 1997, p. 2543-2546.
- [P34] DAVIS, D.; SKULIC, B.; SEGAL, B.; VLACH, P.; PAVLASEK, T.; (1998) “*Variation of Emergency Room Electromagnetic Interference Potential*”, Proceedings of International Conference IEEE, 1998, p. 1996-1999.

- [P35] FOSTER, K.R.; MOULDER, J.E.; (2000) “*Are Mobile Phones Safe?*”, IEEE Spectrum, ago./2000, p. 23-28.
- [P36] FURUHATA, H.; (1999) “*Electromagnetic Interference of Electric Medical Equipment from Hand-held Radio-communication Equipment*”, Proceedings of IEEE, 1999, p. 468-471.
- [P37] GOMES, C.L.; NOGUEIRA NETO, G.; CRUZ, F. P.; NOHAMA, P.; (2002) “*Roteiro para Avaliação in Situ de EMI Proveniente de Telefones Celulares sobre Equipamentos Médico-Hospitalares*”; XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, set./2002, p. 23-26.
- [P38] GUIMARÃES JR., C.A.C.; GARCIA, R; RAIZER, A.; (1998) “*Studies of Electromagnetic Interference from Eletrosurgical Units*”, EMC’ 98 Roma – International Symposium on Electromagnetic Compatibility, set./1998, p. 689-694.
- [P39] HANADA, E.; ANTOKU, Y.; TANI, S.; KIMURA, M.; HASEGAWA, A.; URANO, S.; OHE, K.; YAMAKI, M.; NOSE, Y.; (2000) “*Electromagnetic Interference on Medical Equipment by Low-Power Mobile Telecommunication Systems*”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 42, No 4, nov./2000, p. 470-476.
- [P40] McLEAN, J.; SUTTON, R.; HOFFMAN, R.; (2001) “*Antenna Performance Parameters for EMC Applications, Part 1: Radiation Efficiency and Input Impedance Match*”, TDK RF Solution Inc. Report, 2001, p. 1-6.
- [P41] McLEAN, J.; SUTTON, R.; HOFFMAN, R.; (2001) “*Antenna Performance Parameters for EMC Applications, Part 2: Radiation Pattern, Gain, and Directivity*”, TDK RF Solution Inc. Report, 2001, p. 7-17.
- [P42] McLEAN, J.; SUTTON, R.; HOFFMAN, R.; (2001) “*Antenna Performance Parameters for EMC Applications, Part 3: Antenna Factor*”, TDK RF Solution Inc. Report, 2001, p. 18-26.

- [P43] MIRO, L.; DE SEZE, R. (1996) “*Critical Study of the Present Standardization in the Radio Frequency Range*”, Proceedings of the VII COST 244 Workshop on Standards, out./1996, p. 5-6.
- [P44] MODI, D.; (1997) “*IEC 60601-1-2 and its Impact on Medical Device Manufacturers*”, Proceedings of 19th International Conference IEEE/EMBS, out./nov. 1997, p.2531-2534.
- [P45] MOULDER, J.E.; (1999) “*An Assessment of the Evidence Relating to Radiofrequency Radiation and Cancer*”, Federation of the Electronics Industry Report, out/1999.
- [P46] MOULDER, J.E.; (2000) “*Do Cellular Phones Cause Cancers?*”, Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin. Health News, 2000.
- [P47] MOULDER, J.E.; (2005) “*Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health*”, Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin, set./2005.
- [P48] MOULDER, J.E.; (2005) “*Power Lines and Cancer FAQ’s*”, Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin, set./2005.
- [P49] NELSON, R.; JI, H.; (1994) “*Electric Field Strengths Created by Electrosurgical Units*”, Proceedings of IEEE International Symposium EMC, 1994, p. 366-370.
- [P50] NELSON, R.; JI, H.; (1999) “*Electric and Magnetic Field Created by Electrosurgical Units*”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 41, No 1, fev./1999, p. 55-64.
- [P51] NOGUEIRA NETO, G.; GOMES, C.L.; CRUZ, F. P.; NOHAMA, P.; (2002) “*Resultados Preliminares de EMI Provocada por Telefones Celulares sobre*

Equipamentos Médicos em Hospitais de Curitiba”; XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, set./2002, p.18-22.

- [P52] PAPERMAN, W.D.; DAVID, Y (2002) “*Management of EMI in the Hospital Environment*”, Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference, out./2002, p. 1946.
- [P53] PAPERMAN, W.D.; DAVID, Y.; MARTINEZ, M.; (1996) “*Testing for EMC in the Clinical Environment*” Journal of Clinical Engineering, maio/jun. 1996, p 207 – 211.
- [P54] PAPERMAN, W.D.; DAVID, Y.; McKEE, K.A.; (1994) “*Electromagnetic Interference: Cause and Concerns in the Hospital Environment*”, Healthcare Facilities Management Series, American Society for Healthcare Engineering, 1994.
- [P55] PHAIBOON, S.; SOMKUARNPANIT, S.; (2000) “*Modeling and Analysis the Effect of Radio – Frequency Fields in Hospitals to the Medical Equipment*”, Proceedings of IEEE, 2000, p. 92-95.
- [P56] SILBERBERG, J.L.; (1993) “*Performance Degradation of Electronic Medical Devices Due to Electromagnetic Interference*”, Compliance Engineering, vol. X, No 5, 1993, p. 1-8.
- [P57] SILBERBERG, J.L.; (2001) “*Achieving Medical Device EMC: The Role of Regulations, Standards, Guidelines and Publications*”, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC 2001, p. 1298-1303.
- [P58] STEWARD, W.; (2000) “*Mobile Phones and Health*”, Independent Expert Group on Mobile Phones, maio/2000.
- [P59] STUCHLY, M.A.; (1995) “*Mobile Communication Systems and Biological Effects on their Users*”, The Radio Science Bulletin, URSI, No 275, 1995, p. 7-12.

- [P60] TAN, K.S.; SEREGELY, J.; CULE, D.; BOUCHARD, P.; HINBERG, I.; WU, Y.; (2001) “*Electromagnetic Interference from Digital Television Signals on Medical Devices*” *Journal of Clinical Engineering*, 2001, p.140-143.
- [P61] TRAVASSOS JR., X. L.; DE LIZ, M.; RAIZER, A. (2002) “*Interferência Eletromagnética (EMI) Emitida por Equipamentos Eletromédicos*”; XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, set./2002, p. 27-32.
- [P62] VALENTE JR, W; FERREIRA, K.M.; RAIZER, A.; GARCIA, R.; (2002) “*Estudo de Metodologia para o Levantamento dos Ambientes Eletromagnéticos em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde*”; XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, set./2002, p.209.
- [P63] VLACH, P.; LIU-HINZ, C; SEGAL, B.; SKULIC, B; PAVLASEK, T.; (1997) “*The Electromagnetic Environment due to Portable Sources in a Typical Hospital Room*” *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 1997, p. 683-684.
- [P64] VLACH, P.; SEGAL, B.; LEBEL, J.; PAVLASEK, T.; (1999) “*Cross-Floor Signal Propagation Inside a Contemporary Ferro-Concrete Building at 434, 862, and 1705 MHz*”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, nº7, jul./1999, p. 1230-1232.
- [P65] VLACH, P.; SEGAL, B.; PAVLASEK, T.; (1995) “*The Measures & Predicted Electromagnetic Environment at Urbans Hospitals*” *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 1995, p. 4-7.
- [P66] YOUNG, C.; SAUDY, A.; BUDWILL, S.; (1997) “*EMI Levels at a ‘Patient Care’ Location in a Hospital*”, *Proceedings of IEEE - CCECE’97*, 1997, p. 625-628.

ANEXOS

SUMÁRIO

<u>A</u>	<u>ANEXO A: DEMONSTRAÇÕES E DEFINIÇÕES TEÓRICAS</u>	<u>132</u>
A.1	ANEXO A-1: ESTUDO DE ANTENAS SIMPLIFICADAS	133
A.1.1	ANTENAS INFINITESIMAIS	133
A.1.2	ANTENAS DE REFERÊNCIA	136
A.2	ANEXO A-2: DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE CAMPO DISTANTE	137
A.2.1	ERRO DE FASE DE UMA FRENTE DE ONDA	140
A.2.2	DEFINIÇÃO DO LIMITE BASEADO NO TAMANHO ELÉTRICO DA ANTENA	141
A.2.3	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	144
A.3	ANEXO A-3: CONVERSÃO DE UNIDADES	147
A.3.1	ÁBACOS DE CONVERSÃO	147
A.3.2	TABELAS DE CONVERSÃO	148
<u>B</u>	<u>ANEXO B: DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA</u>	<u>153</u>
B.1	ANEXO B-1: SENSORES EMPREGADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS	154
B.1.1	ANTENA LOOP HFH2-Z2 (RHODE & SCHWARTZ)	154
B.1.2	ANTENA BICÔNICA HK116 (RHODE & SCHWARTZ)	155
B.1.3	ANTENA LOG-PERÍODICA HL223 (RHODE & SCHWARTZ)	156
B.1.4	ANTENA LOG-PERÍODICA HL040 (RHODE & SCHWARTZ)	157
B.1.5	SENSOR DE CORRENTE RF EZ-17 (RHODE & SCHWARTZ)	158
B.2	ANEXO B-2: TESTES DE CALIBRAÇÃO	159
B.3	ANEXO B-3: PROTOCOLOS IMPLEMENTADOS	160
B.3.1	PROTOCOLO PARA MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO	160
B.3.2	PROTOCOLO PARA MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO	165
B.3.3	PROTOCOLO PARA MEDIÇÃO DE RUÍDO CONDUZIDO	167
B.3.4	PROTOCOLO PARA SIMULAÇÃO E ACIONAMENTO DE EEM	168
B.3.5	SINCRONISMO DE PROCEDIMENTOS	169
<u>C</u>	<u>ANEXO C: DOCUMENTAÇÃO DE ENSAIOS</u>	<u>170</u>
C.1	ENSAIO DO HOSPITAL FLORIANÓPOLIS	171
C.1.1	DOCUMENTAÇÃO DO AMBIENTE AVALIADO	171
C.1.2	CARTA DE APRESENTAÇÃO ENCAMINHADA AO HOSPITAL	172

C.1.3	FORMULÁRIO DE ENSAIO	173
C.1.4	DOCUMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	174
C.1.5	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	175
C.1.6	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	179
C.2	ENSAIO DO HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ	183
C.2.1	DOCUMENTAÇÃO DO AMBIENTE AVALIADO	183
C.2.2	CARTA DE APRESENTAÇÃO ENCAMINHADA AO HOSPITAL	184
C.2.3	FORMULÁRIO DE ENSAIO	185
C.2.4	DOCUMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	186
C.2.5	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	187
C.2.6	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	191
C.3	ENSAIO DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO	195
C.3.1	DOCUMENTAÇÃO DO AMBIENTE AVALIADO	195
C.3.2	CARTA DE APRESENTAÇÃO ENCAMINHADA AO HOSPITAL	196
C.3.3	FORMULÁRIO DE ENSAIO	197
C.3.4	DOCUMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	198
C.3.5	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO	199
C.3.6	RESULTADOS ADICIONAIS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO MAGNÉTICO	203

ANEXO A: DEMONSTRAÇÕES E DEFINIÇÕES TEÓRICAS

A.1 ANEXO A-1: ESTUDO DE ANTENAS SIMPLIFICADAS

A.1.1 Antenas Infinitesimais

As antenas infinitesimais são estruturas simplificadas (de antenas) que permitem uma boa aproximação para os casos práticos. Visto que seu conceito é o ponto de partida de diversas aproximações apresentadas por este trabalho julga-se interessante a sua breve recapitulação.

a) O Dipolo Elétrico (Hertziano):

O dipolo elétrico infinitesimal, também conhecido como dipolo hertziano, é representado como sendo um elemento de corrente infinitesimal, cujo seu comprimento dl é muito menor do que o comprimento de onda λ . Seja, portanto, o dipolo hertziano representado pela Figura A-1, que se encontra na origem do sistema de coordenadas e está alinhado ao eixo z, conforme mostra a ilustração.

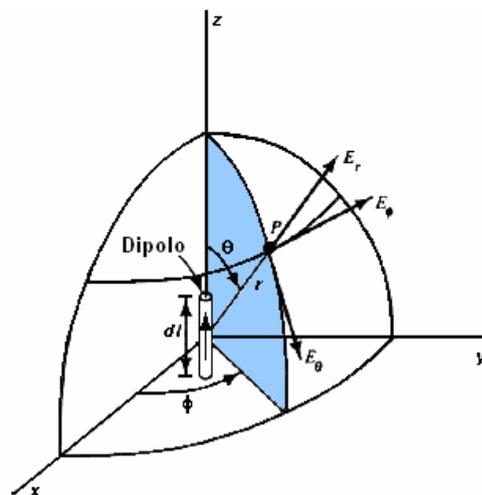


Figura A-1: O Dipolo Infinitesimal e Suas Coordenadas [P4].

Por definição, considera-se que a corrente $i(t)$ seja harmônica no tempo e possua distribuição uniforme ao longo do comprimento dl . Pode-se representar, portanto:

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t) \quad \text{A-1}$$

Ao avaliar o atraso de tempo de propagação ou de fase, dado por βr , considerado da origem até um ponto “P” qualquer que se encontra a uma distância r do elemento de corrente, pode-se escrever o potencial vetor magnético (A) no ponto “P” sob a forma fasorial, dada por [P8]:

$$\vec{A} = \frac{\mu \cdot I_0}{4\pi \cdot r} e^{-j\beta r} \vec{dl} \quad \text{A-2}$$

A partir desta equação, e através de um desenvolvimento amplamente demonstrado na literatura técnica ([P3] [P4] [P5] [P8]), é possível calcular os campos magnéticos radiados pelo dipolo elétrico, o que resulta em:

$$H_r = 0 \quad \text{A-3}$$

$$H_\theta = 0 \quad \text{A-4}$$

$$H_\phi = \frac{I_0 \cdot dl}{4\pi} \sin \theta \cdot \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-5}$$

Para os campos elétricos tem-se, portanto:

$$E_r = \frac{\eta_0 \cdot I_0 \cdot dl}{2\pi} \cos \theta \cdot \left[\frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-6}$$

$$E_\theta = \frac{\eta_0 \cdot I_0 \cdot dl}{4\pi} \sin \theta \cdot \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-7}$$

$$E_\phi = 0 \quad \text{A-8}$$

A seguir aplica-se o mesmo procedimento para os dipolos magnéticos.

b) O Dipolo Magnético (Loop):

O dipolo magnético, ou loop infinitesimal está representado pela Figura A-2,

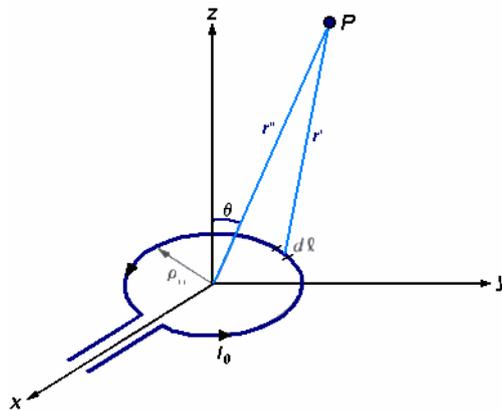


Figura A-2: Loop Infinitesimal e Suas Coordenadas [P8].

Com um procedimento análogo ao realizado pelo dipolo elétrico, mas agora considerando uma espira infinitesimal (loop), pode-se chegar às seguintes equações de campos elétricos para um dipolo magnético:

$$E_r = 0 \quad \text{A-9}$$

$$E_{\theta} = 0 \quad \text{A-10}$$

$$E_{\phi} = -j \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot I_0 \cdot dl}{4\pi} \sin \theta \cdot \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-11}$$

Para os campos magnéticos, tem-se então que:

$$H_r = j \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot I_0 \cdot dl}{2\pi \cdot \eta_0} \cos \theta \cdot \left[\frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-12}$$

$$H_{\theta} = j \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot I_0 \cdot dl}{4\pi \cdot \eta_0} \sin \theta \cdot \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] \cdot e^{-j\beta r} \quad \text{A-13}$$

$$H_{\phi} = 0 \quad \text{A-14}$$

Assim, fica demonstrado o conjunto de equações que descrevem completamente o comportamento dos campos eletromagnéticos no entorno dos elementos radiantes fundamentais (i.e. dipolos magnéticos e elétricos).

O conjunto de equações apresentado por esta seção será o ponto de partida para algumas demonstrações teóricas, assim como a definição de conceitos fundamentais que serão abordados posteriormente no ANEXO A.2.

A.1.2 Antenas de Referência

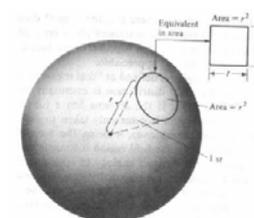
Na área transmissão/recepção de sinais é comum realizar caracterização de antenas complexas (implementadas na prática) de modo comparativo a estruturas simplificadas (teóricas) denominadas antenas de referência. As estruturas frequentemente utilizadas para esta representação são as antenas isotrópicas (relacionadas ao índice “i”, como em dBi) e as antenas omnidirecionais (relacionadas ao índice “d”, como em dBd).

a) A Antena Isotrópica:

A antena isotrópica possui a característica de radiar/receber sinais igualmente de todas as direções.

$$D = \frac{4\pi r^2 \rho(\theta, \phi)}{P_T} \Big|_{\max} = 1$$

$$D = 1 \text{ ou } D(\text{dBi}) = 10 \log D = 0 \text{ dBi}$$



A diretividade “ $D = 1$ ” define que esta antena não possui característica direcional, pois radia/recebe a energia das ondas de maneira dispersa em uma área de ação esférica. Este é o menor valor que pode D assumir.

b) A Antena Omnidirecional (Dipolo):

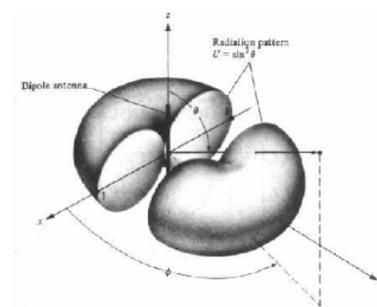
A antena omnidirecional possui a característica de radiar/receber sinais igualmente em todas as direções do plano normal ao eixo da antena.

$$D = \frac{4\pi r^2 \rho(\theta, \phi)}{P_T} \Big|_{\max} = 1,5 \sin^2 \theta \Big|_{\max} = 1,5$$

$$D = 1,5 \text{ ou } D(\text{dBi}) = 1,76 \text{ dBi,}$$

ou ainda:

$$D(\text{dBd}) = 0 \text{ dBd}$$



Pode-se observar que a diretividade (ganho diretivo máximo) é voltada para $\theta = 90^\circ$ e, portanto, existe uma determinada “focalização” da antena para radiar/receber ondas nesta região.

A.2 ANEXO A-2: DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE CAMPO DISTANTE

Embora os métodos para determinação da esfera limite para região de campo distante sejam clássicos e bem definidos na literatura técnica, a discussão sobre qual a aproximação é a mais adequada para determinar esta região mostra-se um assunto bastante polêmico. Dentre as fórmulas mais utilizadas para estimar o campo distante destacam-se as seguintes: 10λ , 3λ , $\lambda/2$, $\lambda/4$, $\lambda/2\pi$, $5\lambda/2\pi$, $3D$, $5D$, $2D^2/\lambda$ e $5D^2/\lambda$.

Ao observar este conjunto de equações torna-se evidente que elas possuem comportamentos particulares e até contraditórios para a variação de seus parâmetros. Pode-se observar que para os três primeiros conjuntos de equações, $(10\lambda, 3\lambda)$, $(\lambda/2, \lambda/4)$ e $(\lambda/2\pi, 5\lambda/2\pi)$, os valores são diretamente proporcionais à variação do comprimento de onda “ λ ”. Para o quarto conjunto de equações, $(3D, 5D)$, o limite para campo distante não é função do comprimento de onda λ , mas apenas de uma constante “ D ”. Por fim, para o conjunto de equações $(2D^2/\lambda, 5D^2/\lambda)$, o limite para região de campo distante é inversamente proporcional a variação do comprimento de onda “ λ ”. Contudo, é possível concluir que a utilização indiscriminada deste conjunto de fórmulas apresentadas pode incorrer em uma série de resultados não verdadeiros e, para alguns casos, até absurdos. De fato, alguns pesquisadores [P12] [P41] alertam que a utilização equivocada destas equações é um problema bastante freqüente para os menos detalhistas no desenvolvimento de seus trabalhos. Os esforços demandados por esta discussão, dão-se no sentido de avaliar quais as aproximações são razoáveis para os objetivos do trabalho em questão.

É sabido que a partir do conhecimento da distribuição de corrente sobre a superfície de uma antena, e a realização de sua integração, é possível definir o comportamento dos campos eletromagnéticos no seu entorno. Também é sabido que, na prática, o conhecimento da distribuição de corrente sob a superfície de uma antena e a sua integração não é um trabalho fácil. Uma maneira de contornar este problema é a investigação de antenas simplificadas (ANEXO A.1) que, embora não sejam práticas, são de fácil resolução e representam uma boa aproximação para os casos práticos [P5].

Para tanto, sejam as equações de campo derivadas para um dipolo elétrico e loop magnético apresentadas no ANEXO A.1 (identificadas pelos índices de A-3 até A-14). Uma característica importante revelada por estas equações demonstra que o comportamento dos campos eletromagnéticos no entorno de um elemento radiante é dominado por termos como $1/r^3$, $1/r^2$ e $1/r$. O termo $1/r^3$ é chamado de *campo eletrostático*

e é predominante na região muito próxima do dipolo hertziano. O termo $1/r^2$ é chamado *campo indutivo*, e é dominante apenas na região de campo próximo ao elemento de corrente. O termo $1/r$ é chamado *campo distante* ou *campo de radiação*, pois é a única parcela significativa que se apresenta na região distante ao elemento de corrente [P8]. De modo geral, o ponto onde os termos $1/r^3$ e $1/r^2$ se tornam insignificantes frente ao termo $1/r$ pode ser referido como a fronteira entre o campo próximo e o campo distante [P5]. Assim, toma-se uma igualdade na equação A-5 do ANEXO A.1 para definir este limite, como:

$$\left[\frac{\beta}{r} = \frac{1}{r^2} \right] \quad \text{A-15}$$

E, portanto:

$$r = \frac{1}{\beta} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad \text{A-16}$$

A equação demonstrada é facilmente encontrada na literatura técnica como sendo a mais cotada para a definição da fronteira entre campo próximo e distante. É possível observar que a equação A-16 define que a fronteira entre as regiões de campo é função do comprimento de onda “ λ ”, o que implica dizer que o limite é móvel no espaço e dependente da frequência de operação da antena. É claro que o objetivo desta discussão não procura trivializar em apenas uma equação um problema de tamanha complexidade.

Para demonstrar que a análise deste problema é bem mais complexa faz-se a seguinte demonstração na busca da derivação da impedância de onda, tanto para fontes elétricas quanto para fontes magnéticas. Assim, seja a razão entre as equações de campo elétrico A-7 e magnético A-5, para um dipolo elétrico (Hertziano). Esta relação define a impedância de onda $Z_E(r)$ para fontes elétricas, conforme demonstra a equação A-17:

$$Z_E(r) = \frac{E_\theta}{H_\phi} = \frac{\eta_0 \cdot \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right]}{\left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right]} = \frac{\eta_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{j\beta r} - \frac{j}{\beta^2 r^2} \right]}{\left[1 + \frac{1}{j\beta r} \right]} \quad \text{A-17}$$

De maneira dual, seja a razão entre as equações de campo elétrico A-11 e magnético A-13, para um dipolo magnético (loop infinitesimal). Esta relação define a impedância de onda $Z_H(r)$ para fontes magnéticas, conforme mostra a expressão A-18:

$$Z_H(r) = \frac{E_\phi}{H_\theta} = \frac{\eta_0 \cdot \left[\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right]}{\left[\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} - \frac{j}{\beta^3 r^3} \right]} = \frac{\eta_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{j\beta r} \right]}{\left[1 + \frac{1}{j\beta r} - \frac{1}{\beta^2 r^2} \right]} \quad \text{A-18}$$

Aplicando-se o módulo nas equações A-17 e A-18 (de $Z_E(r)$ e $Z_H(r)$, respectivamente) é possível observar o comportamento da impedância de onda em função da distância da fonte, tanto para as fontes elétricas e quanto para as magnéticas. A Figura A-3 ilustra esta situação, onde a distância está normalizada em relação a $\lambda/2\pi$ (limite demonstrado anteriormente pela expressão A-16):

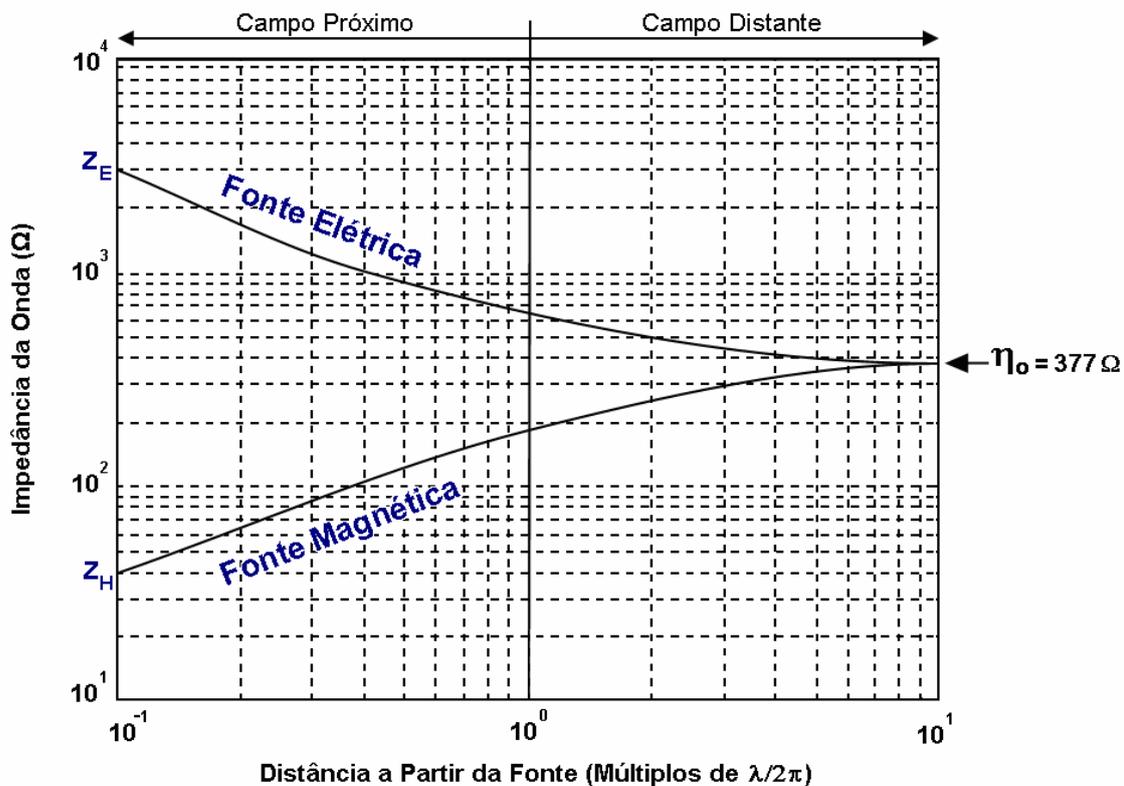


Figura A-3: Relação Entre a Impedância da Onda e $\lambda/2\pi$.

Pode-se observar a partir do gráfico, que para $\lambda/2\pi$ não é atingida a impedância intrínseca do meio (espaço livre) ($\eta_0 = 377 \Omega$) e, por sua vez, a aproximação de $5\lambda/2\pi$ torna-se bem mais restritiva sob a análise de impedância da onda. Mesmo assim, apenas com a aplicação destas simples equações o problema em mãos está longe de ser resolvido. A seguir, avalia-se a definição da região de campo distante sob o ponto de vista do erro de fase de uma frente de onda.

A.2.1 Erro de Fase de uma Frente de Onda

Para avaliar o campo distante sob o ponto de vista de uma onda incidente em uma antena receptora considera-se a situação representada pela Figura A-4. Seja uma fonte de energia pontual localizada na posição “O₁”, que radia uma frente de onda descrita pelo círculo “C₁”. Seja também uma antena receptora com dimensão “D”, posicionada no mesmo plano da frente de onda, cujo centro da antena está posicionado a uma distância “r” da fonte de energia, conforme ilustra o esquema:

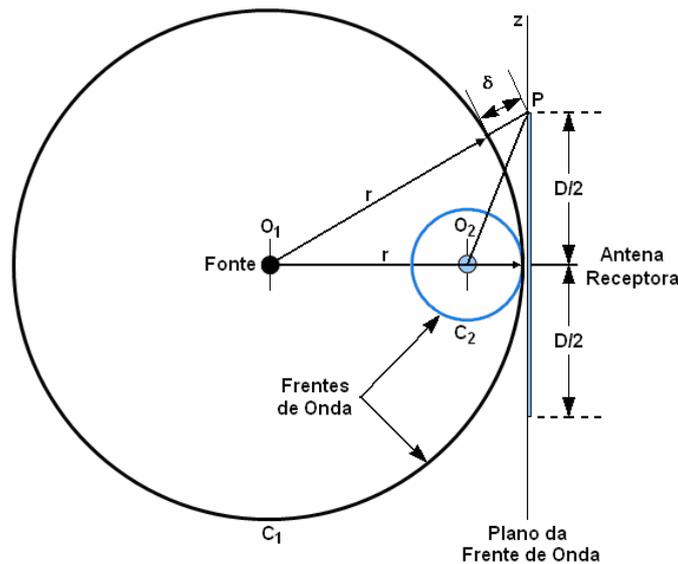


Figura A-4: Configuração Geométrica para Avaliação das Frentes de Onda.

Durante a propagação, a frente de onda viaja uma distância “r” até atingir o centro da antena receptora, entretanto, para atingir a extremidade da antena (definida como o ponto “P”) a onda viaja uma distância de “r+δ”. A diferença de percurso, representada por “δ”, resulta no aparecimento de erros de fase na antena receptora. Pode-se relacionar a distância viajada pela frente de onda e a dimensão da antena receptora por uma simples relação trigonométrica, como segue:

$$(r + \delta)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 + r^2$$

Desenvolvendo esta equação, tem-se:

$$r^2 + 2 \cdot r \cdot \delta + \delta^2 = \frac{D^2}{4} + r^2$$

$$2 \cdot r \cdot \delta = \frac{D^2}{4} - \delta^2$$

Portanto:

$$2 \cdot r \cdot \delta = \frac{D^2}{4} - \delta^2$$

E então:

$$r = \frac{D^2}{8 \cdot \delta} - \frac{\delta}{2}$$

Considerando-se que $\delta \ll D$, tem-se finalmente que:

$$r = \frac{D^2}{8 \cdot \delta} \tag{A-19}$$

A expressão derivada é de grande importância para o presente trabalho. O critério mais usual para selecionar a tolerância “ δ ” é escrevê-la em termos de comprimento de onda “ λ ”. A literatura técnica, em geral, costuma citar o critério de Rayleigh para a diferença de percurso e, assim, define um erro de fase de 1/16 do comprimento de onda. A partir disto, fazendo $\delta = \lambda/16$, pode-se reescrever a equação A-19 como sendo:

$$r = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \tag{A-20}$$

É possível notar que a seleção de uma tolerância qualquer, diferente de $\lambda/16$, resulta em uma outra constante arbitrária representada por “k” onde, portanto, tem-se uma expressão genérica dada por “ $r = kD^2/\lambda$ ” [P12].

Mais adiante será avaliado, de maneira quantitativa, o comportamento da equação descrita por A-20, mas por ora, é importante a realização de algumas considerações qualitativas que devem estar claras ao seu respeito. Assim, também está representada na Figura A-4, a mesma fonte de energia pontual definida anteriormente, porém agora localizada na posição “O₂”, onde radia uma frente onda descrita pelo círculo “C₂”. Pode-se notar que sob o ponto de vista da antena receptora, a frente de onda definida por C₁ aproxima melhor o formato de uma onda plana (eixo z) do que a frente de onda definida por C₂. Desta forma, à medida que a fonte de energia se afasta da antena receptora, a frente de onda por ela radiada se aproxima cada vez mais de uma onda plana e, portanto, diminui a quantidade de erro definida por “ δ ”.

A.2.2 Definição do Limite Baseado no Tamanho Elétrico da Antena

De grande interesse para este trabalho, serão discutidas a partir de agora as equações derivadas do estudo das frentes de ondas, sob o ponto de vista quantitativo. Para tanto, faz-se necessário a definição de uma relação ente a dimensão da antena receptora (D) e o

comprimento de onda (λ) da onda incidente. Logo, seja a definição de "*tamanho elétrico*" de uma antena como sendo a razão dada por D/λ . Para os objetivos deste trabalho, é assumido que nos casos em que $D/\lambda > 1$ ou $D/\lambda < 1$, diz-se tratar respectivamente de *antenas eletricamente grandes* ou *antenas eletricamente pequenas*. Seguindo esta lógica, para os casos em que $D/\lambda \ll 1$ batiza-se, portanto, com o termo *antenas infinitesimais*. A justificativa para estas definições se tornará clara mais adiante, por ora, realizar-se-á uma avaliação detalhada de cada caso em específico.

a) Antenas Eletricamente Grandes:

Para os casos em que a antena receptora é *eletricamente grande*, o limite da região de campo próximo pode ser aproximado de maneira satisfatória pela expressão A-20, reescrita aqui como:

$$r = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \quad \text{A-21}$$

Como justificativa da utilização desta expressão para estes casos, basta recapitular a natureza da situação geométrica de onde foi realizada a sua derivação. Lembra-se, portanto, que o seu desenvolvimento foi baseado a partir dos casos extremos em que a dimensão da antena "D" possui um tamanho considerável, a ponto de provocar um erro de fase na antena receptora (i.e. "D" grande). Além disto, esta expressão é usualmente empregada para sistemas de comunicação que utilizam frequências na faixa de microondas (i.e. " λ " pequeno). Logo, a sua aplicação resulta em uma relação D/λ que tende a ser alta. Para exemplificar sua aplicação, pode-se demonstrar que para o caso de uma antena parabólica com diâmetro de 1m, operando em 10GHz, o campo distante é melhor aproximado pela equação A-21, que define uma distância $r = 66,7\text{m}$ [P12].

Ao avaliar quantitativamente a equação A-21 é possível observar que, para uma dada frequência de operação, um incremento na dimensão da antena irá provocar um aumento na distância do limite da região de campo próximo (são diretamente proporcionais). Esta modelagem é fisicamente compreensível, pois é natural entender que uma antena de maior dimensão provoque uma maior perturbação na distribuição dos campos eletromagnéticos no seu entorno. Outra característica muito importante e bastante sutil da relação descrita pela equação A-13 é o fato de existir um "*domínio do desvio de fase*", ou um "*domínio da relação de tolerância/frequência*" no comportamento desta equação. A compreensão deste efeito não é trivial e requer atenção redobrada para o seu entendimento físico. Explica-se!

Pelo fato da tolerância do erro de fase “ δ ” ser expressa de forma relacionada à frequência da onda incidente (ou com uma fração do comprimento de onda, i.e. $\delta = \lambda/16$), tem-se que para uma mesma antena, quanto maior a frequência do sinal de operação menor será a tolerância “ δ ” definida, ou seja, mais restritivo seremos em relação ao erro de fase. O significado físico desse efeito traduz que para os casos em que a dimensão da antena é relevante, as fontes de sinais de alta frequência deverão estar mais distantes da antena receptora. Desta forma, os raios incidentes na antena tornam-se os mais paralelos possíveis e tendem a respeitar a tolerância “ δ ” quanto ao desvio de fase. Fica evidente, portanto, que as ondas de frequência muito alta possuem tolerâncias muito pequenas que irão dominar o comportamento da equação A-20. Isto justifica o caráter inversamente proporcional entre a distância da região de campo distante “ r ” e o comprimento de onda “ λ ”, válido somente para antenas *eletricamente grandes*.

b) Antenas Eletricamente Pequenas:

Um aspecto esperado intuitivamente com relação ao limite da região de campo distante é que a fronteira delimitada por “ r ” deve ser diretamente proporcional ao comprimento de onda “ λ ”. Em outras palavras, para uma dada antena, à medida que a frequência de operação do sinal aumenta, as ondas deveriam atingir um padrão de radiação mais próximo da fonte (de maneira proporcional a alguns ciclos do comprimento de onda “ λ ”). Até agora, as expressões derivadas pelo método das frentes de onda não conseguiram modelar este fenômeno. Entretanto, será mostrado que com uma simples manipulação matemática é possível derivar o resultado esperado. Portanto, seja novamente a equação A-20, para o caso limite de uma antena que possui a mesma dimensão do comprimento de onda “ λ ”. Logo, reescreve-se aqui a equação A-20, fazendo $D=\lambda$, o que resulta em:

$$r = \frac{2 \cdot \lambda^2}{\lambda}$$

E então:

$$r = 2\lambda$$

A-22

O comportamento da equação A-22 modela o efeito esperado intuitivamente pois, para estes casos, o comprimento de onda “ λ ” é diretamente proporcional ao limite da região de campo distante “ r ”. Portanto, para os propósitos desta análise, define-se a equação A-22 como sendo a mais adequada para representar a fronteira entre as regiões de campo a partir de antenas *eletricamente pequenas*. Note que para antenas eletricamente

pequenas o termo “D” não aparece na formula desenvolvida, o que traduz fisicamente que a perturbação dos campos devido ao tamanho da antena é insignificante.

Para as aplicações em que é necessária a realização de medições de campo eletromagnético na região de campo distante, costuma-se adotar uma margem de segurança considerando um ciclo a mais para o limite da região de campo distante, e então:

$$r = 3\lambda \quad \text{A-23}$$

Por esta razão, a equação A-23 é comumente encontrada na literatura técnica como sendo candidata para a aproximação da região de campos distantes.

c) Antenas Infinitesimais:

Para alguns problemas de EMC envolvendo baixas frequências, como medições na faixa de 10kHz até cerca de 20MHz, é comum encontrar situações estranhas quando procura-se definir o limite da região de campo distante. Estas operações tornam-se incomuns basicamente pelo fato de trabalhar com comprimentos de onda muito grande e antenas muito pequenas. É possível verificar que para estes casos a relação $D/\lambda \ll 1$ é verdadeira e, dessa forma, as antenas são chamadas de *antenas infinitesimais*.

A rigor, fisicamente para estes casos não faz muito sentido trabalhar no intuito de definir uma expressão para o limite da região de campos distantes, porque as “antenas” que são utilizadas, definitivamente não são antenas, haja vista que os campos eletromagnéticos no entorno dessas fontes estão mais relacionado a um modo TEM não radiante [P12]. Entretanto, algumas pesquisas observam que para antenas infinitesimais, a distribuição dos campos eletromagnéticos não apresenta o *campo indutivo*, e assim, o *campo eletrostático* possui transição direta para o *campo distante* [P41]. Para estes casos, o limite entre as regiões de campo é bastante dependente do formato e dos detalhes da fonte. Por esta razão, admite-se que a equação A-16, derivada a partir do dipolo Hertziano, seja uma boa aproximação para definir a região de campo distante em *antenas infinitesimais*. Então, reescreve-se que o limite dado para antenas infinitesimais é, portanto:

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \quad \text{A-24}$$

A.2.3 Discussão e Conclusões

Na verdade, com toda esta avaliação é possível abstrair que a definição dos limites entre as regiões de campos próximos e distantes no entorno de uma fonte eletromagnética

está ligada, principalmente, ao tipo de aplicação a que se destinam estes cálculos. Portanto, para cada aplicação, fica estabelecida a maneira subjetiva em que se admite estar adequado a uma certa região de campo, em detrimento de uma determinada quantidade de erro permitido.

Para o objetivo desta pesquisa, fica definida a fronteira entre campo próximo e campo distante como sendo a expressão mais restritiva entre as equações A-21 e A-22. A partir da avaliação do comportamento destas equações em função da razão D/λ , dada uma antena fictícia qualquer, é possível obter o gráfico apresentado pela Figura A-5 (onde foi adotado $D = 1\text{m}$).

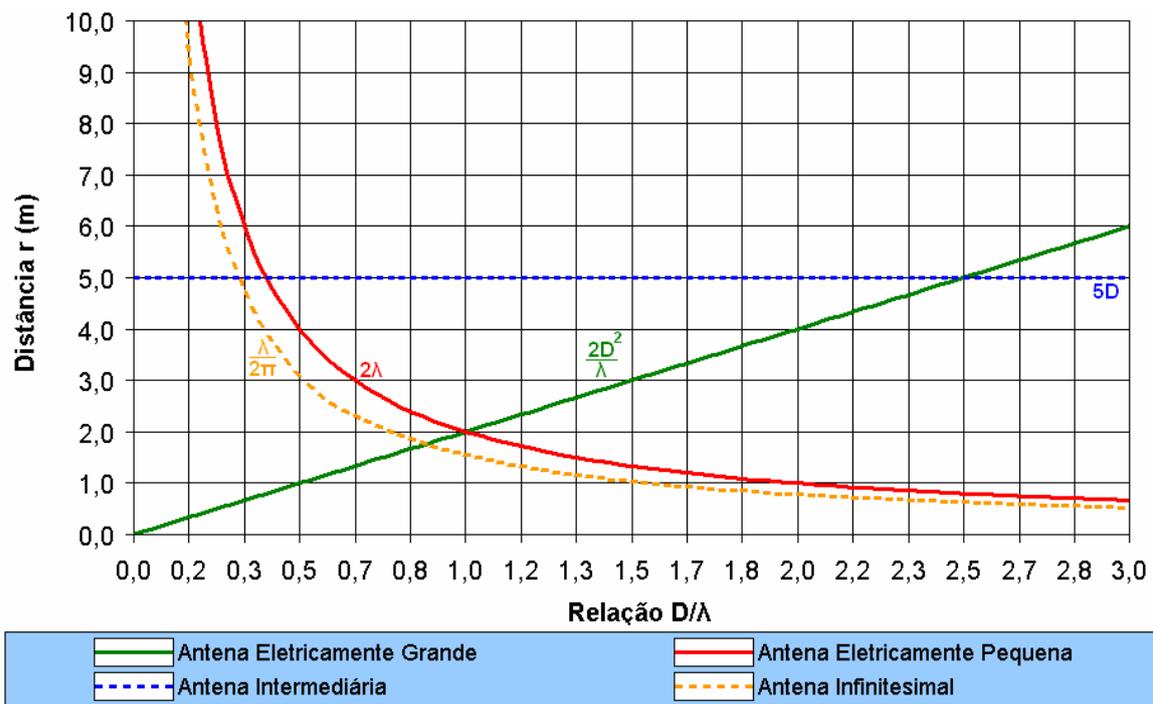


Figura A-5: Resposta para Diferentes Aproximações de Campo Distante.

Como os valores do eixo “y” não estão normalizados, os valores apresentados de “r”, em metros, diferem para cada antena em função do seu comprimento. Entretanto, o comportamento em relação ao eixo x é invariante e válido para qualquer dimensão de antena. Pode-se observar a partir deste gráfico que a intersecção entre as curvas, definidas pelas equações A-13 e A-14, ocorre para $D/\lambda=1$. Isto explica a razão da utilização deste ponto como sendo o limite teórico entre antenas *eletricamente pequenas* e *eletricamente grandes*. Alguns autores costumam ainda utilizar um critério definido como $r = 5D$ [P18], ilustrado no gráfico pela linha horizontal. A utilização deste critério fornece uma margem de segurança, principalmente na região de *antenas intermediárias*, sendo recomendada para aplicações em que a medição em campos distantes é requerida por norma. Como

exemplo de tal aplicação, pode-se citar os testes de EMC, que procuram a verificação do padrão de emissões radiadas provenientes de um equipamento em específico.

Para o presente estudo, é importante ter em mente que a verificação da região de campo em que se encontra a antena receptora possui como objetivo principal, fornecer informações para definir os parâmetros de compensação da antena (fator de antena). A partir disto é possível realizar a compensação dos dados obtidos, frente as características de recepção da antena receptora em cada faixa de frequências, de modo a garantir uma melhor aquisição dos campos eletromagnéticos presentes no ambiente. Cabe lembrar que, por norma, é admitido que algumas destas medições sejam realizadas na região de campo próximo. Desta forma, as aproximações implementadas neste trabalho não apresentam as margens de segurança, de maneira proposital, pois o intuito aqui é o de verificar de maneira mais realística a configuração dos campos eletromagnéticos de interesse. A Tabela A-1 resume as aproximações utilizadas para os propósitos deste trabalho.

Aproximações para Região de Campo Distante			
Tamanho	Relação (D/λ)	Aproximação Utilizada	Parâmetro Dominante
Antena Infinitesimal	<<1	$r = \frac{\lambda}{2\pi}$	Campo Eletrostático
Antena Eletricamente Pequena	<1	$r = 2\lambda$	Comprimento de Onda
Antena Eletricamente Grande	>1	$r = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}$	Tolerância do Desvio de Fase

Tabela A-1: Resumo das Aproximações para Região de Campo Distante Utilizadas.

A.3 ANEXO A-3: CONVERSÃO DE UNIDADES

Na área de ensaios de emissão e suscetibilidade radiada, frequentemente são utilizadas escalas logarítmicas para representação de campos elétricos. Uma das conversões mais utilizadas é a que relaciona a unidade de V/m em termos de dB μ V/m, que é expressa pela equação A-25.

$$E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = 20 \log \left(\frac{E(\text{V}/\text{m})}{1 \times 10^{-6}} \right) \quad \text{A-25}$$

Na forma inversa, esta equação resulta na expressão A-26.

$$E(\text{V}/\text{m}) = 10^{\frac{E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})}{20}} \times 10^{-6} \quad \text{A-26}$$

Para facilitar a conversão destas grandezas e compará-los adequadamente com os limites preconizados pelas normas adotadas, foram sistematizadas algumas tabelas e ábacos de conversão, apresentados a seguir.

A.3.1 Ábacos de Conversão

O ábaco da Figura A-6 apresenta valores na escala de limites de imunidade para EEM, definidos pela norma NBR IEC 60601-1-2.

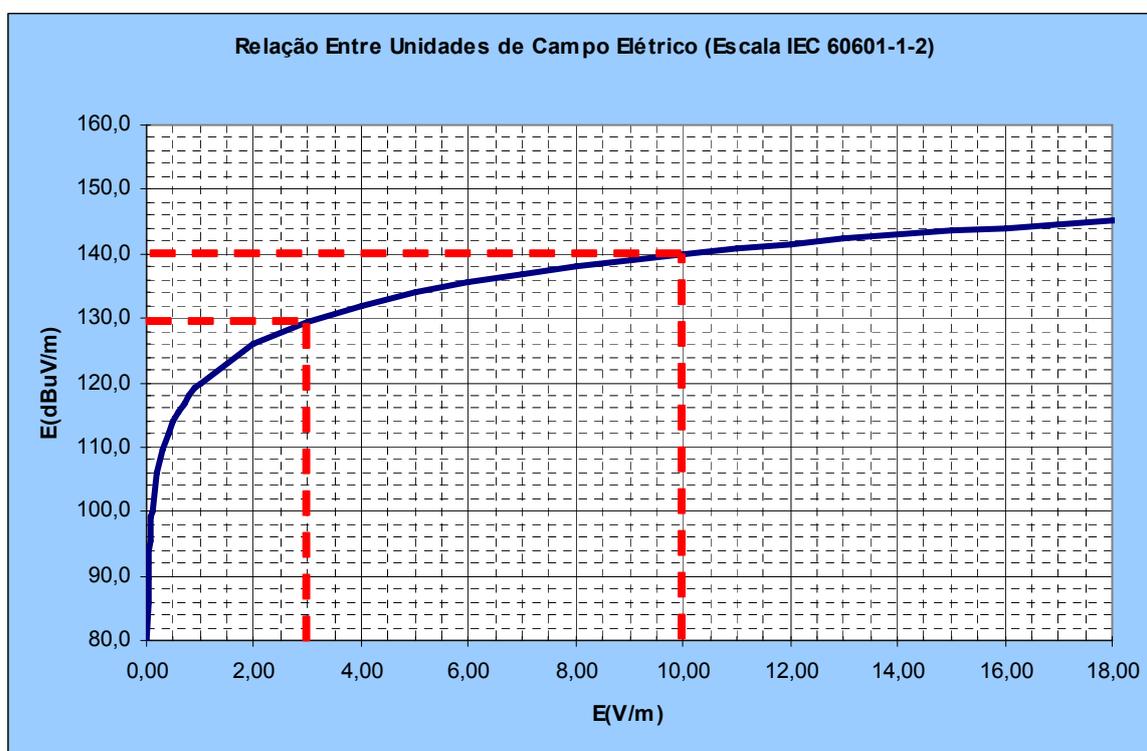


Figura A-6: Ábaco da relação dB μ V/m e V/m, limites da NBR IEC 60601-1-2.

O valor de 3 V/m representa a imunidade para EEM de apoio, e o valor de 10V/m representa a imunidade para EEM de suporte vital.

De maneira análoga, ábaco da Figura A-7 apresenta valores na escala de limites para exposição de seres vivos. Os limites aqui apresentados referem-se aos valores de pico estipulados pela norma ICNIRP 1998.

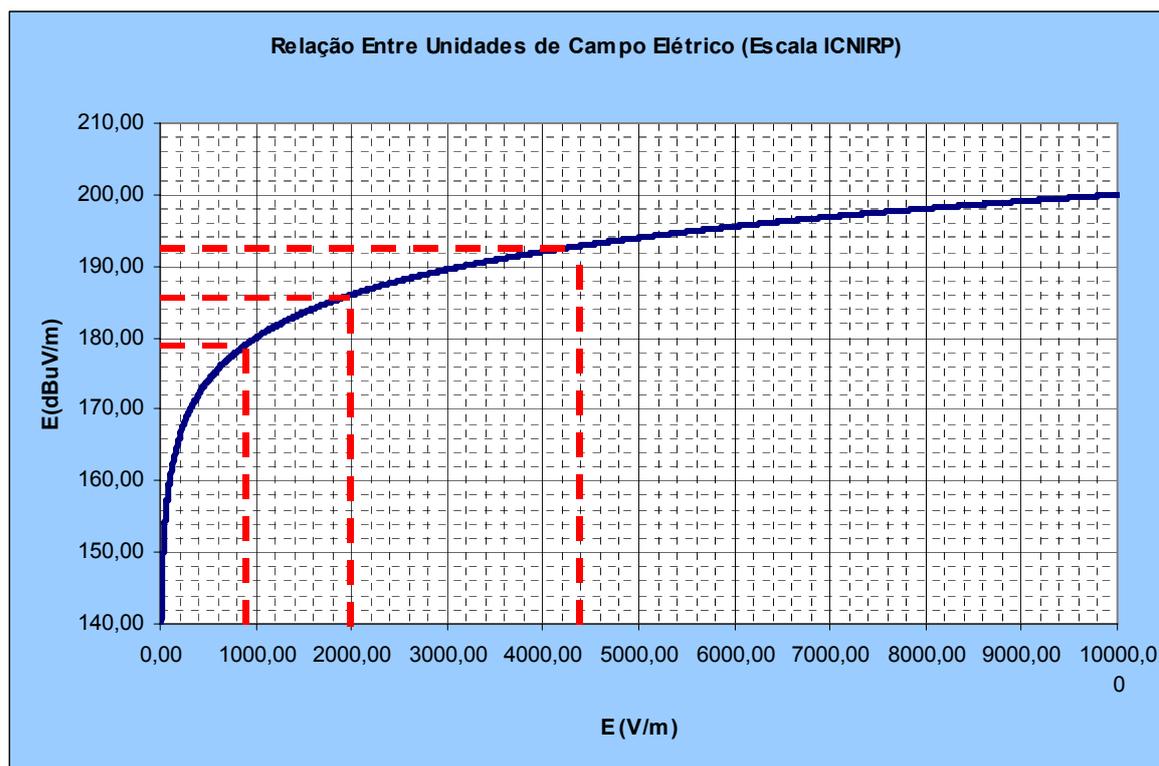


Figura A-7: Ábaco da relação dBμV/m e V/m, limites da ICNIRP 1998.

A utilização dos ábacos é interessante para uma avaliação rápida da ordem de grandeza dos valores de interesse quando comparados aos limites estabelecidos pelas normas cabíveis. Para uma verificação mais precisa de valores é conveniente o uso das tabelas de conversão, apresentadas na próxima seção.

A.3.2 Tabelas de Conversão

A conversão de valores entre estas unidades também pode ser obtida por meio das tabelas de A-2 até A-5. Os valores em destaque, representam os limites estabelecidos pelas normas adotadas neste trabalho, a NBR IEC 60601-1-2 e a ICNIRP 1998.

Tabela de Conversão para Unidades de Campo Elétrico									
E(V/m)	E(dB μ V/m)	E(V/m)	E(dB μ V/m)	E(V/m)	E(dB μ V/m)	E(V/m)	E(dB μ V/m)	E(V/m)	E(dB μ V/m)
1,0E-06	0,00	14,00	142,92	85,00	158,59	650,00	176,26	1360,00	182,67
5,0E-06	13,98	15,00	143,52	86,00	158,69	660,00	176,39	1370,00	182,73
1,0E-05	20,00	16,00	144,08	87,00	158,79	670,00	176,52	1380,00	182,80
1,5E-05	23,52	17,00	144,61	88,00	158,89	680,00	176,65	1390,00	182,86
2,0E-05	26,02	18,00	145,11	89,00	158,99	690,00	176,78	1400,00	182,92
2,5E-05	27,96	19,00	145,58	90,00	159,08	700,00	176,90	1410,00	182,98
3,0E-05	29,54	20,00	146,02	91,00	159,18	710,00	177,03	1420,00	183,05
3,5E-05	30,88	21,00	146,44	92,00	159,28	720,00	177,15	1430,00	183,11
4,0E-05	32,04	22,00	146,85	93,00	159,37	730,00	177,27	1440,00	183,17
4,5E-05	33,06	23,00	147,23	94,00	159,46	740,00	177,38	1450,00	183,23
5,0E-05	33,98	24,00	147,60	95,00	159,55	750,00	177,50	1460,00	183,29
5,5E-05	34,81	25,00	147,96	96,00	159,65	760,00	177,62	1470,00	183,35
6,0E-05	35,56	26,00	148,30	97,00	159,74	770,00	177,73	1480,00	183,41
6,5E-05	36,26	27,00	148,63	98,00	159,82	780,00	177,84	1490,00	183,46
7,0E-05	36,90	28,00	148,94	99,00	159,91	790,00	177,95	1500,00	183,52
7,5E-05	37,50	29,00	149,25	100,00	160,00	800,00	178,06	1510,00	183,58
8,0E-05	38,06	30,00	149,54	110,00	160,83	810,00	178,17	1520,00	183,64
8,5E-05	38,59	31,00	149,83	120,00	161,58	820,00	178,28	1530,00	183,69
9,0E-05	39,08	32,00	150,10	130,00	162,28	830,00	178,38	1540,00	183,75
9,5E-05	39,55	33,00	150,37	137,00	162,73	840,00	178,49	1550,00	183,81
1,0E-04	40,00	34,00	150,63	140,00	162,92	850,00	178,59	1560,00	183,86
5,0E-04	53,98	35,00	150,88	150,00	163,52	860,00	178,69	1570,00	183,92
1,0E-03	60,00	36,00	151,13	160,00	164,08	870,00	178,79	1580,00	183,97
1,5E-03	63,52	37,00	151,36	170,00	164,61	880,00	178,89	1590,00	184,03
2,0E-03	66,02	38,00	151,60	180,00	165,11	890,00	178,99	1600,00	184,08
2,5E-03	67,96	39,00	151,82	190,00	165,58	900,00	179,08	1610,00	184,14
3,0E-03	69,54	40,00	152,04	200,00	166,02	910,00	179,18	1620,00	184,19
3,5E-03	70,88	41,00	152,26	210,00	166,44	920,00	179,28	1630,00	184,24
4,0E-03	72,04	42,00	152,46	220,00	166,85	930,00	179,37	1640,00	184,30
4,5E-03	73,06	43,00	152,67	230,00	167,23	940,00	179,46	1650,00	184,35
5,0E-03	73,98	44,00	152,87	240,00	167,60	950,00	179,55	1660,00	184,40
5,5E-03	74,81	45,00	153,06	250,00	167,96	960,00	179,65	1670,00	184,45
6,0E-03	75,56	46,00	153,26	260,00	168,30	970,00	179,74	1680,00	184,51
6,5E-03	76,26	47,00	153,44	270,00	168,63	980,00	179,82	1690,00	184,56
7,0E-03	76,90	48,00	153,62	280,00	168,94	990,00	179,91	1700,00	184,61
7,5E-03	77,50	49,00	153,80	290,00	169,25	1000,00	180,00	1710,00	184,66
8,0E-03	78,06	50,00	153,98	300,00	169,54	1010,00	180,09	1720,00	184,71
8,5E-03	78,59	51,00	154,15	310,00	169,83	1020,00	180,17	1730,00	184,76
9,0E-03	79,08	52,00	154,32	320,00	170,10	1030,00	180,26	1740,00	184,81
9,5E-03	79,55	53,00	154,49	330,00	170,37	1040,00	180,34	1750,00	184,86
0,01	80,00	54,00	154,65	340,00	170,63	1050,00	180,42	1760,00	184,91
0,02	86,02	55,00	154,81	350,00	170,88	1060,00	180,51	1770,00	184,96
0,03	89,54	56,00	154,96	360,00	171,13	1070,00	180,59	1780,00	185,01
0,04	92,04	57,00	155,12	370,00	171,36	1080,00	180,67	1790,00	185,06
0,05	93,98	58,00	155,27	380,00	171,60	1090,00	180,75	1800,00	185,11
0,06	95,56	59,00	155,42	390,00	171,82	1100,00	180,83	1810,00	185,15
0,07	96,90	60,00	155,56	400,00	172,04	1110,00	180,91	1820,00	185,20
0,08	98,06	61,00	155,71	410,00	172,26	1120,00	180,98	1830,00	185,25
0,09	99,08	62,00	155,85	420,00	172,46	1130,00	181,06	1840,00	185,30
0,10	100,00	63,00	155,99	430,00	172,67	1140,00	181,14	1850,00	185,34
0,20	106,02	64,00	156,12	440,00	172,87	1150,00	181,21	1860,00	185,39
0,30	109,54	65,00	156,26	450,00	173,06	1160,00	181,29	1870,00	185,44
0,40	112,04	66,00	156,39	460,00	173,26	1170,00	181,36	1880,00	185,48
0,50	113,98	67,00	156,52	470,00	173,44	1180,00	181,44	1890,00	185,53
0,60	115,56	68,00	156,65	480,00	173,62	1190,00	181,51	1900,00	185,58
0,70	116,90	69,00	156,78	490,00	173,80	1200,00	181,58	1910,00	185,62
0,80	118,06	70,00	156,90	500,00	173,98	1210,00	181,66	1920,00	185,67
0,90	119,08	71,00	157,03	510,00	174,15	1220,00	181,73	1930,00	185,71
1,00	120,00	72,00	157,15	520,00	174,32	1230,00	181,80	1940,00	185,76
2,00	126,02	73,00	157,27	530,00	174,49	1240,00	181,87	1950,00	185,80
3,00	129,54	74,00	157,38	540,00	174,65	1250,00	181,94	1952,00	185,81
4,00	132,04	75,00	157,50	550,00	174,81	1260,00	182,01	1960,00	185,85
5,00	133,98	76,00	157,62	560,00	174,96	1270,00	182,08	1970,00	185,89
6,00	135,56	77,00	157,73	570,00	175,12	1280,00	182,14	1980,00	185,93
7,00	136,90	78,00	157,84	580,00	175,27	1290,00	182,21	1990,00	185,98
8,00	138,06	79,00	157,95	590,00	175,42	1300,00	182,28	2000,00	186,02
9,00	139,08	80,00	158,06	600,00	175,56	1310,00	182,35	2010,00	186,06
10,00	140,00	81,00	158,17	610,00	175,71	1320,00	182,41	2020,00	186,11
11,00	140,83	82,00	158,28	620,00	175,85	1330,00	182,48	2030,00	186,15
12,00	141,58	83,00	158,38	630,00	175,99	1340,00	182,54	2040,00	186,19
13,00	142,28	84,00	158,49	640,00	176,12	1350,00	182,61	2050,00	186,24

Tabela A-2: Relação entre dB μ V/m e V/m (até 2050 V/m)

Tabela de Conversão para Unidades de Campo Elétrico									
E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)
2060,00	186,28	2770,00	188,85	3480,00	190,83	4190,00	192,44	4890,00	193,79
2070,00	186,32	2780,00	188,88	3490,00	190,86	4200,00	192,46	4900,00	193,80
2080,00	186,36	2790,00	188,91	3500,00	190,88	4210,00	192,49	4910,00	193,82
2090,00	186,40	2800,00	188,94	3510,00	190,91	4220,00	192,51	4920,00	193,84
2100,00	186,44	2810,00	188,97	3520,00	190,93	4230,00	192,53	4930,00	193,86
2110,00	186,49	2820,00	189,00	3530,00	190,96	4240,00	192,55	4940,00	193,87
2120,00	186,53	2830,00	189,04	3540,00	190,98	4250,00	192,57	4950,00	193,89
2130,00	186,57	2840,00	189,07	3550,00	191,00	4260,00	192,59	4960,00	193,91
2140,00	186,61	2850,00	189,10	3560,00	191,03	4270,00	192,61	4970,00	193,93
2150,00	186,65	2860,00	189,13	3570,00	191,05	4280,00	192,63	4980,00	193,94
2160,00	186,69	2870,00	189,16	3580,00	191,08	4290,00	192,65	4990,00	193,96
2170,00	186,73	2880,00	189,19	3590,00	191,10	4300,00	192,67	5000,00	193,98
2180,00	186,77	2890,00	189,22	3600,00	191,13	4310,00	192,69	5010,00	194,00
2190,00	186,81	2900,00	189,25	3610,00	191,15	4320,00	192,71	5020,00	194,01
2200,00	186,85	2910,00	189,28	3620,00	191,17	4330,00	192,73	5030,00	194,03
2210,00	186,89	2920,00	189,31	3630,00	191,20	4340,00	192,75	5040,00	194,05
2220,00	186,93	2930,00	189,34	3640,00	191,22	4350,00	192,77	5050,00	194,07
2230,00	186,97	2940,00	189,37	3650,00	191,25	4360,00	192,79	5060,00	194,08
2240,00	187,00	2950,00	189,40	3660,00	191,27	4370,00	192,81	5070,00	194,10
2250,00	187,04	2960,00	189,43	3670,00	191,29	4380,00	192,83	5080,00	194,12
2260,00	187,08	2970,00	189,46	3680,00	191,32	4384,00	192,84	5090,00	194,13
2270,00	187,12	2980,00	189,48	3690,00	191,34	4390,00	192,85	5100,00	194,15
2280,00	187,16	2990,00	189,51	3700,00	191,36	4400,00	192,87	5110,00	194,17
2290,00	187,20	3000,00	189,54	3710,00	191,39	4410,00	192,89	5120,00	194,19
2300,00	187,23	3010,00	189,57	3720,00	191,41	4420,00	192,91	5130,00	194,20
2310,00	187,27	3020,00	189,60	3730,00	191,43	4430,00	192,93	5140,00	194,22
2320,00	187,31	3030,00	189,63	3740,00	191,46	4440,00	192,95	5150,00	194,24
2330,00	187,35	3040,00	189,66	3750,00	191,48	4450,00	192,97	5160,00	194,25
2340,00	187,38	3050,00	189,69	3760,00	191,50	4460,00	192,99	5170,00	194,27
2350,00	187,42	3060,00	189,71	3770,00	191,53	4470,00	193,01	5180,00	194,29
2360,00	187,46	3070,00	189,74	3780,00	191,55	4480,00	193,03	5190,00	194,30
2370,00	187,49	3080,00	189,77	3790,00	191,57	4490,00	193,04	5200,00	194,32
2380,00	187,53	3090,00	189,80	3800,00	191,60	4500,00	193,06	5210,00	194,34
2390,00	187,57	3100,00	189,83	3810,00	191,62	4510,00	193,08	5220,00	194,35
2400,00	187,60	3110,00	189,86	3820,00	191,64	4520,00	193,10	5230,00	194,37
2410,00	187,64	3120,00	189,88	3830,00	191,66	4530,00	193,12	5240,00	194,39
2420,00	187,68	3130,00	189,91	3840,00	191,69	4540,00	193,14	5250,00	194,40
2430,00	187,71	3140,00	189,94	3850,00	191,71	4550,00	193,16	5260,00	194,42
2440,00	187,75	3150,00	189,97	3860,00	191,73	4560,00	193,18	5270,00	194,44
2450,00	187,78	3160,00	189,99	3870,00	191,75	4570,00	193,20	5280,00	194,45
2460,00	187,82	3170,00	190,02	3880,00	191,78	4580,00	193,22	5290,00	194,47
2470,00	187,85	3180,00	190,05	3890,00	191,80	4590,00	193,24	5300,00	194,49
2480,00	187,89	3190,00	190,08	3900,00	191,82	4600,00	193,26	5310,00	194,50
2490,00	187,92	3200,00	190,10	3910,00	191,84	4610,00	193,27	5320,00	194,52
2500,00	187,96	3210,00	190,13	3920,00	191,87	4620,00	193,29	5330,00	194,53
2510,00	187,99	3220,00	190,16	3930,00	191,89	4630,00	193,31	5340,00	194,55
2520,00	188,03	3230,00	190,18	3940,00	191,91	4640,00	193,33	5350,00	194,57
2530,00	188,06	3240,00	190,21	3950,00	191,93	4650,00	193,35	5360,00	194,58
2540,00	188,10	3250,00	190,24	3960,00	191,95	4660,00	193,37	5370,00	194,60
2550,00	188,13	3260,00	190,26	3970,00	191,98	4670,00	193,39	5380,00	194,62
2560,00	188,16	3270,00	190,29	3980,00	192,00	4680,00	193,40	5390,00	194,63
2570,00	188,20	3280,00	190,32	3990,00	192,02	4690,00	193,42	5400,00	194,65
2580,00	188,23	3290,00	190,34	4000,00	192,04	4700,00	193,44	5410,00	194,66
2590,00	188,27	3300,00	190,37	4010,00	192,06	4710,00	193,46	5420,00	194,68
2600,00	188,30	3310,00	190,40	4020,00	192,08	4720,00	193,48	5430,00	194,70
2610,00	188,33	3320,00	190,42	4030,00	192,11	4730,00	193,50	5440,00	194,71
2620,00	188,37	3330,00	190,45	4040,00	192,13	4740,00	193,52	5450,00	194,73
2630,00	188,40	3340,00	190,47	4050,00	192,15	4750,00	193,53	5460,00	194,74
2640,00	188,43	3350,00	190,50	4060,00	192,17	4760,00	193,55	5470,00	194,76
2650,00	188,46	3360,00	190,53	4070,00	192,19	4770,00	193,57	5480,00	194,78
2660,00	188,50	3370,00	190,55	4080,00	192,21	4780,00	193,59	5490,00	194,79
2670,00	188,53	3380,00	190,58	4090,00	192,23	4790,00	193,61	5500,00	194,81
2680,00	188,56	3390,00	190,60	4100,00	192,26	4800,00	193,62	5510,00	194,82
2690,00	188,60	3400,00	190,63	4110,00	192,28	4810,00	193,64	5520,00	194,84
2700,00	188,63	3410,00	190,66	4120,00	192,30	4820,00	193,66	5530,00	194,85
2710,00	188,66	3420,00	190,68	4130,00	192,32	4830,00	193,68	5540,00	194,87
2720,00	188,69	3430,00	190,71	4140,00	192,34	4840,00	193,70	5550,00	194,89
2730,00	188,72	3440,00	190,73	4150,00	192,36	4850,00	193,71	5560,00	194,90
2740,00	188,76	3450,00	190,76	4160,00	192,38	4860,00	193,73	5570,00	194,92
2750,00	188,79	3460,00	190,78	4170,00	192,40	4870,00	193,75	5580,00	194,93
2760,00	188,82	3470,00	190,81	4180,00	192,42	4880,00	193,77	5590,00	194,95

Tabela A-3: Relação entre dBμV/m e V/m (até 5590 V/m)

Tabela de Conversão para Unidades de Campo Elétrico									
E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)	E(V/m)	E(dBμV/m)
5600,00	194,96	6310,00	196,00	7020,00	196,93	7730,00	197,76	8440,00	198,53
5610,00	194,98	6320,00	196,01	7030,00	196,94	7740,00	197,77	8450,00	198,54
5620,00	194,99	6330,00	196,03	7040,00	196,95	7750,00	197,79	8460,00	198,55
5630,00	195,01	6340,00	196,04	7050,00	196,96	7760,00	197,80	8470,00	198,56
5640,00	195,03	6350,00	196,06	7060,00	196,98	7770,00	197,81	8480,00	198,57
5650,00	195,04	6360,00	196,07	7070,00	196,99	7780,00	197,82	8490,00	198,58
5660,00	195,06	6370,00	196,08	7080,00	197,00	7790,00	197,83	8500,00	198,59
5670,00	195,07	6380,00	196,10	7090,00	197,01	7800,00	197,84	8510,00	198,60
5680,00	195,09	6390,00	196,11	7100,00	197,03	7810,00	197,85	8520,00	198,61
5690,00	195,10	6400,00	196,12	7110,00	197,04	7820,00	197,86	8530,00	198,62
5700,00	195,12	6410,00	196,14	7120,00	197,05	7830,00	197,88	8540,00	198,63
5710,00	195,13	6420,00	196,15	7130,00	197,06	7840,00	197,89	8550,00	198,64
5720,00	195,15	6430,00	196,16	7140,00	197,07	7850,00	197,90	8560,00	198,65
5730,00	195,16	6440,00	196,18	7150,00	197,09	7860,00	197,91	8570,00	198,66
5740,00	195,18	6450,00	196,19	7160,00	197,10	7870,00	197,92	8580,00	198,67
5750,00	195,19	6460,00	196,20	7170,00	197,11	7880,00	197,93	8590,00	198,68
5760,00	195,21	6470,00	196,22	7180,00	197,12	7890,00	197,94	8600,00	198,69
5770,00	195,22	6480,00	196,23	7190,00	197,13	7900,00	197,95	8610,00	198,70
5780,00	195,24	6490,00	196,24	7200,00	197,15	7910,00	197,96	8620,00	198,71
5790,00	195,25	6500,00	196,26	7210,00	197,16	7920,00	197,97	8630,00	198,72
5800,00	195,27	6510,00	196,27	7220,00	197,17	7930,00	197,99	8640,00	198,73
5810,00	195,28	6520,00	196,28	7230,00	197,18	7940,00	198,00	8650,00	198,74
5820,00	195,30	6530,00	196,30	7240,00	197,19	7950,00	198,01	8660,00	198,75
5830,00	195,31	6540,00	196,31	7250,00	197,21	7960,00	198,02	8670,00	198,76
5840,00	195,33	6550,00	196,32	7260,00	197,22	7970,00	198,03	8680,00	198,77
5850,00	195,34	6560,00	196,34	7270,00	197,23	7980,00	198,04	8690,00	198,78
5860,00	195,36	6570,00	196,35	7280,00	197,24	7990,00	198,05	8700,00	198,79
5870,00	195,37	6580,00	196,36	7290,00	197,25	8000,00	198,06	8710,00	198,80
5880,00	195,39	6590,00	196,38	7300,00	197,27	8010,00	198,07	8720,00	198,81
5890,00	195,40	6600,00	196,39	7310,00	197,28	8020,00	198,08	8730,00	198,82
5900,00	195,42	6610,00	196,40	7320,00	197,29	8030,00	198,09	8740,00	198,83
5910,00	195,43	6620,00	196,42	7330,00	197,30	8040,00	198,11	8750,00	198,84
5920,00	195,45	6630,00	196,43	7340,00	197,31	8050,00	198,12	8760,00	198,85
5930,00	195,46	6640,00	196,44	7350,00	197,33	8060,00	198,13	8770,00	198,86
5940,00	195,48	6650,00	196,46	7360,00	197,34	8070,00	198,14	8780,00	198,87
5950,00	195,49	6660,00	196,47	7370,00	197,35	8080,00	198,15	8790,00	198,88
5960,00	195,50	6670,00	196,48	7380,00	197,36	8090,00	198,16	8800,00	198,89
5970,00	195,52	6680,00	196,50	7390,00	197,37	8100,00	198,17	8810,00	198,90
5980,00	195,53	6690,00	196,51	7400,00	197,38	8110,00	198,18	8820,00	198,91
5990,00	195,55	6700,00	196,52	7410,00	197,40	8120,00	198,19	8830,00	198,92
6000,00	195,56	6710,00	196,53	7420,00	197,41	8130,00	198,20	8840,00	198,93
6010,00	195,58	6720,00	196,55	7430,00	197,42	8140,00	198,21	8850,00	198,94
6020,00	195,59	6730,00	196,56	7440,00	197,43	8150,00	198,22	8860,00	198,95
6030,00	195,61	6740,00	196,57	7450,00	197,44	8160,00	198,23	8870,00	198,96
6040,00	195,62	6750,00	196,59	7460,00	197,45	8170,00	198,24	8880,00	198,97
6050,00	195,64	6760,00	196,60	7470,00	197,47	8180,00	198,26	8890,00	198,98
6060,00	195,65	6770,00	196,61	7480,00	197,48	8190,00	198,27	8900,00	198,99
6070,00	195,66	6780,00	196,62	7490,00	197,49	8200,00	198,28	8910,00	199,00
6080,00	195,68	6790,00	196,64	7500,00	197,50	8210,00	198,29	8920,00	199,01
6090,00	195,69	6800,00	196,65	7510,00	197,51	8220,00	198,30	8930,00	199,02
6100,00	195,71	6810,00	196,66	7520,00	197,52	8230,00	198,31	8940,00	199,03
6110,00	195,72	6820,00	196,68	7530,00	197,54	8240,00	198,32	8950,00	199,04
6120,00	195,74	6830,00	196,69	7540,00	197,55	8250,00	198,33	8960,00	199,05
6130,00	195,75	6840,00	196,70	7550,00	197,56	8260,00	198,34	8970,00	199,06
6140,00	195,76	6850,00	196,71	7560,00	197,57	8270,00	198,35	8980,00	199,07
6150,00	195,78	6860,00	196,73	7570,00	197,58	8280,00	198,36	8990,00	199,08
6160,00	195,79	6870,00	196,74	7580,00	197,59	8290,00	198,37	9000,00	199,08
6170,00	195,81	6880,00	196,75	7590,00	197,60	8300,00	198,38	9010,00	199,09
6180,00	195,82	6890,00	196,76	7600,00	197,62	8310,00	198,39	9020,00	199,10
6190,00	195,83	6900,00	196,78	7610,00	197,63	8320,00	198,40	9030,00	199,11
6200,00	195,85	6910,00	196,79	7620,00	197,64	8330,00	198,41	9040,00	199,12
6210,00	195,86	6920,00	196,80	7630,00	197,65	8340,00	198,42	9050,00	199,13
6220,00	195,88	6930,00	196,81	7640,00	197,66	8350,00	198,43	9060,00	199,14
6230,00	195,89	6940,00	196,83	7650,00	197,67	8360,00	198,44	9070,00	199,15
6240,00	195,90	6950,00	196,84	7660,00	197,68	8370,00	198,45	9080,00	199,16
6250,00	195,92	6960,00	196,85	7670,00	197,70	8380,00	198,46	9090,00	199,17
6260,00	195,93	6970,00	196,86	7680,00	197,71	8390,00	198,48	9100,00	199,18
6270,00	195,95	6980,00	196,88	7690,00	197,72	8400,00	198,49	9110,00	199,19
6280,00	195,96	6990,00	196,89	7700,00	197,73	8410,00	198,50	9120,00	199,20
6290,00	195,97	7000,00	196,90	7710,00	197,74	8420,00	198,51	9130,00	199,21
6300,00	195,99	7010,00	196,91	7720,00	197,75	8430,00	198,52	9140,00	199,22

Tabela A-4: Relação entre dBμV/m e V/m (até 9140 V/m)

Tabela de Conversão para Unidades de Campo Elétrico									
E(V/m)	E(dBuV/m)	E(V/m)	E(dBuV/m)	E(V/m)	E(dBuV/m)	E(V/m)	E(dBuV/m)	E(V/m)	E(dBuV/m)
9150,00	199,23	9320,00	199,39	9490,00	199,55	9660,00	199,70	9830,00	199,85
9160,00	199,24	9330,00	199,40	9500,00	199,55	9670,00	199,71	9840,00	199,86
9170,00	199,25	9340,00	199,41	9510,00	199,56	9680,00	199,72	9850,00	199,87
9180,00	199,26	9350,00	199,42	9520,00	199,57	9690,00	199,73	9860,00	199,88
9190,00	199,27	9360,00	199,43	9530,00	199,58	9700,00	199,74	9870,00	199,89
9200,00	199,28	9370,00	199,43	9540,00	199,59	9710,00	199,74	9880,00	199,90
9210,00	199,29	9380,00	199,44	9550,00	199,60	9720,00	199,75	9890,00	199,90
9220,00	199,29	9390,00	199,45	9560,00	199,61	9730,00	199,76	9900,00	199,91
9230,00	199,30	9400,00	199,46	9570,00	199,62	9740,00	199,77	9910,00	199,92
9240,00	199,31	9410,00	199,47	9580,00	199,63	9750,00	199,78	9920,00	199,93
9250,00	199,32	9420,00	199,48	9590,00	199,64	9760,00	199,79	9930,00	199,94
9260,00	199,33	9430,00	199,49	9600,00	199,65	9770,00	199,80	9940,00	199,95
9270,00	199,34	9440,00	199,50	9610,00	199,65	9780,00	199,81	9950,00	199,96
9280,00	199,35	9450,00	199,51	9620,00	199,66	9790,00	199,82	9960,00	199,97
9290,00	199,36	9460,00	199,52	9630,00	199,67	9800,00	199,82	9970,00	199,97
9300,00	199,37	9470,00	199,53	9640,00	199,68	9810,00	199,83	9980,00	199,98
9310,00	199,38	9480,00	199,54	9650,00	199,69	9820,00	199,84	9990,00	199,99
								10000,00	200,00

Tabela A-5: Relação entre dB μ V/m e V/m (até 10000 V/m)

ANEXO B: DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

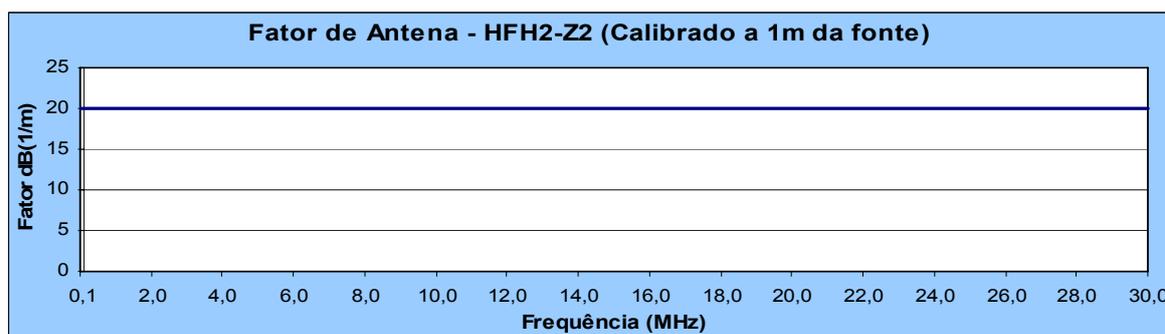
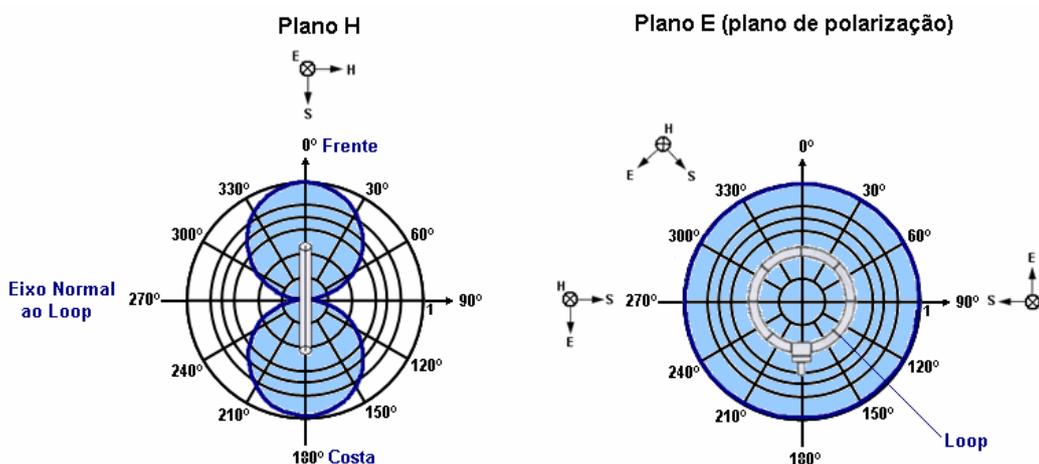
B.1 ANEXO B-1: SENSORES EMPREGADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

B.1.1 Antena Loop HFH2-Z2 (Rhode & Schwartz)

A faixa nominal de frequências desta antena se estende de 9 kHz à 30 MHz. Este sensor é uma antena loop ativa e, portanto, faz-se necessária a utilização de alimentação externa para suprir seus circuitos amplificadores, sempre que esta função não é realizada pelo receptor de campo (ou analisador de espectro). A alimentação suprida ao amplificador foi obtida por meio de uma fonte externa simétrica de ±10V e corrente nominal de 33mA, conforme manual. A dimensão “D” é definida pelo diâmetro das espiras que definem o seu loop.



Cálculo de Campo Distante (HFH2-Z2)								
Frequência (MHz)	Comprimento de Onda (m)	Antena	Dimensão Antena (m)	Relação D/λ	Campo distante / cd (m)			Distância de Calibração de AF
					cd = N/2π	cd(m) = 2λ	cd(m) = 2D ² / λo	
0,1	3000,00	Loop	0,59	0,0002	4712,39	6000,00	0,00	1m
10	30,00	Loop	0,59	0,020	47,12	60,00	0,02	1m
30	10,00	Loop	0,59	0,059	15,71	20,00	0,07	1m



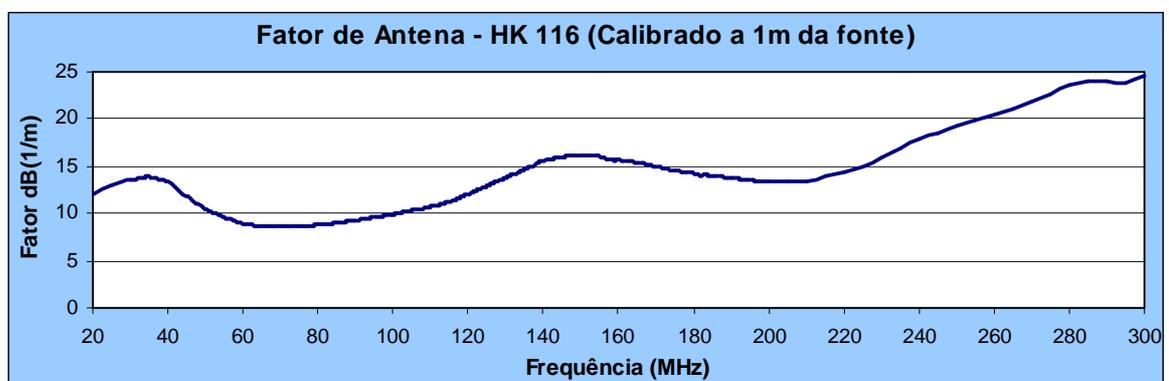
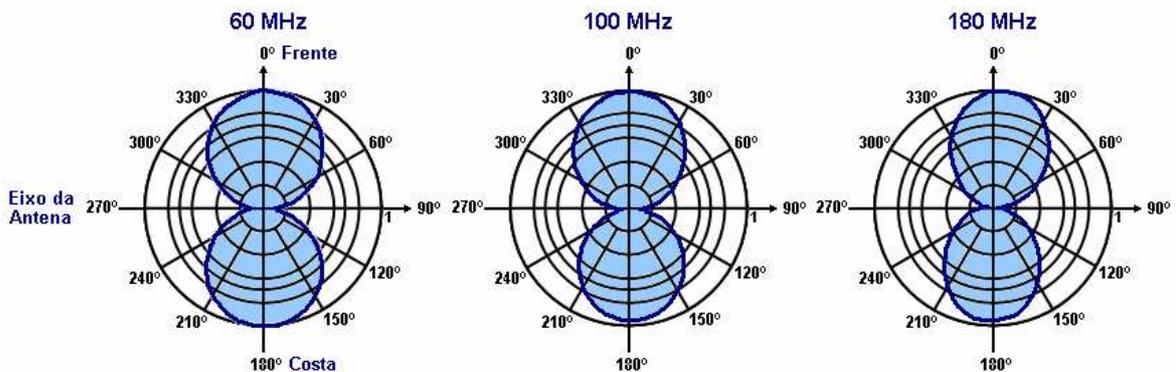
B.1.2 Antena Bicônica HK116 (Rhode & Schwartz)

Uma antena bicônica é um dipolo elétrico que se assemelha, pela sua estrutura, à forma geométrica de dois cones (de onde é originado a sua nomenclatura). É justamente o formato cônico que fornece à este tipo de antena a sua característica de recepção em diversas frequências. A faixa nominal da antena bicônica empregada nesta pesquisa se estende de 20 MHz até 300 MHz. A máxima dimensão “D” utilizada para o cálculo de campo distante é de 1,38m de comprimento, ou seja, a dimensão central do dipolo.



Cálculo de Campo Distante (HK116)								
Frequência (MHz)	Comprimento de Onda (m)	Antena	Dimensão Antena (m)	Relação D/λ	Campo distante / cd (m)			Distância de Calibração de AF
					$cd = \lambda/2\pi$	$cd(m) = 2\lambda$	$cd(m) = 2D^2/\lambda_0$	
20	15,00	Bicônica	1,38	0,092	23,56	30,00	0,25	1m
200	1,50	Bicônica	1,38	0,920	2,36	3,00	2,54	1m
300	1,00	Bicônica	1,38	1,380	1,57	2,00	3,81	1m

Plano E (plano de polarização da antena)



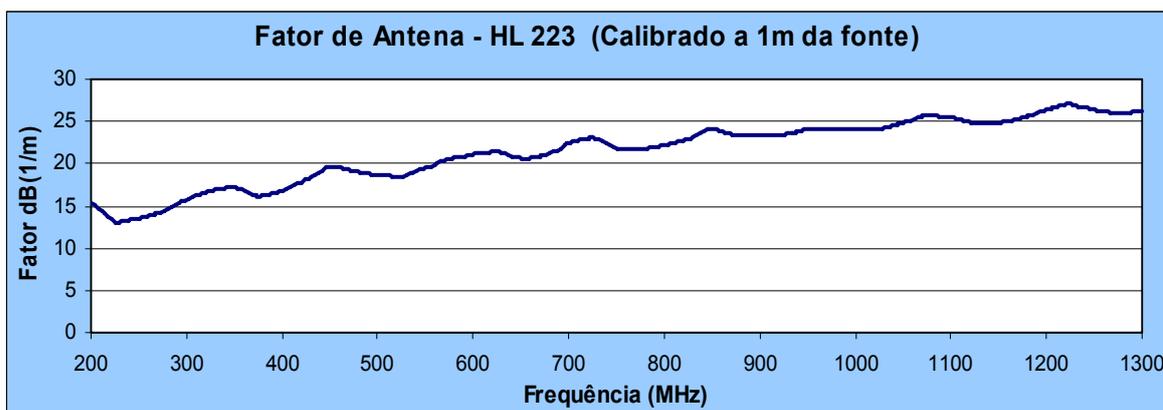
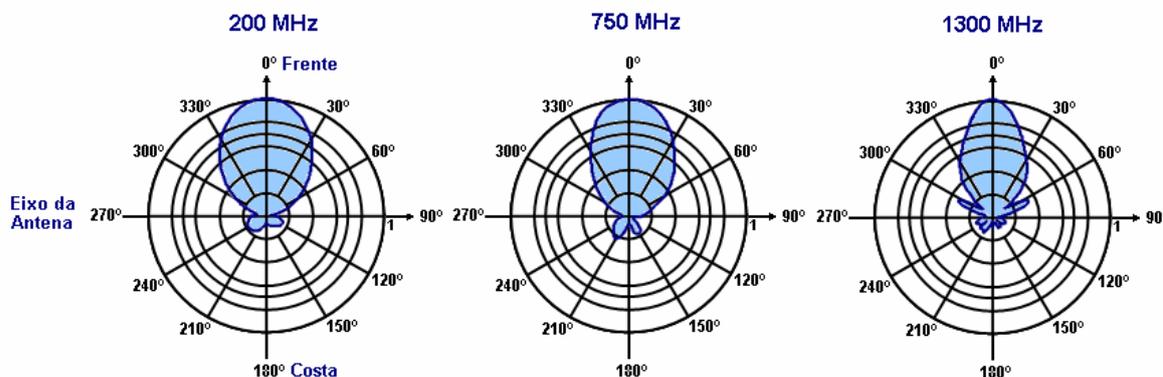
B.1.3 Antena Log-Periódica HL223 (Rhode & Schwartz)

Uma antena Log-Periódica pode ser entendida como sendo um conjunto de dipolos com comprimentos variados, onde cada um é responsável pela aquisição de sinais em uma frequência determinada. A faixa de frequências desta antena estende-se de 200 MHz até 1.300 MHz. Para o cálculo da relação D/λ , utilizado na definição de campo distante, foram tomados como dimensão “D” os comprimentos dos dipolos correspondentes às frequências máxima e mínima. Tal artifício foi utilizado por considerar-se que, pela dedução das fórmulas aplicadas (conforme consta no Anexo A.2), esta abordagem é a mais coerente para definição do campo distante.



Cálculo de Campo Distante (HL223)								
Frequência (MHz)	Comprimento de Onda (m)	Antena	Dimensão Antena (m)	Relação D/λ	Campo distante / cd (m)			Distância de Calibração de AF
					$cd = \lambda/2\pi$	$cd(m) = 2\lambda$	$cd(m) = 2D^2/\lambda_0$	
200	1,50	Log-Periódica	0,765	0,510	2,36	3,00	0,78	1m
1300	0,23	Log-Periódica	0,080	0,347	0,36	0,46	0,06	1m

Plano E (plano de polarização da antena)

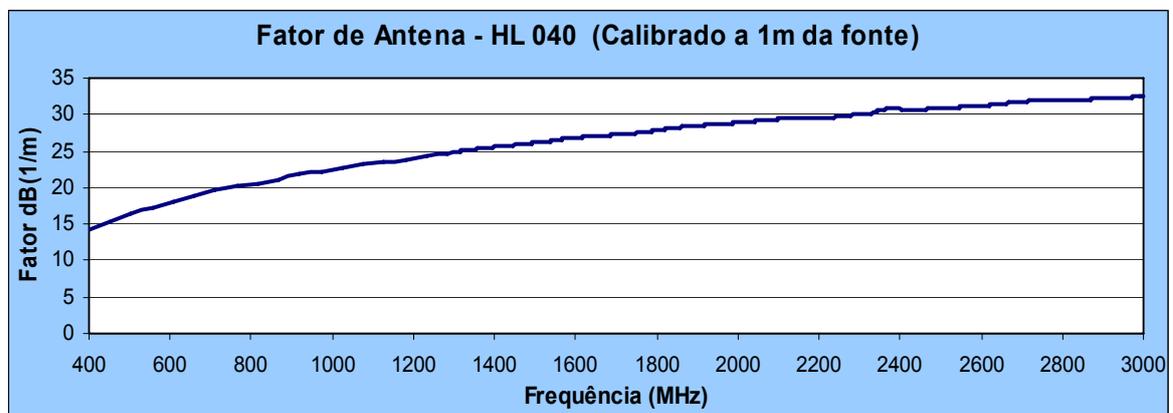
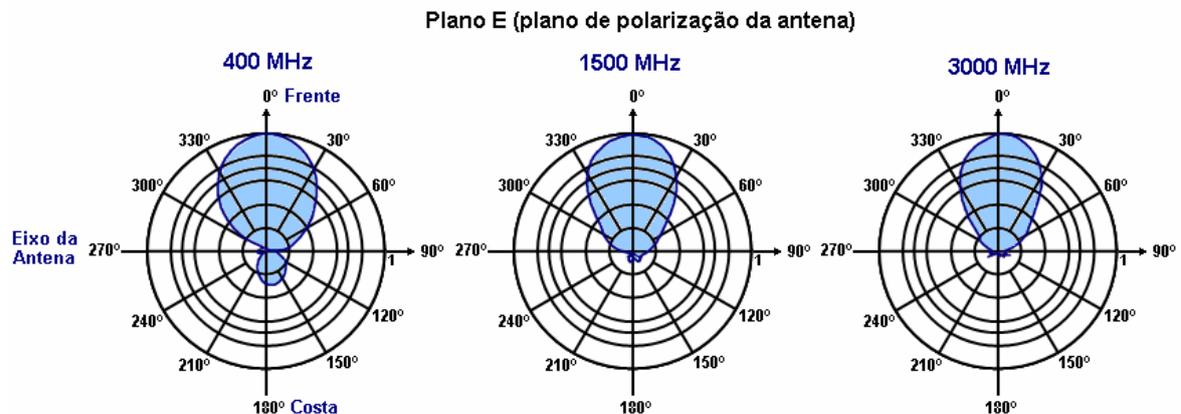


B.1.4 Antena Log-Periódica HL040 (Rhode & Schwartz)

Esta antena também é formada por um conjunto de dipolos elétricos de comprimentos variados. Entretanto, para este modelo em específico, os dipolos são protegidos por um radome em formato de “bico de pato” e não são visíveis externamente. A faixa de frequência para sua operação estende-se de 400 MHz até 3.000 MHz. Do mesmo modo que a antena log-periódica anterior, no cálculo da relação D/λ , que é utilizado na definição de campo distante, foram tomados como dimensão “D” os comprimentos dos dipolos correspondentes das frequências máxima e mínima, conforme a justificativa realizada anteriormente.



Cálculo de Campo Distante (HL040)								
Frequência (MHz)	Comprimento de Onda (m)	Antena	Dimensão Antena (m)	Relação D/λ	Campo distante / cd (m)			Distância de Calibração de AF
					$cd = \lambda/2\pi$	$cd(m) = 2\lambda$	$cd(m) = 2D^2/\lambda_0$	
400	0,75	Log-Periódica	0,302	0,403	1,18	1,50	0,24	1m
3000	0,10	Log-Periódica	0,075	0,750	0,16	0,20	0,11	1m



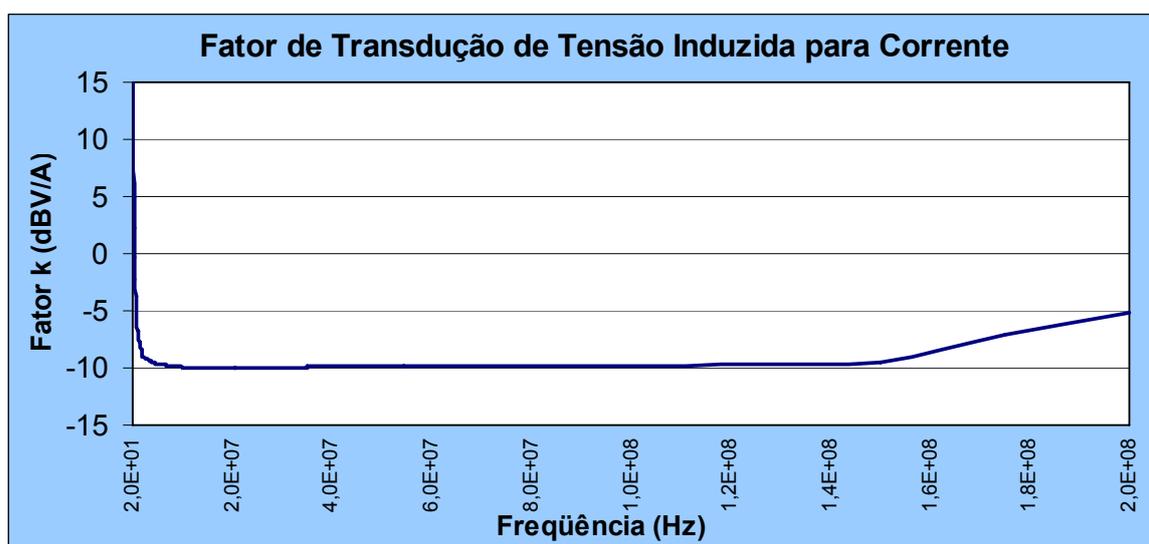
B.1.5 Sensor de Corrente RF EZ-17 (Rhode & Schwartz)

Este sensor de corrente RF é um “clamp” indutivo para medição de ruídos RF conduzidos na faixa de frequência que se estende de 20 Hz até 200 MHz. Em função da faixa de operação do analisador de espectro FSH-3, apenas as frequências a partir de 100 kHz foram avaliadas. Além disso, o limite de interesse para este trabalho é voltado para as prescrições de imunidade às perturbações condutivas que define um máximo de 3 V ou 10 V para a faixa de frequências de 150 kHz até 80 MHz.



As especificações do sensor EZ-17 seguem as prescrições da CISPR 16-1 e CISPR 22, onde são utilizados principalmente para medição assimétrica de corrente (modo comum), conforme definido pelo manual do fabricante. Também é possível a medição em modo diferencial, desde que exista possibilidade física para realização destes testes.

Algumas normas costumam apresentar o limite de emissões induzidas em termos de corrente, geralmente na unidade de $\text{dB}\mu\text{A}$. Para estes casos é necessário converter a leitura de tensão obtida pelo analisador de espectro pelo fator de transdução apresentado para cada uma das frequências. Estes fatores de transdução são apresentados a seguir:



B.2 ANEXO B-2: TESTES DE CALIBRAÇÃO

Os testes de calibração dos sistemas utilizados nesta pesquisa foram realizados nas dependências do MagLab - Laboratório de Eletromagnetismo da Universidade Federal de Santa Catarina, situado no Campus Universitário da UFSC - Trindade, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Elétrica, 1º andar, bloco C.

Conforme definido pelo protocolo implementado, para o sistema de medição de campos elétricos foram realizados ensaios de pré-calibração sempre antes da sua utilização em uma jornada típica de medições para um EAS. Estas medidas foram sistematicamente tomadas no dia anterior ao embarque dos equipamentos para o local de ensaio, no intuito de verificar a funcionalidade do sistema portátil por meio da comparação de seus resultados frente aos resultados obtidos pelo sistema fixo baseado nas dependências do laboratório.

O sistema fixo escolhido para realizar a referida comparação foi o *receiver* ESPC (Rhode & Schwartz), haja vista que o mesmo possui uma cadeia de rastreabilidade conhecida para certificar as medições obtidas. As calibrações (verificação do erro) foram realizadas de forma seqüencial para cada um dos sensores empregados na pesquisa, de modo a comparar as respostas do sistema baseado em laboratório (com rastreabilidade) e o sistema portátil empregado na pesquisa.

Para o sistema de medição de campos magnéticos não foram realizados ensaios de pré-calibração, visto que o laboratório Maglab não dispõe de outro sistema semelhante capaz de obter uma comparação dos seus resultados. Entretanto, cabe ressaltar que a aquisição deste sistema é bastante recente, realizada durante o final do ano de 2005 e, assim, os resultados obtidos são garantidos pelo fabricante conforme consta na documentação técnica do equipamento.



Figura B-1: Laboratório Maglab/ UFSC

B.3 ANEXO B-3: PROTOCOLOS IMPLEMENTADOS

B.3.1 Protocolo para Medição de Campo Elétrico

Funções Principais:

- Realizar marcações da “grade” do ambiente e definir os Pontos Válidos (PV);
- Posicionar antenas de acordo com a diretividade (manual operação) e altura (por norma mín. 1m);
- Inicializar as configurações pré definidas do “Data Set”;
- Atender as sinalização de controle do UEC;
- Verificar a sobrecarga do analisador de espectro (“overload”);
- Sinalizar a duração de 1 ciclo de varredura (mínimo);
- Realizar a aquisição e o armazenamento de dados no formato requerido (digital em formato CSV);
- (Tempo de aquisição: varia entre o período mínimo definido e a estabilidade do espectro).

Medição em Repouso:

Com todos os equipamentos desligados a medida deve ser tomada na posição central do ambiente avaliado (**tempo mínimo estimado de 1h30min**). Para tanto, deve-se respeitar a seguinte ordem:

- a) Montagem da antena LOOP em polarização HORIZONTAL (verificar tripé):**
5 minutos (mín.): varredura fixa.
- b) Montagem da antena LOOP em polarização VERTICAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.
- c) Montagem da antena BICÔNICA em polarização HORIZONTAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.

- d) Montagem da antena BICÔNICA em polarização VERTICAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.
- e) Montagem da antena LOG PERIÓDICA em polarização HORIZONTAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.
- f) Montagem da antena LOG PERIÓDICA em polarização VERTICAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.
- g) Montagem da antena BICO DE PATO em polarização HORIZONTAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.
- h) Montagem da antena BICO DE PATO em polarização VERTICAL:**
5 minutos (mín.): varredura fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade).
5 minutos (mín.): rotação da antena para as demais diretividades.

Medição em Operação:

Com todos os equipamentos em funcionamento as medidas devem ser tomadas em todos os pontos válidos (**tempo estimado mínimo de 48 minutos por ponto**). Para tanto, deve-se respeitar a seguinte ordem:

- a) Montagem da antena LOOP em polarização HORIZONTAL (verificar tripé):**

Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

b) Montagem da antena LOOP em polarização VERTICAL:

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

c) Montagem da antena BICÔNICA em polarização HORIZONTAL:

Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

d) Montagem da antena BICÔNICA em polarização VERTICAL:Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

e) Montagem da antena LOG PERIÓDICA em polarização HORIZONTAL:Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

f) Montagem da antena LOG PERIÓDICA em polarização VERTICAL:Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

g) Montagem da antena BICO DE PATO em polarização HORIZONTAL:

Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

h) Montagem da antena BICO DE PATO em polarização VERTICAL:

Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): 1º Ciclo da UEC: Antena fixa posicionada na direção de maior incidência (diretividade);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): 2º Ciclo da UEC: Rotação da antena para as demais diretividades;

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

Repetir a operação para todos os Pontos Válidos do ambiente:

B.3.2 Protocolo para Medição de Campo Magnético

Funções Principais:

- Realizar marcações da “grade” do ambiente (Todos os Pontos);
- Posicionar o analisador a 35° de inclinação (manual operação) e orientação adequada;
- Ajustar o equipamento para medição de % Ocupacional, % Público Geral, Pico e RMS (low cut =1Hz);
- Aguardar a estabilidade do equipamento entre as medições;
- Acionar “HoldMax”;
- Aguardar sinalizações e tempo para medição;
- Aquisição e armazenamento de dados no formato requerido (prancheta);
- (Tempo de aquisição: varia entre o período mínimo definido e a estabilidade do sinal).

Medição em Repouso

Com todos os equipamentos desligados a medida deve ser tomada em todos os pontos do ambiente avaliado. (tempo mínimo estimado de 4 minutos por ponto)

1. Posicionar adequadamente o equipamento no ponto de medição

Ajustar parâmetro e aguardar estabilidade (low cut, 1Hz, escala menor possível sem overflow):

Aplicar “HoldMáx”.

Repetir a operação para todos os Parâmetros:

- a) **1 minuto (mín.):** Medição e anotação dos dados para **Público Geral (%)**;
- b) **1 minuto (mín.):** Medição e anotação dos dados para **Ocupacional (%)**;
- c) **1 minuto (mín.):** Medição e anotação dos dados para **Valores de Pico**;
- d) **1 minuto (mín.):** Medição e anotação dos dados para **Valores RMS**;

Repetir a operação para todos os Pontos do ambiente:

Medição em Operação

Com todos os equipamentos em funcionamento as medidas devem ser tomadas em todos os pontos. Deve-se estar atento ao posicionamento de antenas de campo elétrico para não invadir faixa de diretividade. **(tempo mínimo estimado de 12 minutos por ponto)**

2. Posicionar adequadamente o equipamento no ponto de medição (atenção para não interferir no sistema de medição de campo elétrico).

Ajustar parâmetros, aguardar estabilidade (low cut 1Hz, escala menor possível sem overflow):

Aplicar “HoldMax”.

Aguardar sinalização de controle UEC

a) Medição para **Público Geral (%)**:

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo CUT**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo COAG**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo BLEND**);

b) Medição para **Público Ocupacional (%)**:

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo CUT**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo COAG**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo BLEND**);

c) Medição para **Valores de Pico (%)**:

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo CUT**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo COAG**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo BLEND**);

d) Medição para **Valores RMS (%)**:

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo CUT**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo COAG**);

1 minuto (mín.): medição e anotação dos dados (**Modo BLEND**);

Repetir a operação para todos os Pontos do ambiente:

B.3.3 Protocolo para Medição de Ruído Conduzido

Funções Principais:

- Localizar os pontos estratégicos acessíveis para instalação do *clamp* indutivo (i.e. quadro de distribuição de energia, cabos de alimentação (UEC), etc.);
- Instalar adequadamente o *clamp* indutivo para medição em modo comum (caso possível também realizar medições em modo diferencial);
- Inicializar configurações pré definidas do “Data Set”;
- Atender sinalização de controle do UEC;
- Verificar sobrecarga do analisador de espectro (“overload”);
- Sinalizar duração de 1 ciclo de varredura (mínimo);
- Aquisição e armazenamento de dados no formato requerido (digital em formato CSV);
- (Tempo de aquisição: varia entre o período mínimo definido e a estabilidade do espectro).

Medição em Repouso:

a) Instalação do “clamp” indutivo no ponto de verificação de ruído;

3 minutos (mín.): varredura para faixa de frequências A (100 kHz – 30 MHz).

3 minutos (mín.): varredura para faixa de frequências B (30MHz – 100 MHz).

Medição em Operação:

a) Instalação do “clamp” indutivo no ponto de verificação de ruído;

Aguardar sinalização de controle UEC

3 minutos (mín.): Aguardar o Ciclo da UEC: varredura para faixa de frequências A (100 kHz – 30 MHz);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

3 minutos (mín.): Aguardar o Ciclo da UEC: varredura para faixa de frequências B (30MHz – 100 MHz);

- modo CUT (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo GOAG (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).
- modo BLEND (Sinalizar mínimo de 1 ciclo de varredura com acionamento contínuo).

B.3.4 Protocolo para Simulação e Acionamento de EEM

Funções Principais:

- Realizar a inspeção física de todos os EEM;
- Verificar o funcionamento e acionar todos os equipamentos da simulação;
- Operação da UEC nos três modos (CUT, COAG, BLEND);
- Realizar acionamentos longos e curtos (intermitentes);
- Sinalizar o início de Procedimento;
- Aguardar o tempo de controle para acionamento longo (sistema de campo elétrico ou de ruído conduzido);
- Operar sobre o espécime.

Medição em Repouso

Posicionar os **equipamentos** eletromédicos desligados nas suas posições típicas de operação.

Medição em Operação

Colocar todos os equipamentos em funcionamento:

Operar com a UEC sobre o espécime:

a) Sinalizar início de procedimento para modo CUT:

1 minuto (mín.): Realizar um acionamento longo até RECEBER SINAL DE CONTROLE dos sistemas de medição de campo elétrico (ou ruído conduzido) e em seguida continuar com acionamentos intermitentes.

b) Sinalizar início de procedimento para modo COAG:

1 minuto (mín.): Realizar um acionamento longo até RECEBER SINAL DE CONTROLE do sistema de medição de campo elétrico e (ou ruído conduzido) em seguida continuar com acionamentos intermitentes.

c) Sinalizar início de procedimento para modo BLEND:

1 minuto (mín.): Realizar um acionamento longo até RECEBER SINAL DE CONTROLE do sistema de medição de campo elétrico (ou ruído conduzido) e em seguida continuar com acionamentos intermitentes.

Repetir o ciclo até o fim da jornada de medições

ANEXO C: DOCUMENTAÇÃO DE ENSAIOS

C.1 ENSAIO DO HOSPITAL FLORIANÓPOLIS

C.1.1 Documentação do Ambiente Avaliado

No dia 07 de dezembro de 2005 foi realizado o ensaio de EMC nas dependências do Hospital Florianópolis, localizado na rua Santa Rita de Cássia, nº 1665, Estreito, Florianópolis. O ambiente investigado foi a sala número 3 do centro cirúrgico, com dimensões de 4,5m de largura por 5,5m de comprimento. Tal geometria constitui a “grade” de avaliação conforme apresenta a Figura C-1.

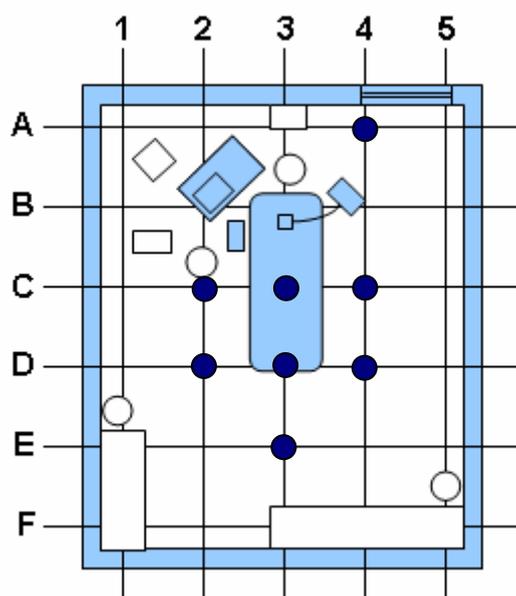


Figura C-1: Ambiente Avaliado

Para medição de campo elétrico foram avaliados os pontos A4, C2, C3, C4, D2, D3, D4 e E3. Os pontos A1, A2, A3, B1, B2, B3 e B4 não foram medidos em razão da proximidade com os EEM. Os pontos C1, D1, E1, F1, F2, F3, F4, F5, A5, B5, C5, D5 e E5 não foram medidos em função da sua proximidade com as paredes do recinto. Os pontos E2 e E4 não foram medidos devido a restrição de tempo total de ensaio.

Para medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados, com exceção dos pontos F1, F2, F3, F4 e F5 que não foram medidos por restrição de tempo total de ensaio.



Florianópolis 15 de Agosto de 2005

Prezado Senhor Ari Rocha;

Nos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) têm sido diversos os relatos sobre fenômenos de interferência eletromagnética (EMI) nos quais os equipamentos eletromédicos são vítimas durante sua rotina de trabalho. Tendo em vista que a EMI nestes casos acaba por alterar não apenas a funcionalidade de um equipamento, mas possivelmente, toda uma metodologia de tratamento ou diagnose, a ocorrência destes fenômenos pode, por exemplo, submeter os pacientes a uma condição de risco crítica, que é maior do que a já estabelecida pela sua situação clínica.

Incentivados em minimizar esta realidade, viemos por meio desta, **solicitar a autorização para realização de uma pesquisa** a ser implementada **nas dependências do Hospital Florianópolis**.

A proposta que se segue, vem no sentido de realizar o levantamento do comportamento eletromagnético do ambiente no EAS, para que a partir deste diagnóstico, seja possível uma abordagem mais incisiva no combate aos fenômenos de EMI que os equipamentos têm sido vítimas. Trata-se da realização de medições *in locu* do comportamento eletromagnético em ambientes que apresentam grande inserção tecnológica, como por exemplo, os centros cirúrgicos e unidades de tratamento intensivo. A partir de uma análise detalhada destas medições é possível executar a tomada de ações mais eficientes no combate à EMI. A maior efetividade das ações definidas por este processo, deve-se principalmente ao seu direcionamento ao quadro específico apresentado pelo estabelecimento em questão. Como resultados, ficam subsidiadas informações para a adoção de políticas de gestão tecnológica mais adequadas, que por sua vez, proporcionam uma maior segurança e confiabilidade na operação dos equipamentos médicos.

Em uma analogia com a área médica, pode-se dizer que os fenômenos de EMI que vêm sendo apresentados pelos equipamentos médicos são sintomas de uma enfermidade na qual, a partir de exames complementares, pretende-se formular um diagnóstico que permita identificar o tratamento adequado para a solução desse problema em específico, e direcioná-lo à situação de cada paciente.

Para maiores esclarecimentos, estamos à sua disposição para agendar uma reunião.

Atenciosamente,

Wilson Valente Junior, EE
valente@gemco.ufsc.br
(Pesquisador Principal)

Prof. Adroaldo Raizer, Dr., EE
raizer@eel.ufsc.br
(Orientador de Pesquisa)



Formulário de Documentação de Ensaio

Identificação

Nome do EAS: Hospital Florianópolis - HF		
Endereço: Rua Santa Rita de Cassia, nº 1665, Estreito / Florianópolis		
Diretor(a): Ari Rocha	Contato: Rúbia Alves	
Área Avaliada: Centro Cirúrgico (sala 3)	Divisão: Eng. Clínica	
Dimensões: 4,5m x 5,5m Nº de Pontos: 30	Fone:	
Tipo de Ensaio: Emissão Radiada / Conduzida	Email: rubia@ieb.ufsc.br	
Data de Ensaio: 7/12/2005	Período: <input checked="" type="checkbox"/> Matutino <input checked="" type="checkbox"/> Vespertino <input type="checkbox"/> Noturno	

Equipe Técnica

	Nome Completo / Titulação	Instituição	Função	Suporte Técnico	Simulação	Medição	Apoio
1	Wilson Valente Junior, EE	UFSC	Pesquisador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Felipe Nyland, EE	UFSC	Pesquisador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Matheus Hammes Amaral	UFSC	Técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Rúbia Alves, Msc. EE	HF	Eng. Clínica	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Neide Mattos	HF	Enfermeira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Equipamentos de Medição

	Equipamento	Fabricante		Sensor	Fabricante
1	Analisador Espectro FSH-3	Rohde & Schwartz	1	HFH2-Z2	Rohde & Schwartz
2	Medidor de Campo ELT - 400	Narda	2	HK 116	Rohde & Schwartz
3			3	HL 223	Rohde & Schwartz
4			4	HL 040 e EZ-17	Rohde & Schwartz

Equipamentos sob Teste (EEM em Simulação)

	Tipo	Modelo	Fabricante	Nº de Série
1	Unidade eletrocirúrgica (UEC)	BP-400	Emai	990033
2	Monitor multiparâmetros	Passport EL	Datascope	PA2059715
3	Ventilador Pulmonar	Narcoflex	Narcosul	161
4	Foco cirúrgico	5 / 5 B	Sismatec	5001576601
5	Carro de Anestesia	Narcosul	Modulus 5000	O003
6	Bomba de Infusão	S-670	Samtronic	31360D

Parâmetros de Medição

Campo Elétrico	Campo Magnético
Nº de Pontos (Avaliados/Total): 8 / 30	Nº de Pontos (Avaliados/Total) 25 / 30
Identificação dos Pontos Avaliados: A4 / C2 C3 / C4 / D2 / D3 / D4 / E3	Identificação dos Pontos Avaliados: Todos Exceto: F1 / F2 / F3 / F4 / F5
Situação do Ambiente Medido: <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação	Situação do Ambiente Medido <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação
Faixa de Frequencia Avaliada: 30 MHz - 3 GHz	Faixa de Frequencia Avaliada 1Hz - 400 kHz
Unidade de Medida: dB μ V/m	Unidade de Medida: μ T
Posição dos Sensores: Polar. H e V/ diretividade em 360°	Posição dos Sensores: isotrópico

Cobertura das Normas

IEC 60601-1-2 <input checked="" type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma	obs:
ICNIRP (1998) <input type="checkbox"/> Total <input checked="" type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma	obs: o limite da norma estende-se até 100 GHz

Responsável Técnico

Eng. Wilson Valente Junior
valente@gemco.ufsc.br

Data

Grupo de Engenharia em Compatibilidade Eletromagnética
Fone: +55 (48) 3317557, Fax: +55 (48) 3319880
Caixa Postal: 476 CEP: 88040-900
Florianópolis - SC, Campus Universitário / UFSC - Trindade

C.1.4 Documentação de Equipamentos

Equipamentos Eletromédicos Utilizados no Ensaio (HF)				
Identificação	Tipo	Modelo	Fabricante	No de Série
	Unidade Eletrocirúrgica de Alta Frequência (UEC)	BP-400	Emai	990033
	Monitor Multiparâmetros	Passport EL	Datascope	PA2059715
	Ventilador Pulmonar	Narcoflex	Narcosul	161
	Foco Cirúrgico	5 / 5 B	Sismatec	5001576601
	Carro de Anestesia	Modulus 5000	Narcosul	O003
	Bomba de Infusão	S-670	Samtronic	31360D

Tabela C-1: Equipamentos Utilizados no Ensaio do HF.

C.1.5 Resultados Adicionais para Medições de Campo Elétrico

Os valores mais significativos para medição de campo elétrico durante o repouso são identificados pela Tabela C-2.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Repouso)				
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Serviço	Identificação
116,12	0,64	67,4	TV - VHF	Canal 4 (SBT)
120,29	1,03	83,3	TV - VHF	Canal 6 (Record)
122,56	1,34	93,7	Rádio FM	Itapema
134,35	5,22	96,1	Rádio FM	Band
126,37	2,08	99,3	Rádio FM	Evangélica
134,48	5,30	100,9	Rádio FM	Atlântida
123,19	1,44	188,0	TV - VHF	Canal 9 (Barriga verde)
133,43	4,69	204,0	TV - VHF	Canal 12 (RBS)
115,20	0,58	493,3	TV - UHF	Canal 17
112,33	0,41	508,0	TV - UHF	Canal 20
118,32	0,82	537,3	TV - UHF	Canal 25
117,59	0,76	603,3	TV - UHF	Canal 36
111,99	0,40	871,0	Telefonia Celular	Banda A
115,46	0,59	878,3	Telefonia Celular	Banda A
114,46	0,53	893,0	Telefonia Celular	Banda B
127,50	2,37	1731,0	Telefonia Celular	Banda C
118,54	0,85	1810,0	Telefonia Celular	Banda C
117,33	0,74	1838,0	Telefonia Celular	Banda C
114,04	0,50	1850,0	Telefonia Celular	Banda C

Tabela C-2: Valores Significativos para Ambiente em Repouso

Os valores mais significativos para o ambiente em operação, que representam intensidade de campo elétrico acima de 3 V/m (129,54 dB μ V/m), são apresentados pela Tabela C-3.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Operação)			
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Faixa de Serviço
132,5		31,7	Ruído EEM
134,34		96,1	Rádio FM (Band) + Ruído EEM
136,03		100,9	Rádio FM (Atlântida) + Ruído EEM
133,42		204	TV - VHF (Canal 12 - RBS) + Ruído EEM
134,82		218,3	Serviço de Comunicação + Ruído EEM
131,12		273,3	Serviço de Comunicação + Ruído EEM

Tabela C-3: Valores Acima de 3 V/m para Ambiente em Operação

O mapeamento espacial do ambiente investigado pode ser obtido pela avaliação dos espectros medidos em cada um dos pontos válidos definidos na “grade”. Os espectros em frequência para cada um destes pontos são apresentados nas figuras C-2, C-3 e C-4.

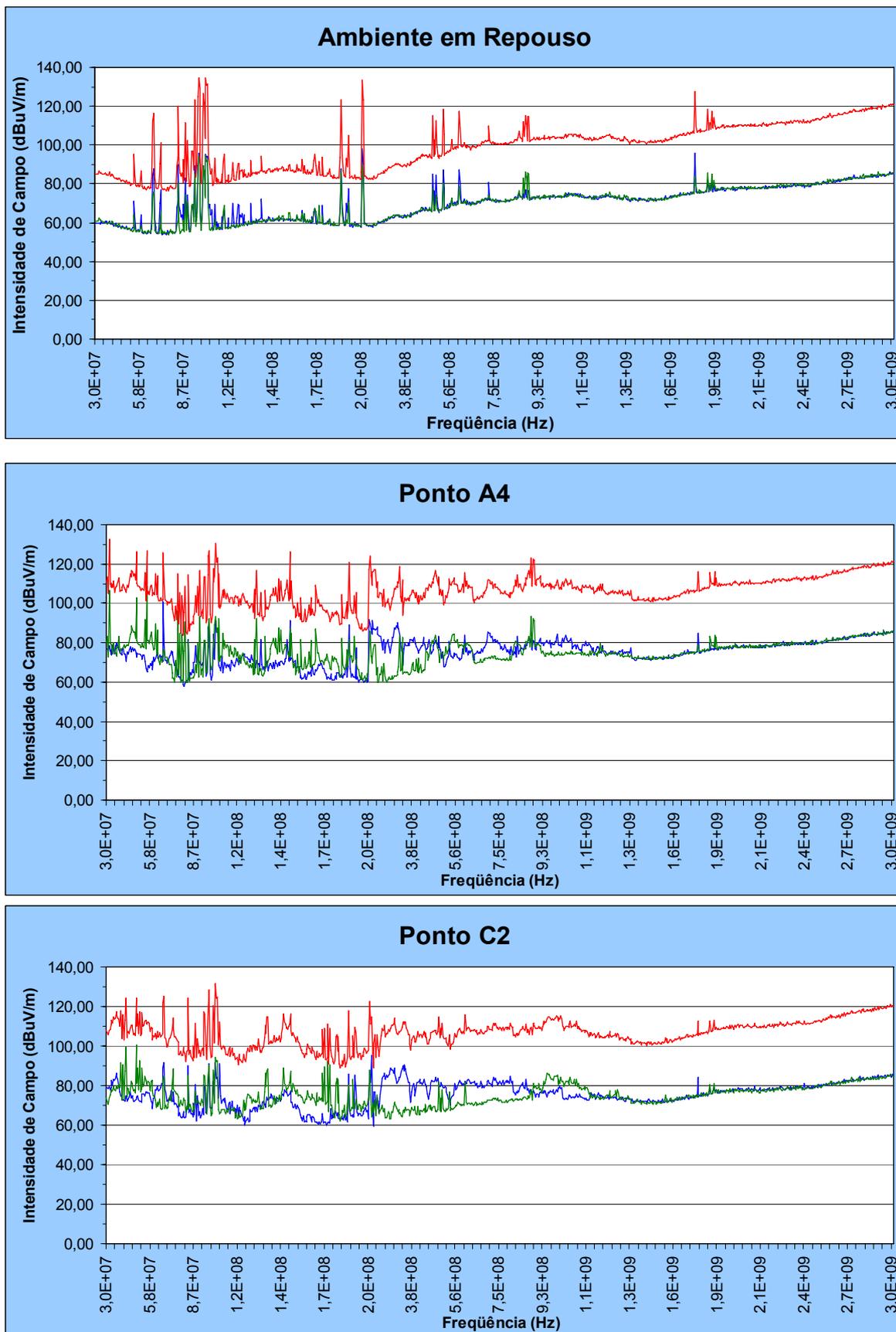


Figura C-2: Espectro de Frequências Medido (Ambiente em Repouso, Ponto A4 e Ponto C2).

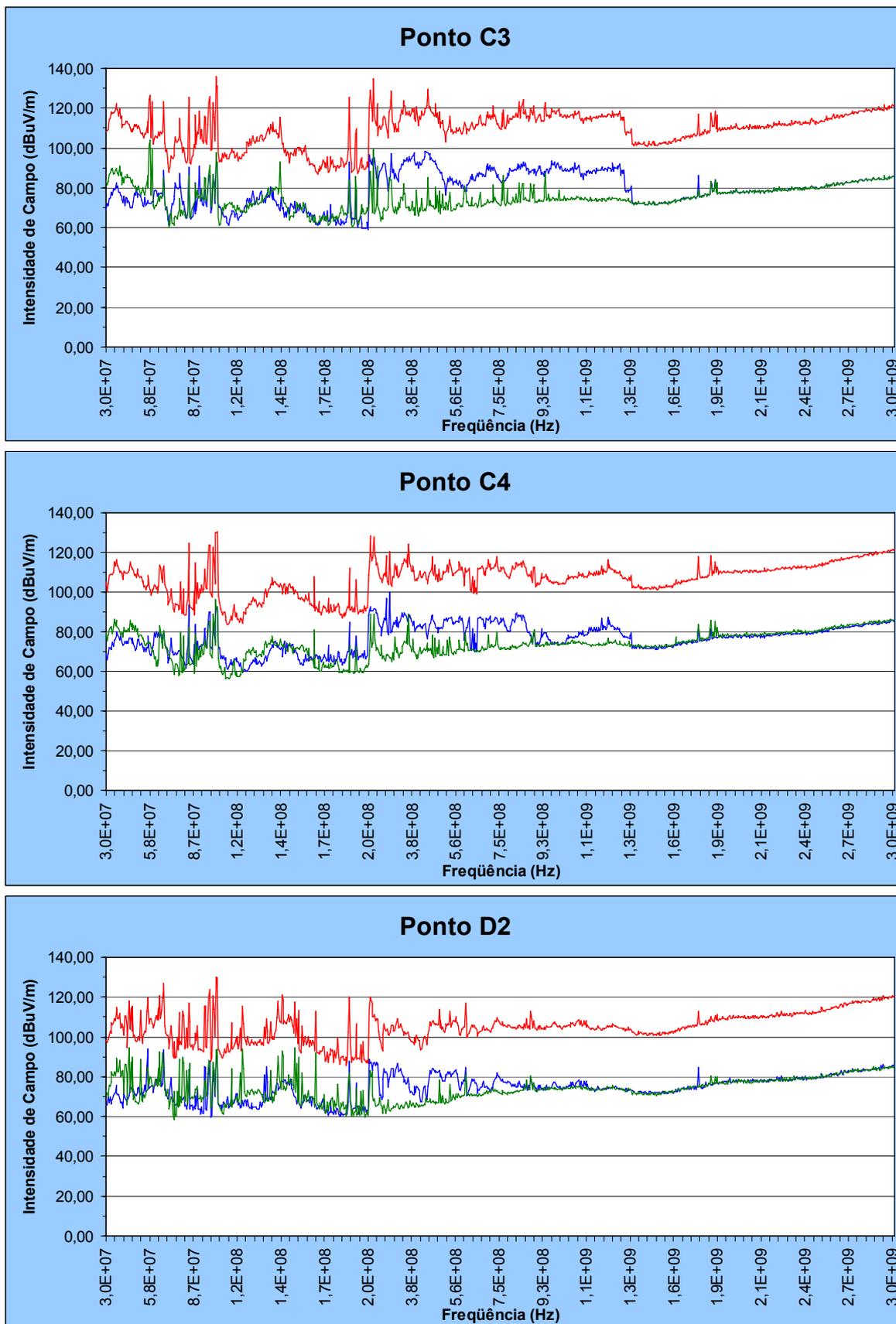


Figura C-3 Espectro de Frequências Medido (Ponto C3, Ponto C4 e Ponto D2).

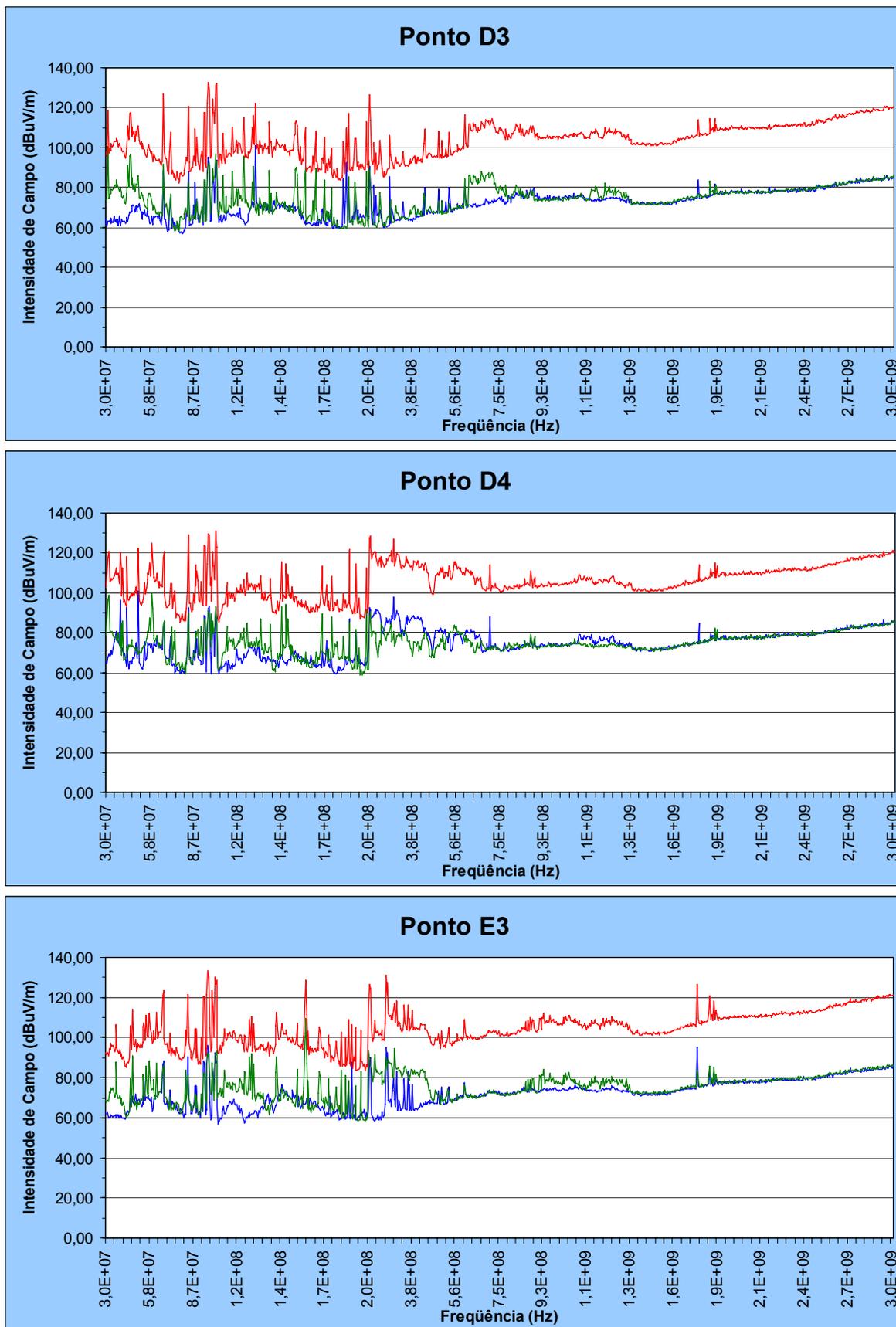


Figura C-4: Espectro de Frequências Medido (Ponto D3, Ponto D4 e Ponto E3).

C.1.6 Resultados Adicionais para Medições de Campo Magnético

Medição de Campo Magnético em Ambientes													
Local:	Hospital Florianópolis					Equipamento:	ELT-400 Narda						
Data:	07 de dezembro de 2005					Responsável:	Eng. Wilson Valente Junior						
Ambiente em Repouso													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral							Ocupacional						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,995	0,984	0,772	0,81	0,782		A	0,345	0,345	0,366	0,405	0,345	
B	0,801	0,78	0,75	0,762	0,743		B	0,350	0,343	0,360	0,356	0,334	
C	0,767	0,717	0,743	0,782	0,782		C	0,356	0,345	0,366	0,345	0,334	
D	0,712	0,707	0,712	0,701	0,707		D	0,345	0,345	0,334	0,356	0,334	
E	0,71	0,709	0,711	0,702	0,705		E	0,345	0,346	0,345	0,344	0,345	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico							RMS						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,713	0,713	0,801	0,670	0,848		A	0,351	0,390	0,450	0,418	0,456	
B	0,721	0,702	0,710	0,728	0,655		B	0,355	0,381	0,380	0,351	0,328	
C	0,729	0,681	0,667	0,733	0,725		C	0,362	0,372	0,360	0,397	0,427	
D	0,636	0,684	0,662	0,658	0,700		D	0,358	0,401	0,349	0,394	0,364	
E	0,642	0,650	0,665	0,659	0,701		E	0,355	0,400	0,352	0,395	0,370	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (Pior caso)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral							Ocupacional						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,996	0,995	1,845	1,901	0,956		A	0,362	0,396	0,701	0,767	0,362	
B	0,995	1,853	17,090	5,840	1,050		B	0,375	0,657	6,872	1,857	0,401	
C	0,840	0,953	2,460	1,105	0,989		C	0,368	0,488	1,075	0,440	0,376	
D	0,831	0,816	0,910	0,861	0,710		D	0,353	0,371	0,396	0,398	0,356	
E	0,715	0,715	0,718	0,706	0,706		E	0,352	0,350	0,366	0,351	0,349	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico							RMS						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,989	0,962	1,124	1,181	0,886		A	0,368	0,412	0,522	0,544	0,458	
B	0,997	1,242	1,880	1,882	0,735		B	0,361	0,502	0,970	0,811	0,333	
C	0,744	0,867	0,962	0,965	0,721		C	0,362	0,495	0,532	0,598	0,424	
D	0,721	0,705	0,850	0,670	0,716		D	0,359	0,411	0,467	0,396	0,364	
E	0,645	0,684	0,796	0,662	0,705		E	0,356	0,401	0,364	0,396	0,371	
F							F						
G							G						

Tabela C-4: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Repouso e Pior Caso)

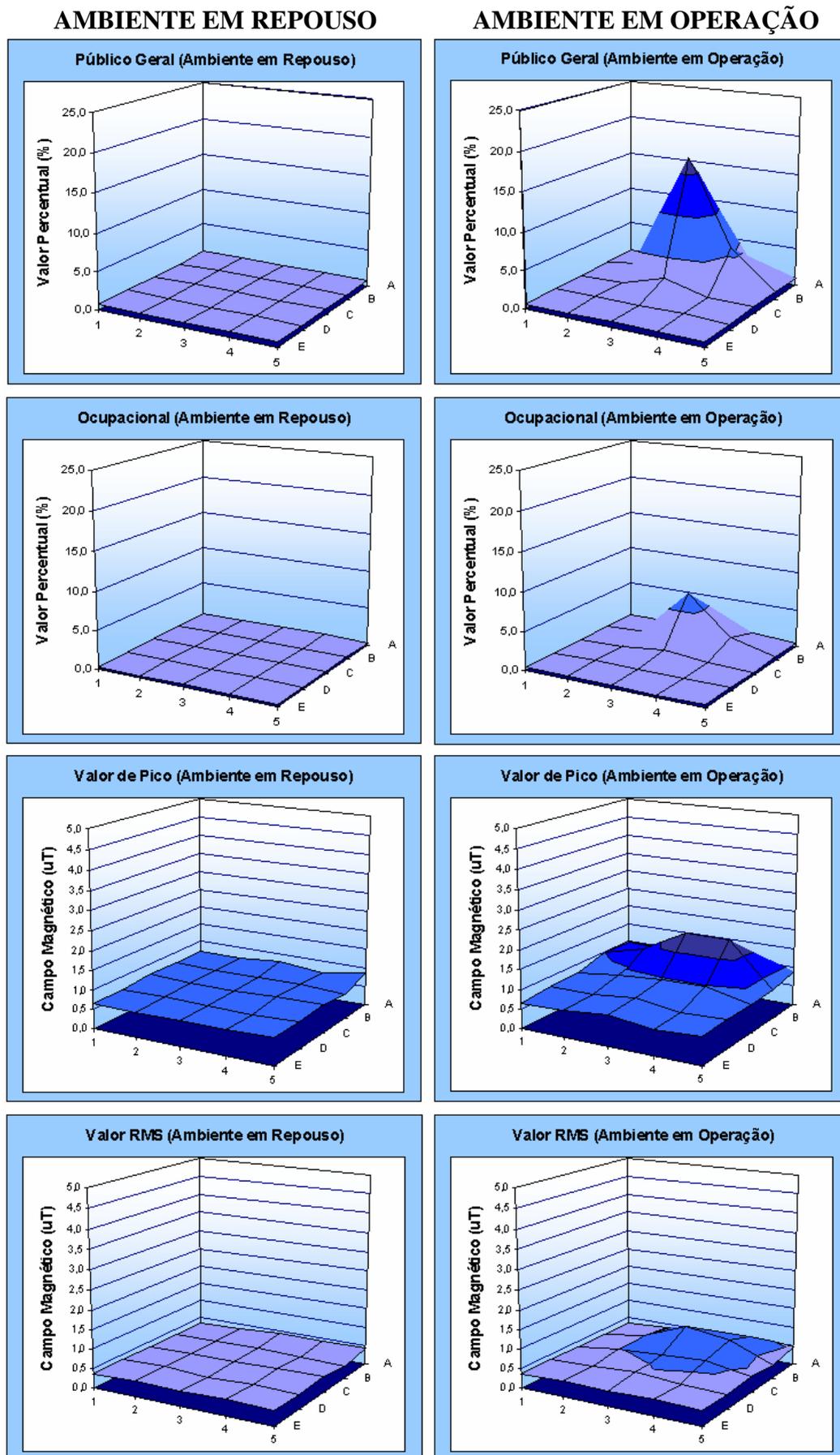


Figura C-5: Mapeamento de Campo Magnético (Repouso x Pior Caso)

Ambiente em Operação (modo CUT)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral							Ocupacional						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,993	0,995	1,190	0,952	0,927		A	0,352	0,392	0,511	0,503	0,350	
B	0,810	0,992	11,360	3,173	1,050		B	0,375	0,481	4,287	1,075	0,380	
C	0,752	0,757	1,354	1,105	0,727		C	0,364	0,405	0,876	0,440	0,376	
D	0,732	0,735	0,910	0,852	0,710		D	0,350	0,362	0,391	0,398	0,352	
E	0,715	0,712	0,718	0,705	0,706		E	0,351	0,350	0,348	0,350	0,349	
F							F						
G							G						

Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico							RMS						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,780	0,962	1,025	1,074	0,850		A	0,368	0,412	0,522	0,436	0,431	
B	0,765	0,973	1,880	1,773	0,730		B	0,361	0,501	0,970	0,811	0,333	
C	0,744	0,867	0,962	0,960	0,682		C	0,362	0,495	0,532	0,598	0,399	
D	0,645	0,701	0,713	0,659	0,701		D	0,359	0,411	0,389	0,395	0,360	
E	0,645	0,661	0,664	0,662	0,700		E	0,356	0,398	0,364	0,395	0,370	
F							F						
G							G						

Ambiente em Operação (modo COAG)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral							Ocupacional						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,996	0,737	1,845	1,901	0,956		A	0,362	0,396	0,701	0,767	0,362	
B	0,995	1,853	17,090	5,840	1,020		B	0,372	0,657	6,872	1,857	0,401	
C	0,840	0,953	2,460	1,047	0,989		C	0,368	0,488	1,075	0,432	0,373	
D	0,831	0,816	0,854	0,861	0,707		D	0,353	0,371	0,396	0,379	0,356	
E	0,712	0,715	0,691	0,706	0,702		E	0,352	0,346	0,366	0,351	0,346	
F							F						
G							G						

Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico							RMS						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,989	0,632	0,995	1,181	0,886		A	0,36	0,382	0,437	0,459	0,458	
B	0,997	1,242	1,802	1,882	0,735		B	0,359	0,502	0,965	0,789	0,329	
C	0,730	0,700	0,830	0,789	0,721		C	0,358	0,454	0,436	0,518	0,411	
D	0,712	0,700	0,849	0,663	0,701		D	0,359	0,405	0,467	0,396	0,362	
E	0,645	0,648	0,794	0,660	0,703		E	0,355	0,399	0,364	0,395	0,371	
F							F						
G							G						

Ambiente em Operação (modo BLEND)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral							Ocupacional						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,985	0,956	1,242	1,254	0,854		A	0,351	0,356	0,599	0,386	0,348	
B	0,854	1,462	10,310	3,803	0,912		B	0,361	0,612	4,312	1,174	0,374	
C	0,765	0,743	1,667	1,029	0,898		C	0,359	0,405	0,757	0,432	0,356	
D	0,713	0,712	0,735	0,812	0,71		D	0,351	0,362	0,371	0,375	0,352	
E	0,709	0,711	0,71	0,705	0,706		E	0,350	0,347	0,352	0,348	0,345	
F							F						
G							G						

Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico							RMS						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,989	0,648	1,124	1,122	0,881		A	0,353	0,386	0,436	0,544	0,456	
B	0,994	1,186	1,754	1,796	0,729		B	0,356	0,426	0,917	0,757	0,332	
C	0,741	0,84	0,911	0,965	0,715		C	0,358	0,387	0,515	0,518	0,424	
D	0,721	0,705	0,85	0,67	0,716		D	0,358	0,404	0,353	0,395	0,364	
E	0,643	0,684	0,796	0,653	0,705		E	0,354	0,401	0,351	0,396	0,37	
F							F						
G							G						

Tabela C-5: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Por Modo de Operação).

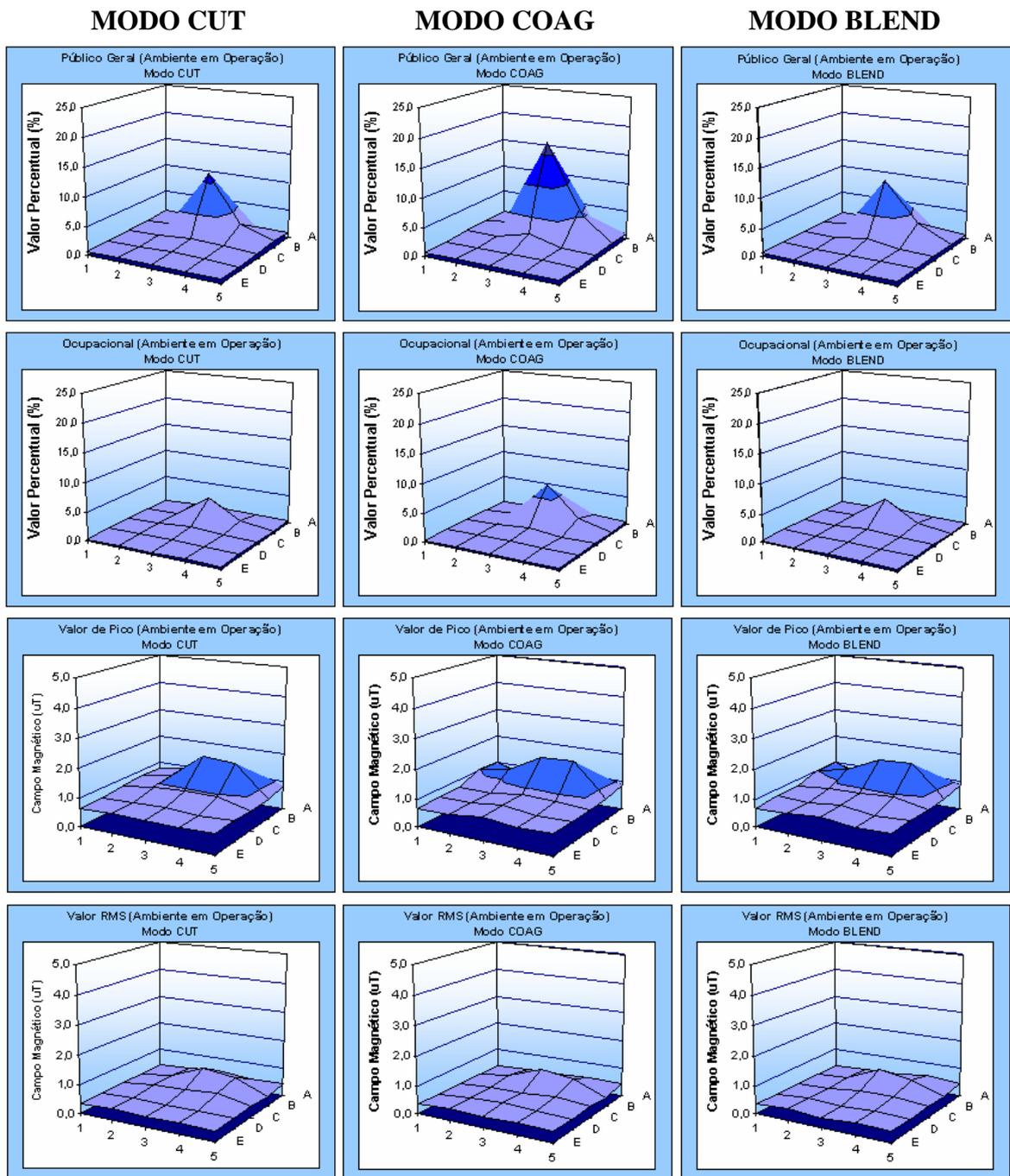


Figura C-6: Mapeamento de Campo Magnético (Por Modo de Operação da UEC)

C.2 ENSAIO DO HOSPITAL REGIONAL DE SÃO JOSÉ

C.2.1 Documentação do Ambiente Avaliado

No dia 27 de dezembro de 2005 foi realizado o ensaio de EMC nas dependências do Hospital Regional de São José, localizado na rua Demétrio Filomeno, nº 99, São José. O ambiente investigado foi a sala número 2 do centro cirúrgico, com dimensões de 5m de largura por 5m de comprimento. Tal geometria constitui a “grade” de avaliação conforme apresenta a Figura C-7.

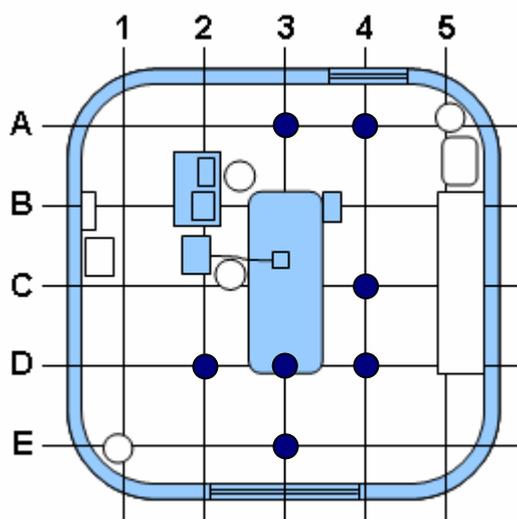


Figura C-7: Ambiente Avaliado

Para medição de campo elétrico foram avaliados os pontos A3, A4, C4, D2, D3, D4 e E3. Os pontos A2, B2, B3, B4, C2 e C3 não foram medidos em razão da proximidade com os EEM. Os pontos A1, B1, C1, D1, E1, E2, E4, A5, B5, C5, D5 e E5 não foram medidos em função da sua proximidade com as paredes do recinto. Para medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados.



Florianópolis 23 de Setembro de 2005

Prezado Senhor Diretor Antônio Turners;

Nos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) têm sido diversos os relatos sobre fenômenos de interferência eletromagnética (EMI) nos quais os equipamentos eletromédicos são vítimas durante sua rotina de trabalho. Tendo em vista que a EMI nestes casos acaba por alterar não apenas a funcionalidade de um equipamento, mas possivelmente, toda uma metodologia de tratamento ou diagnose, a ocorrência destes fenômenos pode, por exemplo, submeter os pacientes a uma condição de risco crítica, que é maior do que a já estabelecida pela sua situação clínica.

Incentivados em minimizar esta realidade, viemos por meio desta, **solicitar a autorização para realização de uma pesquisa** a ser implementada **nas dependências do Hospital Regional de São José**.

A proposta que se segue, vem no sentido de realizar o levantamento do comportamento eletromagnético do ambiente no EAS, para que a partir deste diagnóstico, seja possível uma abordagem mais incisiva no combate aos fenômenos de EMI que os equipamentos têm sido vítimas. Trata-se da realização de medições *in locu* do comportamento eletromagnético em ambientes que apresentam grande inserção tecnológica, como por exemplo, os centros cirúrgicos e unidades de tratamento intensivo. A partir de uma análise detalhada destas medições é possível executar a tomada de ações mais eficientes no combate à EMI. A maior efetividade das ações definidas por este processo, deve-se principalmente ao seu direcionamento ao quadro específico apresentado pelo estabelecimento em questão. Como resultados, ficam subsidiadas informações para a adoção de políticas de gestão tecnológica mais adequadas, que por sua vez, proporcionam uma maior segurança e confiabilidade na operação dos equipamentos médicos.

Em uma analogia com a área médica, pode-se dizer que os fenômenos de EMI que vêm sendo apresentados pelos equipamentos médicos são sintomas de uma enfermidade na qual, a partir de exames complementares, pretende-se formular um diagnóstico que permita identificar o tratamento adequado para a solução desse problema em específico, e direcioná-lo à situação de cada paciente.

Para maiores esclarecimentos, estamos à sua disposição para agendar uma reunião.

Atenciosamente,

Wilson Valente Junior, EE
valente@gemco.ufsc.br
(Pesquisador Principal)

Prof. Adroaldo Raizer, Dr., EE
raizer@eel.ufsc.br
(Orientador de Pesquisa)



UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

PGEEL - Departamento de Pós Graduação em Engenharia Elétrica
GEMCO - Grupo de Engenharia em Compatibilidade Eletromagnética



Formulário de Documentação de Ensaio

Identificação

Nome do EAS: Hospital Regional de São José - HRSJ		
Endereço: Demétrio Filomeno, nº 99, São José		
Diretor(a): Antônio Turnes (dir. admin.)		Contato: Alisson Tolotti
Área Avaliada: Centro Cirúrgico (sala 2)		Divisão: Eng. Clínica
Dimensões: 5m x 5m Nº de Pontos: 25		Fone: 3271-9057
Tipo de Ensaio: Emissão Radiada / Conduzida		Email: tolotti@ieb.ufsc.br
Data de Ensaio: 27/12/2005	Período: <input checked="" type="checkbox"/> Matutino <input checked="" type="checkbox"/> Vespertino <input type="checkbox"/> Noturno	

Equipe Técnica

	Nome Completo / Titulação	Instituição	Função	Suporte Técnico	Simulação	Medição	Apoio
1	Wilson Valente Junior, EE	UFSC	Pesquisador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Paulo Rangel, Msc. EE	UFSC	Pesquisador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Alisson Tolotti, Msc. EE	HRSJ	Eng. Clínico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Ana Rech	HRSJ	Enfermeira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Juliano Martins	HRSJ	Técnico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Equipamentos de Medição

	Equipamento	Fabricante		Sensor	Fabricante
1	Analizador Espectro FSH-3	Rohde & Schwartz	1	HK 116	Rohde & Schwartz
2	Medidor de Campo ELT - 400	Narda	2	HL 223	Rohde & Schwartz
3			3	HL 040	Rohde & Schwartz
4			4	EZ-17	Rohde & Schwartz

Equipamentos sob Teste (EEM em Simulação)

	Tipo	Modelo	Fabricante	Nº de Série
1	Unidade eletrocirúrgica (UEC)	SS-5015	WEM	828
2	Monitor Cardíaco	4-1 TC/FC	Fumbec	372552
3	Oxi-Capnógrafo	Oscar OXY	Datex	85742
4	Foco cirúrgico	F460-2	Baumer	45003152
5	Carro de Anestesia (Ventilador Pulmonar)	Modulus (Narcomist)	Narcosul	S1191 (A294)
6	Bomba de Infusão	S-670	Samtronic	31210D

Parâmetros de Medição

Campo Elétrico	Campo Magnético
Nº de Pontos (Avaliados/Total): 7 / 25	Nº de Pontos (Avaliados/Total) 25 / 25
Identificação dos Pontos Avaliados: A3 / A4 C4 / D2 / D3 / D4 / E3	Identificação dos Pontos Avaliados: Todos
Situação do Ambiente Medido: <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação	Situação do Ambiente Medido <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação
Faixa de Frequencia Avaliada: 30 MHz - 3 GHz	Faixa de Frequencia Avaliada 1Hz - 400 kHz
Unidade de Medida: dB μ V/m	Unidade de Medida: μ T
Posição dos Sensores: Polar. H e V/ diretividade em 360°	Posição dos Sensores: isotrópico

Cobertura das Normas

IEC 60601-1-2 <input checked="" type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma	obs:
ICNIRP (1998) <input type="checkbox"/> Total <input checked="" type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma	obs: o limite da norma estende-se até 100 GHz

Responsável Técnico

Eng. Wilson Valente Junior
valente@gemco.ufsc.br

Data

Grupo de Engenharia em Compatibilidade Eletromagnética
Fone: +55 (48) 3317557, Fax: +55 (48) 3319880
Caixa Postal: 476 CEP: 88040-900
Florianópolis - SC, Campus Universitário / UFSC - Trindade

C.2.4 Documentação de Equipamentos

Equipamentos Eletromédicos Utilizados no Ensaio (HRSJ)				
Identificação	Tipo	Modelo	Fabricante	No de Série
	Unidade Eletrocirúrgica de Alta Frequência (UEC)	SS-5015	WEM	828
	Monitor Cardíaco	4-1 TC/FC	Fumbec	372552
	Oxi-Capnógrafo	Oscar OXY	Datex	85742
	Carro de Anestesia	Modulus 4000	Narcosul	S1191
	Ventilador Pulmonar	Narcomist	Narcosul	A294
	Bomba de Infusão	ST 670	Samtronic	31210D
	Foco Cirúrgico	F 460-2	Baumer	45003152

Tabela C-6: Equipamentos Utilizados no Ensaio do HRSJ

C.2.5 Resultados Adicionais para Medições de Campo Elétrico

Os valores mais significativos para medição de campo elétrico durante o repouso são identificados pela Tabela C-7.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Repouso)				
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Serviço	Identificação
84,20	0,02	67,4	TV - VHF	Canal 4 (SBT)
81,48	0,01	83,3	TV - VHF	Canal 6 (Record)
81,40	0,01	93,7	Rádio FM	Itapema
90,04	0,03	96,1	Rádio FM	Band
87,50	0,02	99,3	Rádio FM	Evangélica
93,27	0,05	100,9	Rádio FM	Atlântida
119,77	0,97	176,0	TV - VHF	Canal 7
105,12	0,18	180,0	TV - VHF	Canal 8
80,55	0,01	188,0	TV - VHF	Canal 9 (Barriga Verde)
85,05	0,02	204,0	TV - VHF	Canal 12 (RBS)
108,92	0,28	739,0	TV - UHF	Canal 58
93,05	0,04	852,7	Serviço de Comunicação	
84,45	0,02	871,0	Telefonia Celular	Banda A
83,66	0,02	878,3	Telefonia Celular	Banda A
87,14	0,02	885,7	Telefonia Celular	Banda B
105,72	0,19	1731,0	Telefonia Celular	Banda C
82,73	0,01	1838,0	Telefonia Celular	Banda C
84,48	0,02	1844,0	Telefonia Celular	Banda C

Tabela C-7: Valores Significativos para Ambiente em Repouso

Os valores mais significativos para o ambiente em operação, que representam intensidade de campo elétrico acima de 3 V/m (129,54 dB μ V/m), são apresentados pela Tabela C-8.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Operação)			
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Faixa de Serviço
132,33	4,14	30,6	Ruído EEM
133,37	4,66	31,7	Ruído EEM
133,58	4,78	34	Ruído EEM
132,21	4,08	39,1	Telemedicação Biomédica + Ruído EEM
132,27	4,11	50,4	Serviços de Comunicação + Ruído EEM
140,77	10,93	51,5	Serviços de Comunicação + Ruído EEM
138,8	8,71	54,4	TV-VHF (Canal 2) + Ruído EEM
133,2	4,57	60	TV-VHF (Canal 3) + Ruído EEM
143,54	15,03	71,4	Ruído EEM
139,21	9,13	72,5	Telecomando + Ruído EEM
134,05	5,04	75,3	Radionavegação Aeronáutica + Ruído EEM
139,12	9,04	76,5	TV-VHF (Canal 5) + Ruído EEM
143,02	14,16	78,2	TV-VHF (Canal 5) + Ruído EEM
137,81	7,77	78,7	TV-VHF (Canal 5) + Ruído EEM
136,1	6,38	79,3	TV-VHF (Canal 5) + Ruído EEM
132,07	4,01	88,9	Radio FM + Ruído EEM
133,48	4,72	108	Serviços de Comunicação + Ruído EEM
135,23	5,77	124	Comun. Móvel p/ Aeronáutica + Ruído EEM
134,44	5,27	131	Comun. Móvel p/ Aeronáutica + Ruído EEM
131,83	3,90	138	Comunicações Fixas e Móveis + Ruído EEM
137,68	7,66	145	Rádio Amador + Ruído EEM
132,67	4,30	148	Rádio Amador + Ruído EEM
134,37	5,23	150	Serviços de Comunicação + Ruído EEM
135,96	6,28	163	Serviços de Comunicação + Ruído EEM

Tabela C-8: Valores Acima de 3 V/m para Ambiente em Operação

O mapeamento espacial do ambiente investigado pode ser obtido pela avaliação dos espectros medidos em cada um dos pontos válidos definidos na “grade”. Os espectros em frequência para cada um destes pontos são apresentados nas figuras C-8, C-9 e C-10.

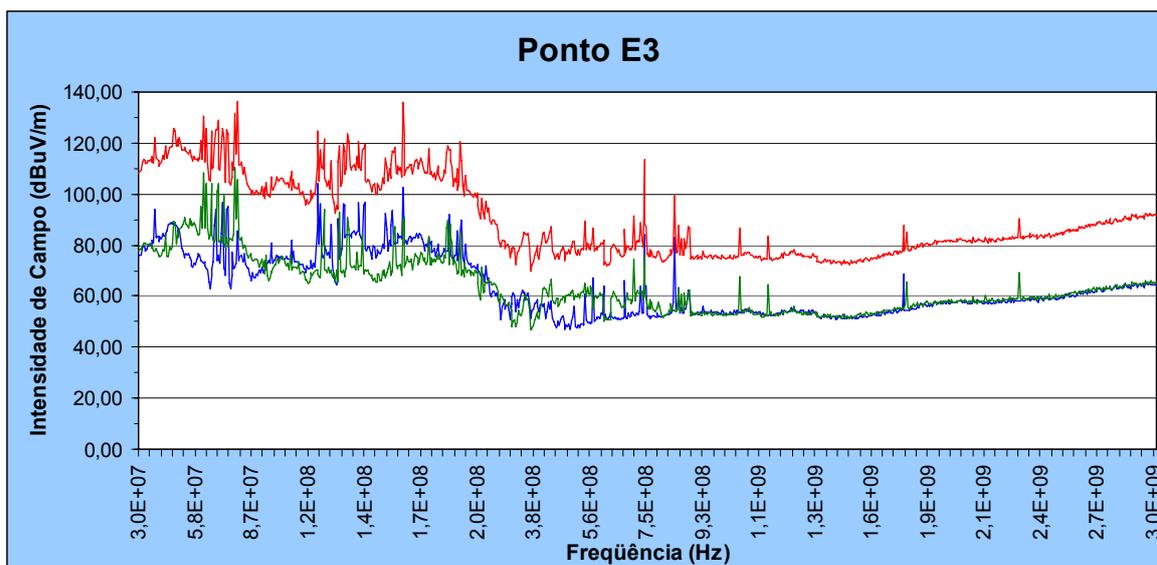


Figura C-8: Espectro de Frequências Medido (Ponto E3).

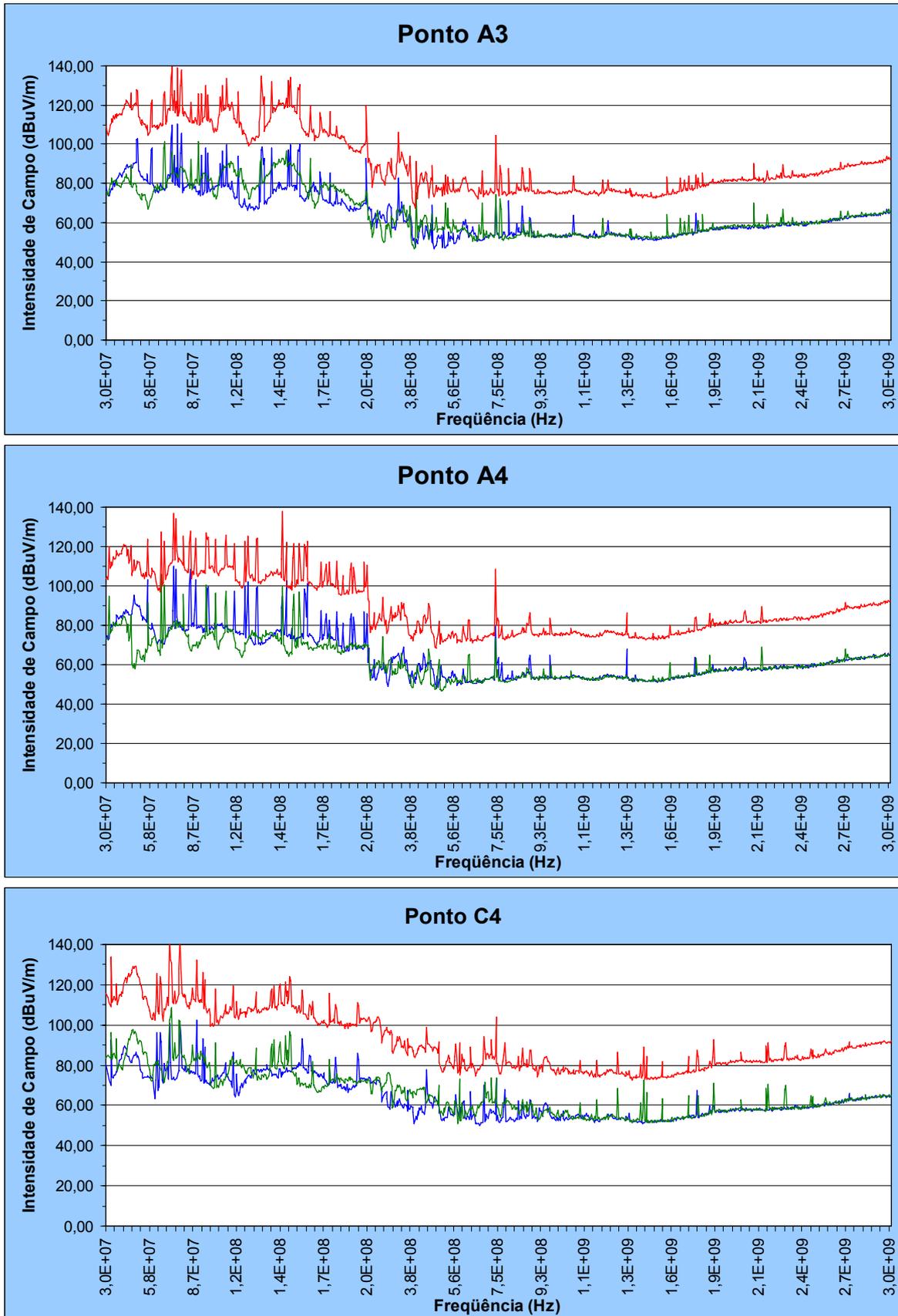


Figura C-9 Espectro de Frequências Medido (Ponto A3, Ponto A4 e Ponto C4).

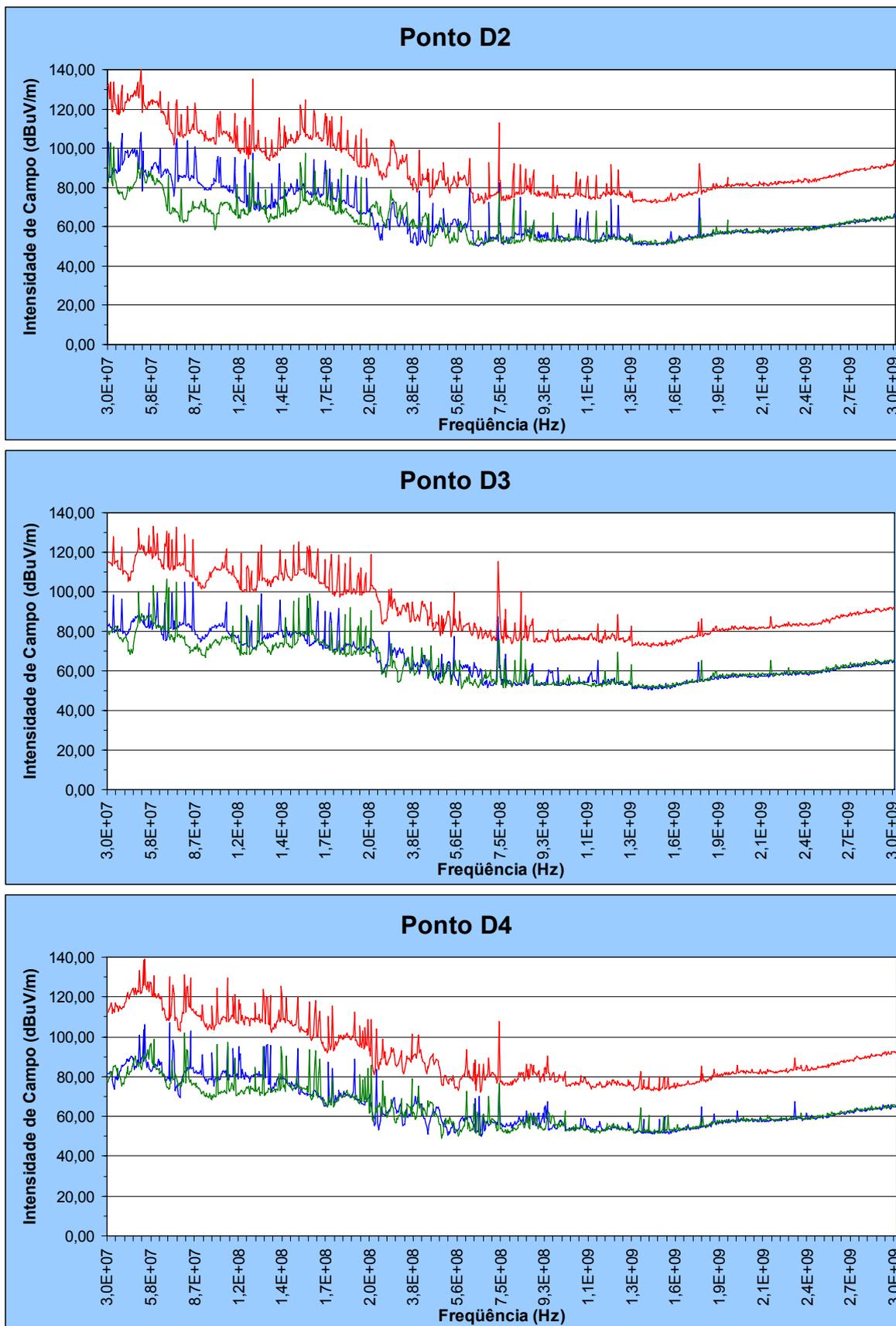


Figura C-10: Espectro de Frequências Medido (Ponto D2, Ponto D3 e Ponto D4).

C.2.6 Resultados Adicionais para Medições de Campo Magnético

Medição de Campo Magnético em Ambientes													
Local:	Hospital Regional de São José					Equipamento:	ELT-400 Narda						
Data:	27 de dezembro de 2005					Responsável:	Eng. Wilson Valente Junior						
Ambiente em Repouso													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,800	0,757	0,722	0,722	0,730		A	0,356	0,356	0,376	0,356	0,355	
B	0,832	0,761	0,725	0,872	0,801		B	0,386	0,361	0,352	0,356	0,356	
C	0,854	0,772	0,771	0,772	0,780		C	0,376	0,366	0,360	0,366	0,370	
D	0,897	0,805	0,808	0,814	0,897		D	0,376	0,366	0,361	0,356	0,423	
E	0,946	0,828	0,762	0,696	0,876		E	0,432	0,366	0,376	0,376	0,376	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,766	0,802	0,775	0,735	0,731		A	0,398	0,355	0,429	0,372	0,370	
B	0,720	0,822	0,763	0,718	0,720		B	0,426	0,365	0,370	0,394	0,395	
C	0,871	0,932	0,750	0,702	0,710		C	0,395	0,394	0,399	0,417	0,392	
D	0,996	0,893	0,764	0,752	0,918		D	0,352	0,382	0,401	0,512	0,393	
E	0,926	0,698	0,817	0,985	0,957		E	0,426	0,426	0,357	0,493	0,373	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (Pior caso)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,841	0,846	0,805	0,913	0,756		A	0,396	0,396	0,376	0,356	0,358	
B	0,842	1,458	1,657	0,850	0,812		B	0,388	0,731	0,851	0,405	0,360	
C	0,901	12,500	19,090	1,180	0,798		C	0,382	5,519	5,897	0,553	0,769	
D	0,899	1,272	1,472	1,909	0,899		D	0,377	0,511	0,488	0,559	0,428	
E	0,950	0,810	0,847	0,897	0,882		E	0,733	0,366	0,366	0,386	0,385	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	1,022	0,758	0,860	0,843	0,741		A	0,495	0,463	0,402	0,370	0,382	
B	0,789	0,803	0,844	0,826	0,758		B	0,426	0,476	0,450	0,396	0,402	
C	0,877	0,876	1,834	1,046	0,831		C	0,398	0,494	0,992	0,465	0,401	
D	0,999	0,916	1,015	1,049	0,922		D	0,359	0,432	0,456	0,516	0,398	
E	0,934	0,760	0,864	0,816	0,960		E	0,430	0,428	0,397	0,515	0,401	
F							F						
G							G						

Tabela C-9: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Repouso e Pior Caso)

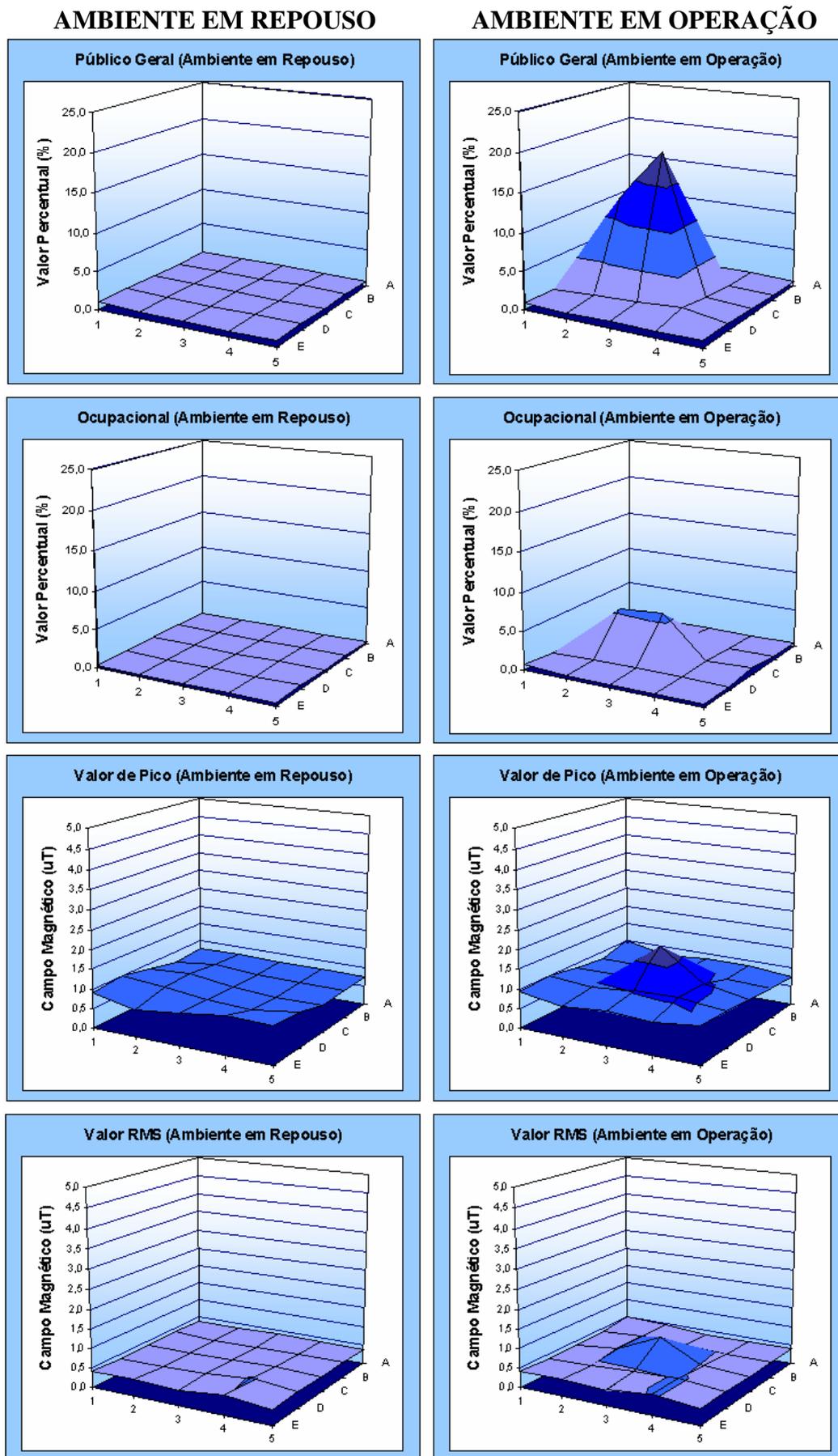


Figura C-11: Mapeamento de Campo Magnético (Repouso x Pior Caso)

Ambiente em Operação (modo CUT)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,828	0,846	0,805	0,800	0,728		A	0,366	0,366	0,334	0,345	0,356	
B	0,831	0,963	1,108	0,748	0,802		B	0,386	0,451	0,365	0,396	0,352	
C	0,855	3,027	7,941	1,050	0,782		C	0,375	2,400	2,676	0,539	0,378	
D	0,896	0,837	1,272	1,405	0,899		D	0,365	0,423	0,344	0,457	0,426	
E	0,945	0,810	0,847	0,876	0,877		E	0,433	0,356	0,334	0,386	0,381	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	1,022	0,706	0,851	0,763	0,730		A	0,406	0,463	0,402	0,343	0,368	
B	0,723	0,708	0,844	0,674	0,721		B	0,425	0,476	0,450	0,376	0,395	
C	0,872	0,719	1,834	0,703	0,715		C	0,398	0,494	0,886	0,465	0,395	
D	0,996	0,916	0,904	0,984	0,885		D	0,351	0,415	0,401	0,418	0,389	
E	0,925	0,732	0,864	0,816	0,960		E	0,430	0,383	0,397	0,423	0,373	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (modo COAG)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,805	0,585	0,786	0,913	0,753		A	0,345	0,396	0,376	0,356	0,35	
B	0,842	1,458	1,657	0,850	0,812		B	0,388	0,731	0,851	0,386	0,352	
C	0,901	12,500	19,090	1,180	0,798		C	0,376	5,519	5,897	0,553	0,368	
D	0,899	1,272	1,472	1,585	0,895		D	0,377	0,511	0,488	0,559	0,425	
E	0,950	0,800	0,748	0,805	0,882		E	0,435	0,366	0,366	0,345	0,382	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,800	0,668	0,817	0,843	0,741		A	0,471	0,333	0,329	0,370	0,382	
B	0,789	0,803	0,816	0,826	0,714		B	0,420	0,369	0,372	0,396	0,402	
C	0,872	0,876	1,815	1,046	0,761		C	0,395	0,370	0,992	0,309	0,39	
D	0,956	0,804	0,756	0,932	0,715		D	0,348	0,365	0,456	0,369	0,388	
E	0,879	0,760	0,684	0,808	0,959		E	0,430	0,428	0,397	0,515	0,401	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (modo BLEND)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,841	0,546	0,732	0,732	0,756		A	0,396	0,356	0,366	0,356	0,358	
B	0,832	0,832	0,895	0,786	0,799		B	0,385	0,368	0,356	0,405	0,360	
C	0,898	6,066	6,619	0,934	0,786		C	0,382	3,886	4,111	0,376	0,769	
D	0,895	0,934	1,208	1,909	0,899		D	0,377	0,366	0,440	0,440	0,428	
E	0,95	0,743	0,757	0,897	0,876		E	0,733	0,345	0,356	0,386	0,385	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,705	0,758	0,86	0,701	0,739		A	0,495	0,411	0,344	0,366	0,382	
B	0,721	0,722	0,801	0,707	0,758		B	0,426	0,367	0,368	0,343	0,398	
C	0,877	0,76	1,611	0,756	0,831		C	0,397	0,353	0,858	0,362	0,401	
D	0,999	0,709	1,015	1,049	0,922		D	0,359	0,432	0,413	0,516	0,398	
E	0,934	0,739	0,769	0,722	0,955		E	0,428	0,359	0,321	0,333	0,376	
F							F						
G							G						

Tabela C-10: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Por Modo de Operação)

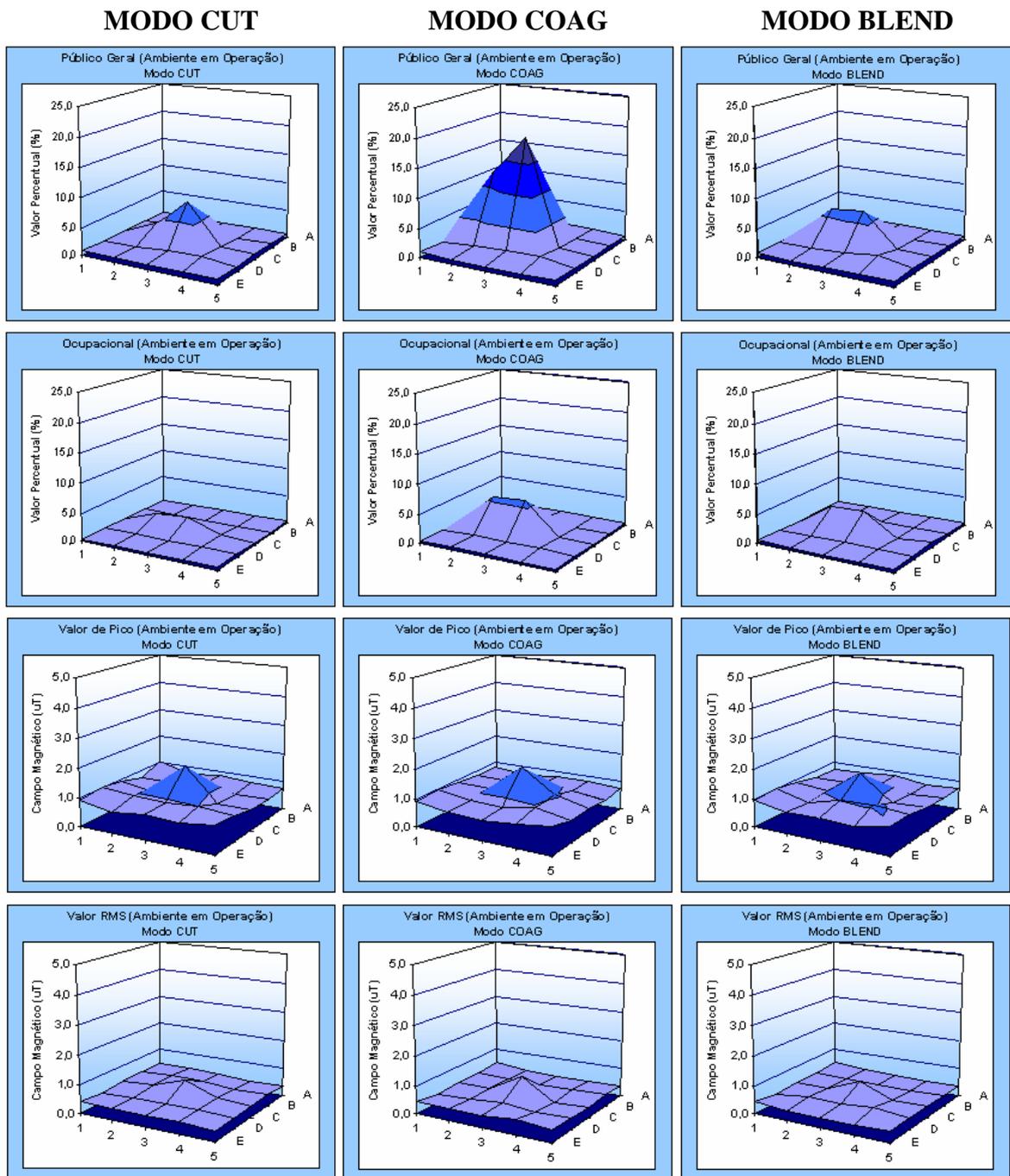


Figura C-12: Mapeamento de Campo Magnético (Por Modo de Operação da UEC)

C.3 ENSAIO DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

C.3.1 Documentação do Ambiente Avaliado

No dia 07 de abril de 2006 foi realizado o ensaio de EMC nas dependências do Hospital Universitário / UFSC, localizado no Campus Universitário, Trindade, Florianópolis. O ambiente investigado foi a sala número 3 do centro cirúrgico, com dimensões de 5,20m de largura por 5,40m de comprimento. Tal geometria constitui a “grade” de avaliação conforme apresenta a Figura C-13.

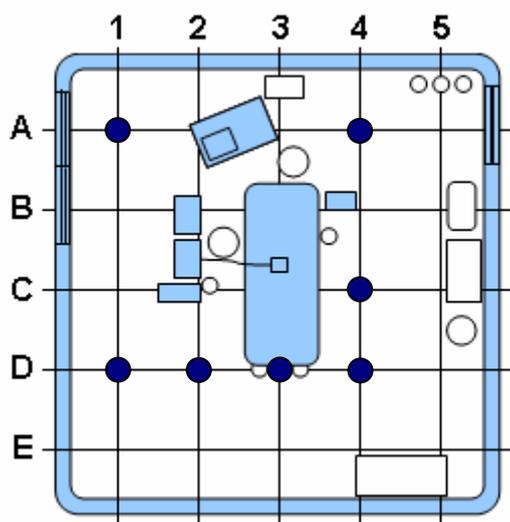


Figura C-13: Ambiente Avaliado

Para medição de campo elétrico foram avaliados os pontos A1, A4, C4, D1, D2, D3, D4. Os pontos A2, A3, B1, B2, B3, B4, C1, C2 e C3 não foram medidos em razão da proximidade com os EEM. Os pontos E1, E2, E3, E4, A5, B5, C5, D5 e E5 não foram medidos em função da sua proximidade com as paredes do recinto. Para medição de campo magnético todos os pontos foram avaliados.



Florianópolis 15 de Outubro de 2005

Prezado Prof. Dr. Carlos Alberto Justo da Silva;

Nos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) têm sido diversos os relatos sobre fenômenos de interferência eletromagnética (EMI) nos quais os equipamentos eletromédicos são vítimas durante sua rotina de trabalho. Tendo em vista que a EMI nestes casos acaba por alterar não apenas a funcionalidade de um equipamento, mas possivelmente, toda uma metodologia de tratamento ou diagnose, a ocorrência destes fenômenos pode, por exemplo, submeter os pacientes a uma condição de risco crítica, que é maior do que a já estabelecida pela sua situação clínica.

Incentivados em minimizar esta realidade, viemos por meio desta, **solicitar a autorização para realização de uma pesquisa** a ser implementada **nas dependências do Hospital Universitário**.

A proposta que se segue, vem no sentido de realizar o levantamento do comportamento eletromagnético do ambiente no EAS, para que a partir deste diagnóstico, seja possível uma abordagem mais incisiva no combate aos fenômenos de EMI que os equipamentos têm sido vítimas. Trata-se da realização de medições *in locu* do comportamento eletromagnético em ambientes que apresentam grande inserção tecnológica, como por exemplo, os centros cirúrgicos e unidades de tratamento intensivo. A partir de uma análise detalhada destas medições é possível executar a tomada de ações mais eficientes no combate à EMI. A maior efetividade das ações definidas por este processo, deve-se principalmente ao seu direcionamento ao quadro específico apresentado pelo estabelecimento em questão. Como resultados, ficam subsidiadas informações para a adoção de políticas de gestão tecnológica mais adequadas, que por sua vez, proporcionam uma maior segurança e confiabilidade na operação dos equipamentos médicos.

Em uma analogia com a área médica, pode-se dizer que os fenômenos de EMI que vêm sendo apresentados pelos equipamentos médicos são sintomas de uma enfermidade na qual, a partir de exames complementares, pretende-se formular um diagnóstico que permita identificar o tratamento adequado para a solução desse problema em específico, e direcioná-lo à situação de cada paciente.

Para maiores esclarecimentos, estamos à sua disposição para agendar uma reunião.

Atenciosamente,

Wilson Valente Junior, EE
valente@gemco.ufsc.br
(Pesquisador Principal)

Prof. Adroaldo Raizer, Dr., EE
raizer@eel.ufsc.br
(Orientador de Pesquisa)



Formulário de Documentação de Ensaio

Identificação							
Nome do EAS: Hospital Universitário							
Endereço: Campus Universitário - UFSC / Trindade / Florianópolis							
Diretor(a): Ana Maria N.F. Samm (vice diretora)			Contato: Jean Claudi S. Domingos				
Área Avaliada: Centro Cirúrgico (sala 3)			Divisão: Eng. Clínica				
Dimensões: 5,20m x 5,40m		Nº de Pontos: 25		Fone: 3331-9291			
Tipo de Ensaio: Emissão Radiada / Conduzida			Email: jeancsdomingos@yahoo.com.br				
Data de Ensaio: 7/4/2006		Período: <input checked="" type="checkbox"/> Matutino <input checked="" type="checkbox"/> Vespertino <input type="checkbox"/> Noturno					
Equipe Técnica							
	Nome Completo / Titulação	Instituição	Função	Suporte Técnico	Simulação	Medição	Apoio
1	Wilson Valente Junior, EE	UFSC	Pesquisador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Felipe Nyland, EE	UFSC	Pesquisador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Felipe Cassias	UFSC	Técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Eliana Leoni Souza	HU	Enfermeira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Jean Claudi S. Domingos, Msc. EE	HU	Eng. Clínico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Jairo Carvalho Luíz	HU	Eng Clínico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipamentos de Medição							
	Equipamento	Fabricante		Sensor	Fabricante		
1	Analisador Espectro FSH-3	Rohde & Schwartz	1	HK 116	Rohde & Schwartz		
2	Medidor de Campo ELT - 400	Narda	2	HL 223	Rohde & Schwartz		
3			3	HL 040	Rohde & Schwartz		
4			4	EZ-17	Rohde & Schwartz		
Equipamentos sob Teste (EEM em Simulação)							
	Tipo	Modelo	Fabricante	Nº de Série			
1	Unidade eletrocirúrgica (UEC)	B - 3600A	Deltronix	116			
2	Monitor multi-parâmetros	DX 2010	Dixtal	030W04537			
3	Medidor de Pressão	DX 2710	Dixtal	93750625			
4	Foco cirúrgico	Blueline	Hanalux	AR001132			
5	Carro de Anestesia (Ventilador Pulmonar)	Fuji Maximus	K.Takaoca	2521 (753)			
6	Bomba de Infusão	S-680	Samtronic	8442			
Parâmetros de Medição							
Campo Elétrico				Campo Magnético			
Nº de Pontos (Avaliados/Total): 7 / 25				Nº de Pontos (Avaliados/Total) 25 / 25			
Identificação dos Pontos Avaliados: A1 / A4 C4 / D1 / D2 / D3 / D4				Identificação dos Pontos Avaliados: Todos			
Situação do Ambiente Medido: <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação				Situação do Ambiente Medido <input checked="" type="checkbox"/> em repouso <input checked="" type="checkbox"/> em operação			
Faixa de Frequencia Avaliada: 30 MHz - 3 GHz				Faixa de Frequencia Avaliada 1Hz - 400 kHz			
Unidade de Medida: dB μ V/m				Unidade de Medida: μ T			
Posição dos Sensores: Polar. H e V/ diretividade em 360°				Posição dos Sensores: isotrópico			
Cobertura das Normas							
IEC 60601-1-2 <input checked="" type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma				obs:			
ICNIRP (1998) <input type="checkbox"/> Total <input checked="" type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Nenhuma				obs: o limite da norma estende-se até 100 GHz			
Responsável Técnico							
Eng. Wilson Valente Junior valente@gemco.ufsc.br				Data			
Grupo de Engenharia em Compatibilidade Eletromagnética Fone: +55 (48) 3317557, Fax: +55 (48) 3319880 Caixa Postal: 476 CEP: 88040-900 Florianópolis - SC, Campus Universitário / UFSC - Trindade							

C.3.4 Documentação de Equipamentos

Equipamentos Eletromédicos Utilizados no Ensaio (HU)				
Identificação	Tipo	Modelo	Fabricante	No de Série
	Unidade Eletrocirúrgica de Alta Frequência (UEC)	B - 3600A	Deltronix	116
	Monitor Multiparametros	DX 2010	Dixtal	030W04537
	Medidor de Pressão não Invasivo	DX 2710	Dixtal	93750625
	Carro de Anestesia	Fuji Maximus	K.Takaoca	2521
	Ventilador Pulmonar	Fuji Maximus	K.Takaoca	753
	Bomba de Infusão	680	Samtronic	8442
	Foco Cirúrgico	BlueLine	Hanalux	AR001132

Tabela C-11: Equipamentos Utilizados no Ensaio do HU

C.3.5 Resultados Adicionais para Medições de Campo Elétrico

Os valores mais significativos para medição de campo elétrico durante o repouso são identificados pela Tabela C-12.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Repouso)				
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Serviço	Identificação
104,11	0,16	54,9	TV - VHF	Canal 2 (Cultura)
129,40	2,95	67,4	TV - VHF	Canal 4 (SBT)
110,40	0,33	71,9	Radioastronomia	
123,56	1,51	83,3	TV - VHF	Canal 6 (Record)
108,32	0,26	89,1	Rádio FM	Amiga
117,45	0,75	93,7	Rádio FM	Itapema
117,40	0,74	96,1	Rádio FM	Band
126,75	2,18	96,9	Rádio FM	Novo Tempo
121,90	1,24	100,9	Rádio FM	Atlântida
106,32	0,21	146,0	Rádio Amador	
123,48	1,49	188,0	TV - VHF	Canal 9 (Barriga verde)
103,47	0,15	192,0	TV - VHF	Canal 10
122,28	1,30	204,0	TV - VHF	Canal 12 (RBS)
104,27	0,16	508,0	TV-UHF	Canal 20
107,03	0,22	603,3	TV - UHF	Canal 36
102,57	0,13	874,7	Telefonia Celular	Banda A
102,50	0,13	882,0	Telefonia Celular	Banda B
105,09	0,18	955,3	Serviço de Comunicação	
108,15	0,26	1810,0	Telefonia Celular	Banda C
102,51	0,13	1827,0	Telefonia Celular	Banda C
103,88	0,16	1838,0	Telefonia Celular	Banda C

Tabela C-12: Valores Significativos para Ambiente em Repouso

Os valores mais significativos para o ambiente em operação, que representam intensidade de campo elétrico acima de 3 V/m (129,54 dB μ V/m), são apresentados pela Tabela C-13.

Identificação dos Resultados Significativos (Ambiente em Operação)			
Campo Elétrico (dB μ V/m)	Campo Elétrico (V/m)	Frequência (MHz)	Faixa de Serviço
131,74	3,86	67,4	TV - VHF (Canal 4 - SBT) + Ruído EEM
132,45	4,19	204	TV - VHF (Canal 12 - RBS) + Ruído EEM

Tabela C-13: Valores Acima de 3 V/m para Ambiente em Operação

O mapeamento espacial do ambiente investigado pode ser obtido pela avaliação dos espectros medidos em cada um dos pontos válidos definidos na “grade”. Os espectros em frequência para cada um destes pontos são apresentados nas figuras C-14, C-15 e C-16.

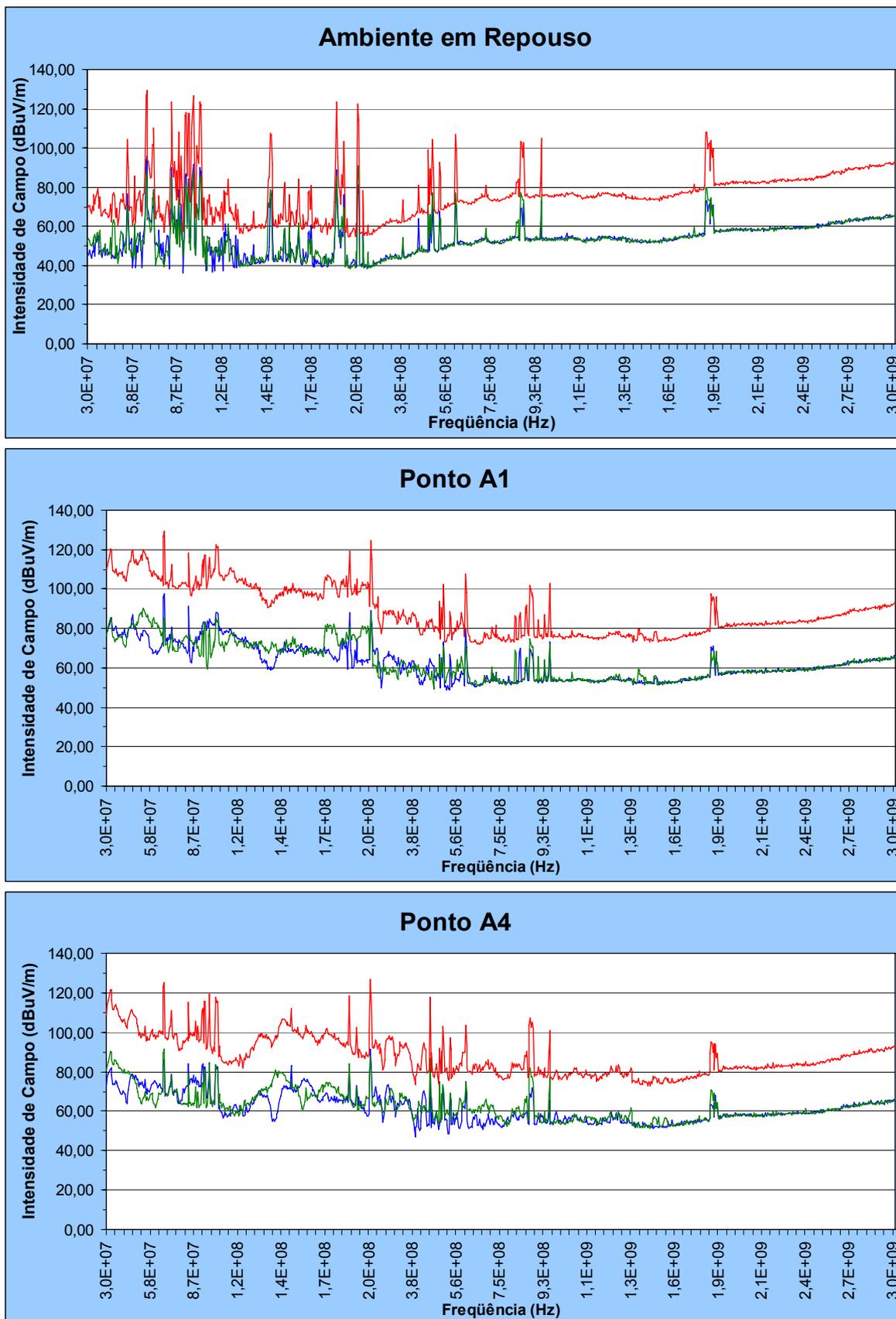


Figura C-14: Espectro de Frequências Medido (Ambiente em Repouso, Ponto A1 e Ponto A4).

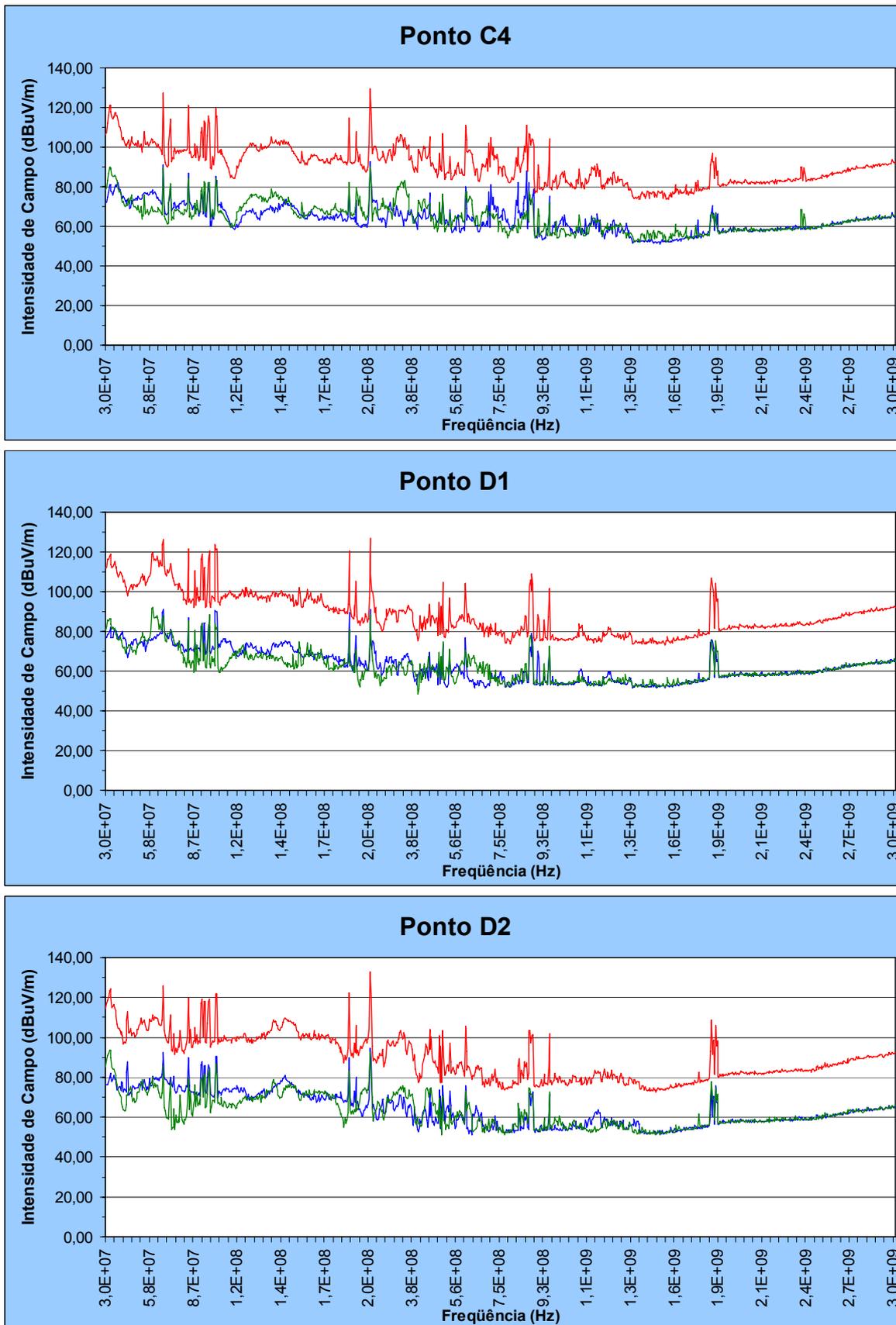


Figura C-15 Espectro de Frequências Medido (Ponto C4, Ponto D1 e Ponto D2).

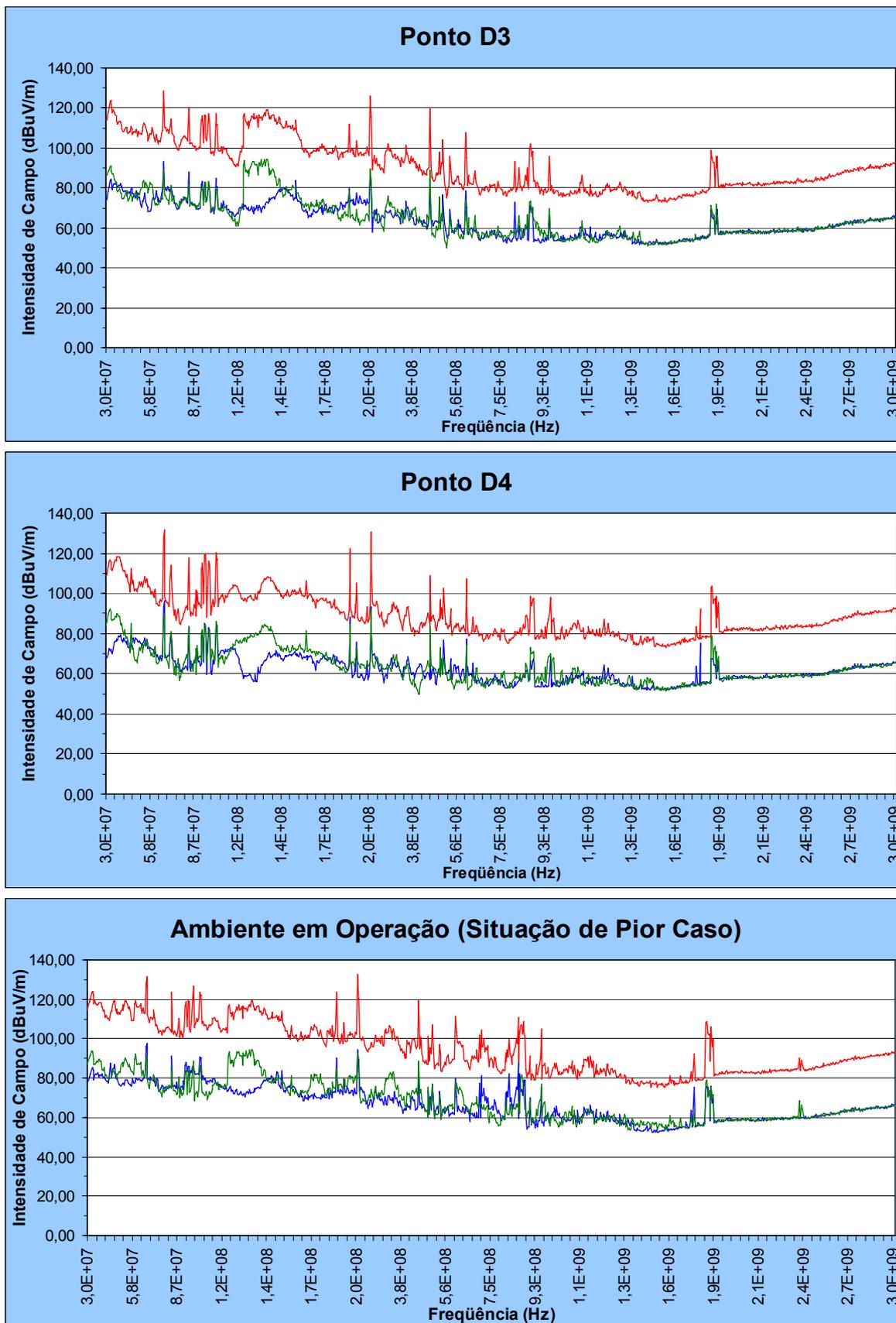


Figura C-16: Espectro de Frequências Medido (Ponto D3, Ponto D4 e Situação de Pior Caso).

C.3.6 Resultados Adicionais para Medições de Campo Magnético

Medição de Campo Magnético em Ambientes													
Local:	Hospital Universitário					Equipamento:	ELT-400 Narda						
Data:	07 de Abril de 2006					Responsável:	Eng. Wilson Valente Junior						
Ambiente em Repouso													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,640	0,640	0,722	0,685	0,663		A	0,334	0,345	0,341	0,345	0,334	
B	0,691	0,767	0,743	0,680	0,717		B	0,334	0,365	0,345	0,323	0,345	
C	1,032	1,205	0,727	0,727	0,701		C	0,414	0,449	0,334	0,334	0,323	
D	0,800	0,828	0,727	0,701	0,657		D	0,396	0,356	0,346	0,376	0,345	
E	0,819	0,696	0,707	0,707	0,685		E	0,366	0,334	0,345	0,343	0,345	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,719	0,714	0,732	0,706	0,619		A	0,379	0,384	0,360	0,327	0,348	
B	0,735	0,859	0,833	0,833	0,828		B	0,441	0,498	0,371	0,382	0,386	
C	1,271	1,505	0,789	0,777	0,688		C	0,543	0,701	0,380	0,346	0,330	
D	0,900	0,886	0,807	0,648	0,815		D	0,423	0,444	0,369	0,392	0,443	
E	0,962	0,768	0,723	0,687	0,684		E	0,447	0,418	0,391	0,470	0,492	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (Pior caso)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,817	0,843	0,969	0,796	0,801		A	0,345	0,346	0,376	0,356	0,345	
B	0,867	2,172	1,050	0,827	0,785		B	0,405	0,674	0,926	0,349	0,356	
C	1,406	2,125	6,179	0,807	0,793		C	0,598	0,685	2,002	0,356	0,348	
D	1,136	0,912	0,932	0,812	0,769		D	0,396	0,345	0,434	0,356	0,345	
E	0,989	0,848	0,780	0,807	0,769		E	0,396	0,356	0,366	0,346	0,345	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μ T)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,797	0,851	0,748	0,984	0,780		A	0,485	0,501	0,498	0,531	0,489	
B	1,051	1,360	0,971	0,856	0,782		B	0,398	0,706	0,464	0,458	0,427	
C	1,409	1,883	1,925	1,115	0,864		C	0,655	1,019	0,759	0,507	0,411	
D	0,890	0,868	0,856	0,925	0,893		D	0,439	0,522	0,493	0,486	0,385	
E	0,889	0,795	0,737	0,747	0,892		E	0,458	0,385	0,470	0,461	0,383	
F							F						
G							G						

Tabela C-14: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Repouso e Pior Caso)

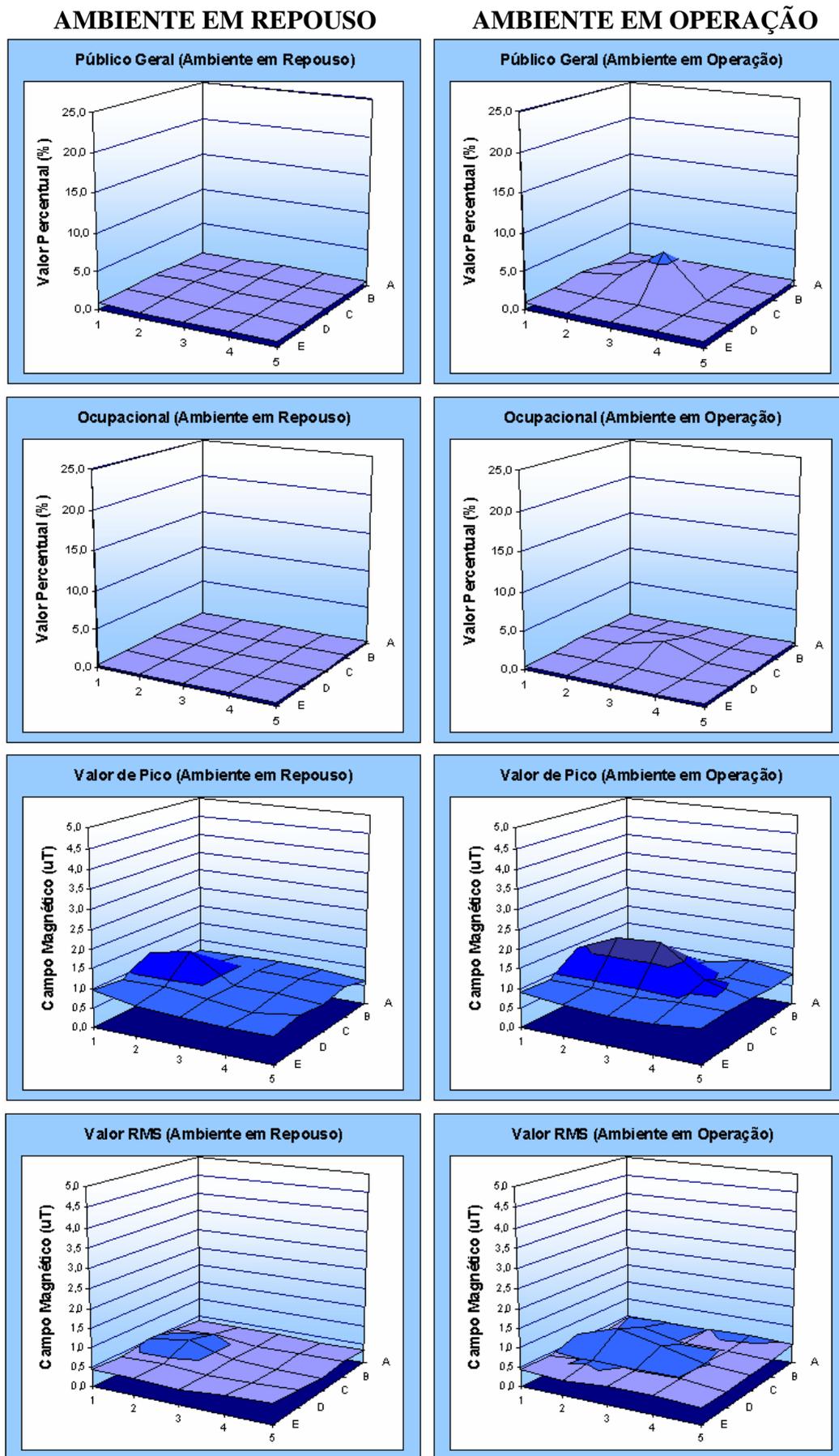


Figura C-17: Mapeamento de Campo Magnético (Repouso x Pior Caso)

Ambiente em Operação (modo CUT)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,780	0,796	0,740	0,796	0,752		A	0,345	0,346	0,345	0,334	0,345	
B	0,789	2,145	0,986	0,827	0,785		B	0,345	0,646	0,405	0,323	0,334	
C	1,392	2,125	6,179	0,796	0,793		C	0,449	0,685	2,002	0,345	0,348	
D	0,759	0,785	0,932	0,746	0,757		D	0,386	0,344	0,434	0,349	0,345	
E	0,950	0,780	0,780	0,780	0,769		E	0,345	0,334	0,356	0,346	0,334	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,681	0,719	0,643	0,818	0,780		A	0,372	0,389	0,321	0,408	0,351	
B	0,831	1,156	0,782	0,742	0,782		B	0,344	0,482	0,380	0,458	0,427	
C	1,409	1,797	1,925	0,779	0,759		C	0,655	0,475	0,759	0,483	0,343	
D	0,879	0,811	0,713	0,925	0,832		D	0,381	0,387	0,448	0,486	0,323	
E	0,889	0,795	0,672	0,731	0,586		E	0,418	0,370	0,398	0,461	0,313	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (modo COAG)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,807	0,843	0,817	0,774	0,757		A	0,323	0,345	0,345	0,334	0,345	
B	0,836	1,977	0,989	0,791	0,757		B	0,405	0,628	0,414	0,345	0,356	
C	1,406	1,800	2,689	0,807	0,791		C	0,598	0,685	0,919	0,354	0,334	
D	1,136	0,852	0,774	0,812	0,769		D	0,396	0,345	0,356	0,344	0,323	
E	0,989	0,848	0,774	0,807	0,752		E	0,396	0,356	0,334	0,339	0,334	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,708	0,851	0,732	0,984	0,601		A	0,485	0,480	0,498	0,329	0,365	
B	0,786	1,360	0,971	0,856	0,767		B	0,398	0,580	0,464	0,344	0,416	
C	0,149	1,883	1,916	1,115	0,864		C	0,548	1,019	0,520	0,507	0,359	
D	0,890	0,704	0,856	0,823	0,847		D	0,439	0,522	0,493	0,390	0,375	
E	0,871	0,763	0,700	0,747	0,767		E	0,458	0,385	0,470	0,374	0,383	
F							F						
G							G						
Ambiente em Operação (modo BLEND)													
Valor Percentual ICNIRP 1998													
Pub. Geral						Ocupacional							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,817	0,801	0,969	0,780	0,801		A	0,345	0,345	0,376	0,356	0,323	
B	0,867	2,172	1,050	0,746	0,78		B	0,345	0,674	0,926	0,349	0,345	
C	1,171	1,95	5,73	0,796	0,757		C	0,488	0,553	0,123	0,356	0,323	
D	1,053	0,912	0,932	0,785	0,756		D	0,386	0,345	0,366	0,356	0,334	
E	0,946	0,848	0,757	0,752	0,758		E	0,366	0,334	0,366	0,334	0,345	
F							F						
G							G						
Valor de Campo Magnético (μT)													
Pico						RMS							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0,797	0,78	0,748	0,843	0,67		A	0,382	0,501	0,435	0,531	0,489	
B	1,051	1,113	0,869	0,75	0,764		B	0,393	0,706	0,348	0,41	0,383	
C	1,341	1,382	0,888	0,868	0,714		C	0,566	0,941	0,573	0,507	0,411	
D	0,835	0,868	0,785	0,683	0,893		D	0,403	0,471	0,44	0,349	0,385	
E	0,876	0,756	0,737	0,648	0,892		E	0,374	0,352	0,331	0,364	0,342	
F							F						
G							G						

Tabela C-15: Tabela de Resultados para Medições de Campo Magnético (Por Modo de Operação)

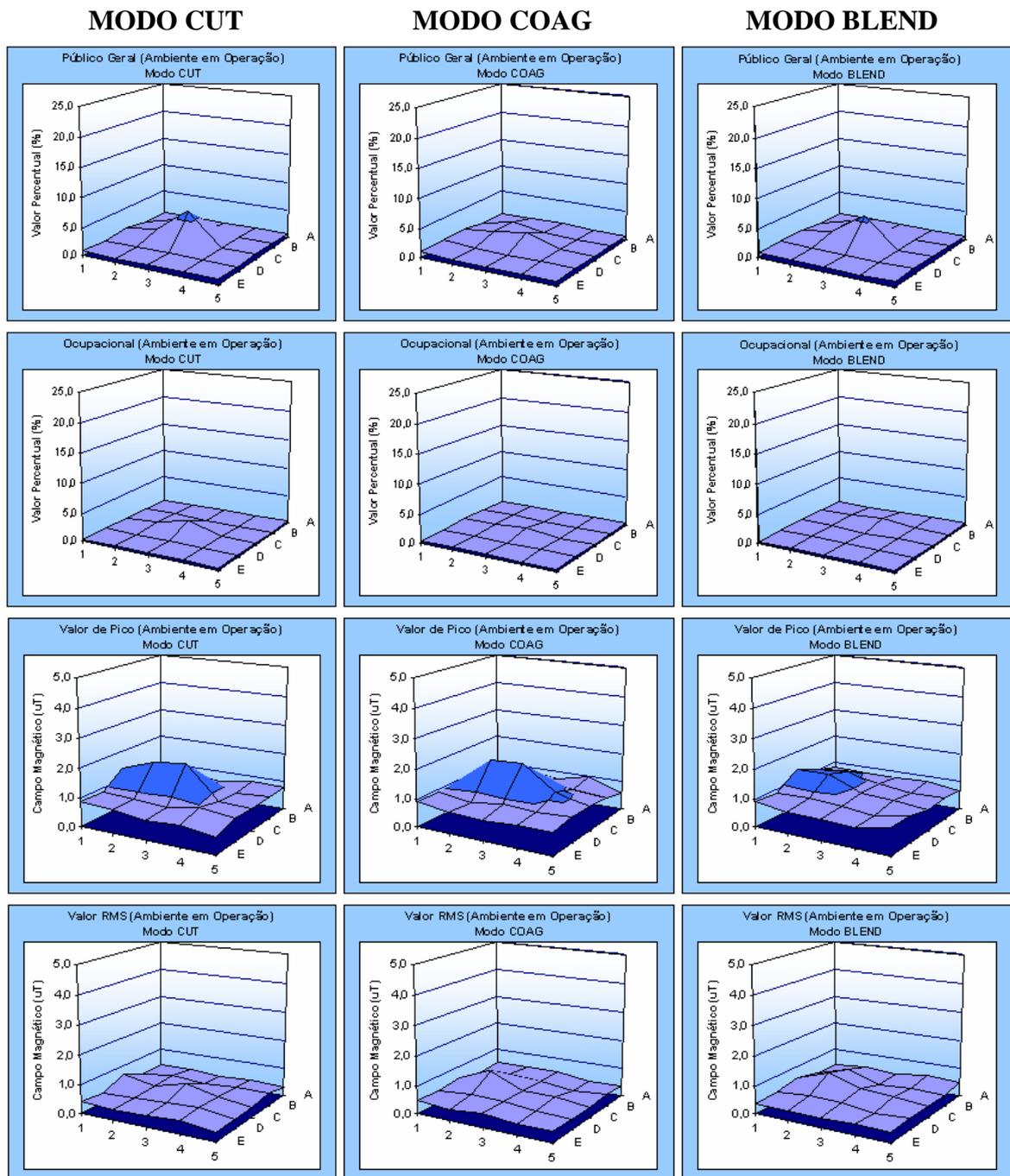


Figura C-18: Mapeamento de Campo Magnético (Por Modo de Operação da UEC)