

ALBERTO LUÍS KRAWCZYK

ESTUDO DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS
PRESENTES EM EMISSORAS DE RADIOSIFUSÃO

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Setor de Tecnologia
Universidade Federal do Paraná
Orientador: Prof. René Robert

CURITIBA

2006

AGRADECIMENTOS

Ao Coronel Robson Scardua pela paciência desde a época da graduação quando co-orientou meu projeto de final de curso e por ter aberto as portas para a utilização das instalações das emissoras de rádio para as medidas em campo.

Ao professor René Robert pela orientação e incentivo nesta área de estudo, que ainda é pouco valorizada no Brasil.

Especialmente ao professor Horácio Tertuliano por todo o incentivo e apoio durante o final da graduação e no período de mestrado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS	xi
GLOSSÁRIO	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 RESUMO HISTÓRICO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2 EFEITOS BIOLÓGICOS E NORMAS INTERNACIONAIS	4
2.1 EFEITOS BIOLÓGICOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	4
2.1.1 Acoplamento de campos eletromagnéticos	4
2.1.1.1 Acoplamentos de campos elétricos de baixa frequência	4
2.1.1.2 Acoplamentos de campos magnéticos de baixa frequência	4
2.1.1.3 Absorção de energia dos campos eletromagnéticos	4
2.1.1.4 Efeitos indiretos	5
2.1.2 Efeitos biológicos entre DC e 100 kHz	5
2.1.2.1 Choque elétrico	5
2.1.2.2 Inibição da onda T	6
2.1.2.3 Fosfenos elétricos e magnéticos	7
2.1.2.4 Influência nas trocas de íons em membranas celulares	7
2.1.2.5 Dor de cabeça, Excitabilidade, Fadiga, Náusea	8
2.1.3 Efeitos Biológicos de 100 kHz à 300 GHz	8
2.1.4 Efeitos biológicos comprovados da absorção de campos eletromagnéticos	9
2.1.4.1 Queimaduras	9
2.1.4.2 Catarata	9
2.1.4.3 Aumento de permeabilidade da barreira hemato-encefálica	9
2.1.4.4 Efeitos termo-elásticos sobre o ouvido interno	10

2.1.4.5 Efeitos térmicos	10
2.1.5 Efeitos controversos	11
2.1.5.1 Neoplasias	11
2.2 NORMAS INTERNACIONAIS	12
2.2.1 Estudo das normas internacionais	13
2.2.1.1 Normas ocidentais	13
2.2.1.2 Normas russas	14
2.2.1.3 Limites baseados no Princípio da Precaução	15
2.2.2 Níveis de Campos eletromagnéticos	17
3 MEDIÇÕES DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO	18
3.1 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO EMPREGADAS	18
3.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	19
3.3 ANÁLISE DO TERRENO DA LÚMEN	21
3.4 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA EXTERNA	23
3.4.1 Seleção de pontos na área externa	23
3.4.2 Definição dos pontos de medição na área interna	25
3.5 METODOLOGIA DAS MEDIÇÕES	27
3.5.1 Equipamentos utilizados	27
3.5.2 Realização das medições	28
4 RESULTADOS	30
4.1 MEDIDAS INTERNAS	30
4.2 MEDIDAS EXTERNAS	31
4.3 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS FONTES	37
5 ANÁLISE DOS DADOS	39
5.1 ANÁLISE DOS CAMPOS MEDIDOS INTERNAMENTE	39
5.2 ANÁLISE DOS CAMPOS MEDIDOS EXTERNOS	42
5.3 ANÁLISE DOS DADOS DO ESPECTRO	44
5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO	44
5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA	45
6 CONCLUSÃO	50
7 TRABALHOS FUTUROS	51
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS EMISSORAS EM ESTUDO	52
CENTRO DE COMUNICAÇÃO LÚMEN	52
EMISSORAS DE RÁDIO FM	54

EMISSORAS DE TV	58
ANEXO B – LIMITES INTERNACIONAIS DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO	62
ANEXO C - DOSIMETRIA DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	65
FUNDAMENTOS	65
QUANTIDADES E UNIDADES	67
MÉTRICAS DE EXPOSIÇÃO	69
MODELOS DE CÁLCULO DO SAR, DOSIMETRIA TEÓRICA	71
DOSIMETRIA EXPERIMENTAL	72
ANEXO D – TÉCNICAS DE MEDIDAS E CÁLCULO DE INCERTEZAS	74
ANEXO E – RESULTADO DAS MEDIÇÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mapa da região do bairro do Pilarzinho com as emissoras em estudo	20
Figura 3.2 - Foto da região do bairro do Pilarzinho com as emissoras em estudo	20
Figura 3.3 – Croqui do Centro de Comunicações Lúmen	22
Figura 3.4 – Vista do portão de entrada do CCL	22
Figura 3.5 – Detalhe do terreno e localização dos pontos de medição da primeira série de medidas	24
Figura 3.6 – Detalhe do terreno e localização dos pontos de medição da segunda série de medidas	25
Figura 3.7 – Croqui do edifício principal	26
Figura 4.1 – Medida interna do ponto 10	30
Figura 4.2 Medidas internas de campo eletromagnético, primeira série	31
Figura 4.3 Medidas internas de campo eletromagnético, segunda série	31
Figura 4.4 – Medida do ponto N	32
Figura 4.5 – Medida do ponto B, caso especial de medida	32
Figura 4.6 – Medidas externas de campo elétrico, primeira série de medidas	33
Figura 4.7 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 1	33
Figura 4.8 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 2	34
Figura 4.9 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 3	34
Figura 4.10 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4	35
Figura 4.11 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4. Torre 1 e Torre 2	35
Figura 4.12 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série, distribuição espacial dos campos no 2 da seqüência 4	36
Figura 4.13 – Contribuições das emissoras para o campo total, AVCOM PSA-37D	37

Figura 4.14 – Contribuições das emissoras para o campo total, HP 8558B	38
Figura 4.15 – Contribuições das emissoras para o campo total, Agilent E7402A	38
Figura 5.1 – Resultados para a primeira série interna de medições	40
Figura 5.2 – Resultados para a segunda série interna de medições	41
Figura 5.3 – Densidades de potência típicas próximas a torres de FM	42
Figura 5.4 – Resultados para a primeira série externa de medições	43
Figura 5.5 – Resultados para a segunda série externa de medições	43
Figura 5.6 – Riscos presentes dentro do edifício de transmissores	46
Figura 5.7 – Terreno do Centro de Comunicação Lúmen separado em áreas de risco	47
Figura 5.8 – Placas de sinalização para radiação de RF	48
Figura A1 – Discriminação dos conjuntos irradiantes do grupo principal	53
Figura C1 – Diagrama de exposição, corresponde aos limiares de vários efeitos e riscos expressos em função do tempo	67
Figura D1 – Organograma de avaliação de campos eletromagnéticos	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Reações fisiológicas manifestadas pelo choque elétrico	6
Tabela 2.2 Limiares de corrente elétrica	6
Tabela 2.3 Principais efeitos sobre tecidos e células	7
Tabela 2.4 – Absorção da energia eletromagnética em função da frequência	9
Tabela 3.1 Lista das emissoras situadas do Centro de Comunicação Lúmen	21
Tabela 3.2 – Pontos de Medição, classificação ocupacional e uso. Externo	24
Tabela A1 – Emissoras localizadas no Centro de Comunicação Lúmen	52
Tabela B1 - Comparação entre os limites derivados; Campo Elétrico	62
Tabela B2 - Comparação entre os limites derivados; Campo Magnético	63
Tabela B3 - Comparação entre os limites derivados; Densidade de Potência	64
Tabela C1 – Parâmetros dielétricos aproximados para tecidos musculares	70
Tabela C2 – Quantidades dosimétricas	71
Tabela C3 – Quantidades elétricas, magnéticas, eletromagnéticas e dosimétricas correspondente as unidades no Sistema Internacional	71
Tabela D.1 – Orçamento preliminar de incertezas consideradas nas medidas de campo elétrico com o medidor EMC-20 com sonda Narda Tipo 8-2	78
Tabela D.2 – Orçamento preliminar de incertezas consideradas nas medidas de campo elétrico com os medidores de espectro	79
Tabela E.1 – Medidas internas de campo eletromagnético, primeira série	80
Tabela E.2 – Medidas internas de campo eletromagnético, segunda série	80
Tabela E.3 – Medidas externas de campo elétrico, primeira série de medidas	81
Tabela E.4 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 1	81
Tabela E.5 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 2	81
Tabela E.6 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 3	82
Tabela E.7 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4	82
Tabela E.8 – Medidas de campo elétrico na torre 1	82
Tabela E.9 – Medidas de campo elétrico na torre 2	82

Tabela E.10 – Medidas externas de campo elétrico. Variação Espacial	83
Tabela E.11 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto S1, Analisador AVCOM PSA 37D	83
Tabela E.12 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto N, Analisador HP 8558B	84
Tabela E.13 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto 9 V, Analisador Agilent E7402A	85

LISTA DE SIGLAS

- ANSI – *American National Standards Institute* - Instituto Nacional Americano de Padronização
- CENELEC - *European Committee for Electrotechnical Standardization* – Comitê Europeu para Padronização Eletrotécnica.
- ELF – *Extra Low Frequencies* – Freqüências Extra Baixas, compreendidas entre 3 mHz a 3 kHz, compreende as freqüências de uso industrial para distribuição de energia elétrica.
- GOST – Agência Federal para Regulamentos Técnicos e Metrologia. Órgão normalizador russo.
- IARC – *International Agency for Research on Cancer* – Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer.
- ICNIRP – *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* – Organização internacional responsável pela publicação e desenvolvimento das normas de proteção contra radiações não ionizantes adotadas pela maioria dos países da Europa e também base das normas da Anatel.
- IEC – *International Electrotechnical Commission* – Comissão Internacional Eletrotécnica
- IEEE – *The Institute of Electrical and Electronic Engineers* – Organização internacional, sediada nos EUA que congrega profissionais de diversas áreas associadas à engenharia elétrica. É responsável por diversas normas do setor eletro-eletrônico.
- NIST – [*National Institute of Standards and Technology*](#) – [Órgão normalizador norte-americano.](#)
- NRCP – *National Council on Radiation Protection and Measurements* – Conselho nacional britânico para proteção contra radiações.
- RMS – Raiz média quadrática.
- SanPiN – Normas e Regulamentos Sanitários. Conjuntos de normas publicadas pelo Ministério da Saúde russo.

UHF – *Ultra High Frequencies* - Freqüências Ultra Altas, compreendidas entre 300 MHz e 3 GHz, compreende os serviços e TV UHF e telefonia celular.

VDE - *Verband Der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik eV* – Órgão normalizador alemão.

VHF – *Very High Frequencies* – Freqüências Muito Altas, compreendidas entre 30 MHz e 300 MHz, compreende os serviços de rádio FM e TV canais 2 a 13.

WHO – *World Health Organization* – Organização Mundial de Saúde.

GLOSSÁRIO

Homeostase – É a propriedade de um sistema aberto, seres vivos especialmente, de regular o seu ambiente interno de modo a manter uma condição estável, mediante múltiplos ajustes de equilíbrio dinâmico controlados por mecanismos de regulação inter-relacionados.

Desvanecimento Rápido – É caracterizado pela variação rápida e abrupta do campo em um pequeno espaço. Este fenômeno é devido à presença de reflexões múltiplas em ambientes com muitas frequências próximas e é composto da soma vetorial das frequências envolvidas.

Calibração – Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

Rastreabilidade – Propriedade do resultado de uma medição estar relacionado a referências estabelecidas, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

Exatidão – Aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

Repetitividade – Aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição.

Incerteza de medição – Parâmetro associado ao resultado de medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

Fantoma – Objeto artificial que visa reproduzir algum órgão, tecido ou organismo vivo.

In vitro – Experimento realizado dentro de um ambiente controlado fora do organismo vivo.

In vivo – Experimento realizado dentro do organismo vivo.

Limites derivados – São os limites de campos eletromagnéticos que são calculados a partir dos limites dosimétricos.

Potência ERP – Potência efetivamente irradiada, é a potência final descontadas as perdas do circuito e o ganho final da antena.

Hipótese falsificável – Segundo Popper, há uma condição fundamental para que qualquer hipótese tenha o estatuto de teoria científica ou lei científica, essa hipótese tem de ser *falsificável*. Uma hipótese é falsificada se existe um enunciado observável ou um conjunto de enunciados logicamente possíveis que sejam incompatíveis com ela, isto é, que em caso de serem estabelecidos como verdadeiros, falsificariam a hipótese.

RESUMO

Este trabalho trata do problema das medições de campo eletromagnético em emissoras de Radiodifusão. Este problema tem sido pouco explorado apesar da sua importância em relação aos níveis altos de potência alcançados. São estudadas as normas e técnicas concernentes aos campos eletromagnéticos e a forma de avaliar corretamente os níveis de campo medidos considerando o cálculo de incertezas como componente fundamental na análise dos resultados das medições.

ABSTRACT

This work deals with the problem of the measurements of electromagnetic field in Broadcasting Stations. This problem has been under explored although its importance in relation to the high levels of power reached. The norms and techniques concerned to the electromagnetic fields are studied and the correct form to evaluate the measured levels of electromagnetic field, considering the uncertainty calculus with a fundamental component in the analysis of measurements results.

1 INTRODUÇÃO

Os riscos biológicos decorrentes da exposição aos campos eletromagnéticos têm sido debatidos durante dos últimos 60 anos. Normalmente as opiniões declaradas sobre o assunto não são embasadas em um estudo detalhado de cada caso. Isto pode causar uma série de problemas já que opiniões precipitadas podem expor pessoas a riscos de saúde desnecessários ou pode afetar a qualidade de serviços de telecomunicações, que são essenciais às pessoas.

Este trabalho se propõe a estudar o problema da medida de campos eletromagnéticos avaliando a intensidade dos campos presentes em um ambiente com a presença de diversas emissoras de radiodifusão operando conjuntamente. Com isso pretende-se avaliar os níveis presentes, a sua conformidade com normas internacionalmente aceitas e recomendar medidas de proteção adequada, quando necessário. Com isso espera-se que pessoas envolvidas no trabalho sujeitas à presença de campos eletromagnéticos não sejam expostas a campos excessivos. São também avaliados os processos de medição incluído o cálculo de incertezas de medições e o efeito dessa consideração sobre as medições.

1.1 RESUMO HISTÓRICO

O problema dos efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos com relação ao ser humano foi estudado pela primeira vez com os trabalhos de D'Arsonval (1850) para os efeitos de acoplamento indireto e Gosset (1924) para os campos irradiados. Durante a Segunda Guerra Mundial o conhecimento dos efeitos adversos dos campos eletromagnéticos tornou-se publicamente conhecido devido a acidentes ocorridos com soldados que trabalhavam próximos a campos intensos na faixa de UHF. Durante essa época começaram a surgir os primeiros esforços para limitar a exposição das pessoas aos efeitos adversos relacionados a campos extremos [1].

A limitação dos campos eletromagnéticos relacionados aos sistemas de radiodifusão caminhou paralelamente aos estudos sobre os campos. No entanto as legislações de caráter obrigatório de limitação foram estabelecidas apenas em 1997 pelo *Federal Communications Commission* (FCC) para os EUA, em 1999 para a Comunidade Européia e 2002 pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) para o Brasil [2], [3] e [4]. Anteriormente existiam apenas recomendações de

aplicação restrita (alguns órgãos governamentais e empresas adotavam estas recomendações).

O problema da exposição a campos eletromagnéticos intensos gerados por serviços de radiodifusão ganhou maior publicidade a partir de 1998. Nesta época o ministro italiano do meio ambiente constatou, através de uma série de medidas de campos eletromagnéticos, que o complexo de Santa Maria di Galeria, (pertencente ao Vaticano) excedia os limites de campo das leis Italianas [5]. Em março de 2001 a Agência Sanitária Pública da Regional de Lazio publicou dois estudos controversos sobre leucemia infantil que, no período de 1987 a 1998, encontrou uma incidência duas vezes maior do que a média esperada [6], [7].

Posteriormente as autoridades sanitárias italianas relataram que os resultados deste estudo são estatisticamente insignificantes já que os casos relatados foram apenas 8 em uma população de 60.000 contra 3.7 casos esperados.

No Brasil ainda não houveram controvérsias relacionadas aos serviços de radiodifusão no entanto devido ao desenvolvimento das grandes cidades podemos esperar encontrar campos tão intensos como os das maiores cidades mundiais. As cidades de Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Recife têm os seus canais do serviço de Frequência Modulada e TV-VHF saturados. Além disso, estas cidades caminham rapidamente para a saturação dos canais de TV-UHF, sem considerar os demais serviços de telecomunicações. A importância dos sistemas de radiodifusão se deve aos níveis de potência muito maiores do que dos demais serviços¹.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho pretende fazer uma análise dos campos presentes em um conjunto de emissoras localizadas no terreno pertencente ao Centro de Comunicação Lúmen. A partir da análise do terreno serão escolhidas técnicas de medição e amostragem de pontos. Através de medidas realizadas no local de estudo será feita uma avaliação dos níveis de campo e a contribuição das emissoras do Centro de Comunicação Lúmen e das emissoras vizinhas na composição total dos

¹ A potência máxima para os sistemas de celular é 1 000 W enquanto os serviços de radiodifusão podem chegar a 180 kW na região de Curitiba, segundo os dados da Anatel.

campos medidos. Serão feitas também considerações quanto aos níveis de campo com relação às normas utilizadas no Brasil. Outro aspecto importante a ser considerado neste trabalho é a importância do cálculo de incertezas completo e sua consideração na análise final dos campos encontrados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Em seqüência à introdução, o capítulo 2 apresenta a fundamentação básica dos efeitos biológicos de campos eletromagnéticos e as normas de proteção.

O capítulo 3 trata do ambiente de estudo, das técnicas empregadas para a avaliação dos campos presentes. Os resultados das medições são apresentados no capítulo 4. A análise dos dados coletados é tratada no capítulo 5 e conjunto com as recomendações de segurança. O capítulo 6 encerra o trabalho com as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 EFEITOS BIOLÓGICOS E NORMAS INTERNACIONAIS

2.1 EFEITOS BIOLÓGICOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Durante os últimos 60 anos os campos eletromagnéticos e suas interações com o tecido biológico foram estudados extensivamente [1]. Através destes estudos foi constatado que esta interação com o corpo humano ocorre de formas diferentes. As formas de interação estão intimamente ligadas ao comprimento de onda do campo eletromagnético. Estas formas são: acoplamentos dos campos elétricos de baixa frequência, acoplamentos dos campos magnéticos de baixa frequência, absorção de energia dos campos eletromagnéticos, efeitos indiretos [8].

2.1.1 Acoplamento de campos eletromagnéticos

A forma de acoplamento entre os campos eletromagnéticos e os tecidos do corpo humano é determinante para o aparecimento dos efeitos biológicos, a seguir estão resumidos os principais fenômenos relacionados a cada tipo de acoplamento, mais informações podem ser encontradas nas referências [9], [10].

2.1.1.1 Acoplamentos de campos elétricos de baixa frequência

Os acoplamentos dos campos elétricos de baixa frequência têm como efeitos principais a circulação de cargas elétricas (corrente), a polarização das cargas em dipolos e na reorientação dos dipolos já existentes. A amplitude dos efeitos depende da condutividade e da permissividade de cada tecido do corpo.

2.1.1.2 Acoplamentos de campos magnéticos de baixa frequência

Os acoplamentos dos campos magnéticos de baixa frequência induzem a formação de campos elétricos e na circulação de corrente. As amplitudes são proporcionais ao laço formado dentro do organismo. O caminho (ou laço) depende da condutividade, da taxa de variação da densidade de fluxo magnético.

2.1.1.3 Absorção de energia dos campos eletromagnéticos

A absorção de energia dos campos eletromagnéticos tem como principal característica apresentar efeitos significativos a partir de 100 kHz, com o aumento da frequência existe uma absorção crescente de energia e conseqüentemente um

aumento da temperatura do corpo. Este aumento tem seu máximo situado entre 70 MHz e 100 MHz. Estes valores são correspondentes à frequência de ressonância da cavidade torácica de uma pessoa de estatura média. Acima destes valores a absorção de energia começa a decrescer e afetar apenas as partes superficiais do corpo humano.

Os mecanismos de acoplamento citados se manifestam no corpo humano em diversos efeitos que podem ser melhor compreendidos separando os efeitos por faixas de frequência dos campos eletromagnéticos. As faixas de frequências são divididas entre DC a 100 kHz e 100 kHz a 300 GHz.

2.1.1.4 Efeitos indiretos²

Os efeitos indiretos são resultado do contato físico em objetos ou pessoas que estejam em potenciais elétricos diferentes. O resultado é o fluxo de carga elétrica (choque).

2.1.2 Efeitos biológicos entre DC e 100 kHz

Os efeitos nesta faixa de frequências são em sua maioria devidos a circulação de corrente elétrica no corpo, estes efeitos cessam após ser removida a fonte e dependem da dose do campo recebido.

2.1.2.1 Choque elétrico

O primeiro efeito que pode ser notado nesta faixa de frequência é o choque elétrico, este efeito indireto é o principal causador de acidentes relacionados aos campos eletromagnéticos. O choque é causado tanto com o contato direto como por descargas através do ar desde que o potencial seja suficiente para romper a barreira dielétrica do ar.

O choque afeta principalmente a forma como as células musculares e nervosas se comportam. A tabela 2.1 apresenta em ordem crescente de gravidade as manifestações fisiológicas que o choque manifesta.

² Tem esse nome porque não são causados diretamente pelos campos eletromagnéticos e sim por corrente elétrica e diferenças de potencial devida a presença desses campos.

Tabela 2.1 – Reações fisiológicas manifestadas pelo choque elétrico em ordem crescente de manifestação

<i>Efeitos</i>	
1	Estímulo dos tecidos musculares
2	Estímulo dos tecidos nervosos
3	Contração violenta de tecidos musculares
4	Lesões em tecidos nervosos
5	Queimaduras
6	Fibrilação ventricular cardíaca

Fonte: Anatel [8]

A tabela 2.2 resume os limiares de corrente elétrica para a manifestação dos efeitos biológicos do choque elétrico. Os testes são considerados indicativos para seres humanos masculinos, adultos e com condições cardíacas saudáveis.

Tabela 2.2 Limiares de corrente elétrica

Efeito Indireto	Corrente Limiar (mA)			
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz	1 MHz
Percepção ao toque	0,2 – 0,4	0,4 – 0,8	25 – 40	25 – 40
Dor no dedo em contato	0,9 – 1,8	1,6 – 3,3	33 – 55	28 – 50
Choque doloroso / limiar de contração	8 – 16	12 – 24	112 – 224	Não determinado
Choque grave / dificuldade na respiração	12 – 23	21 – 41	160 - 320	Não determinado

Fonte:Anatel [8]

2.1.2.2 Inibição da onda T

A onda T faz parte do ciclo de estímulos do pulso elétrico que controla os batimentos cardíacos. O ciclo completo é chamado de PQRST. Resumidamente o ciclo elétrico e a forma como se processa pode ser encontrado em [11].

A onda T é importante porque ela corresponde ao final da contração dos ventrículos e a repolarização das células cardíacas para início de um novo ciclo. A corrente gerada pelo choque elétrico afeta principalmente a onda T e desregula a ordem de polarização das células dando início a fibrilação ventricular.

Foi constatado também que dependendo da orientação do campo eletromagnético incidente sobre o coração pode ocorrer tanto um aumento da amplitude de todas as ondas do ciclo ou a sua inibição, no entanto os testes realizados mostraram que um campo eletromagnético pode inibir completamente a onda T, sem no entanto reproduzir a fibrilação como no caso do choque elétrico [12].

2.1.2.3 Fosfenos elétricos e magnéticos

Os fosfenos são sensações luminosas causadas por outros agentes diferentes da luz. Estes agentes incluem pressão mecânica aplicada diretamente ao globo ocular e campos eletromagnéticos de frequências extremamente baixas (ELF). No caso dos fosfenos com origem eletromagnética os campos interagem tanto com as células nervosas dos olhos quanto com o córtex visual na região occipital do cérebro.

As frequências industriais³ com densidades de fluxo magnéticos superiores a 20 mT podem dar origem aos fosfenos magnéticos. Este efeito tem alguma importância médica no estudo de alterações patológicas da retina [13].

2.1.2.4 Influência nas trocas de íons em membranas celulares

Desde a década de 60 existem estudos relacionando a interação entre os campos eletromagnéticos e os tecidos e células. Os principais efeitos descobertos sobre células e tecidos são apresentados na tabela 2.3 [13]. Os estudos epidemiológicos não identificaram estes efeitos celulares sobre as populações estudadas.

Tabela 2.3 Principais efeitos sobre tecidos e células

<i>Efeitos Celulares</i>
Diminuição da taxa de respiração celular
Alteração do metabolismo de carboidratos, proteínas e ácidos nucleicos
Mudanças endocrinológicas e respostas hormonais alteradas de células e tecidos
Diminuição da taxa de crescimento celular
Teratologia e efeitos no desenvolvimento
Mudanças morfológicas nos tecidos de animais adultos, freqüentemente reversíveis após algum tempo da exposição
Alteração da resposta do sistema imune a vários antígenos e lectinas.

Fonte: Tenford [13]

2.1.2.5 Dor de cabeça, Excitabilidade, Fadiga, Náusea

³ As frequências industriais vão desde 15 Hz até 65 Hz.

O corpo humano não tem células especializadas capazes de detectar campos eletromagnéticos, no entanto foram realizados estudos para avaliar de que forma estes campos poderiam influenciar o comportamento.

Durante os estudos das alterações psicológicas e fisiológicas em seres humanos foi constatado que voluntários submetidos a campos ELF apresentavam respostas diferentes aos mesmos campos.

Para uma mesma frequência e intensidade parte dos voluntários apresentava excitabilidade, parte dos voluntários apresentou fadiga e o restante era indiferente ao campo. Não foi encontrada uma explicação para este tipo de fenômeno segundo os padrões ocidentais de pesquisa. Outros efeitos percebidos foram dor de cabeça e náuseas as pessoas submetidas a campos eletromagnéticos. Os níveis de campo eletromagnético que dão origem a estes sintomas situam-se normalmente entre 10 mW/cm² e 100 mW/cm², mas pesquisas russas e chinesas apontam estes efeitos em níveis menores de campo. Este tipo de efeito é extremamente variável entre indivíduos, por isso os estudos epidemiológicos não conseguiram ser consistentes com relação à identificação destes efeitos em grandes populações [14].

2.1.3 Efeitos Biológicos de 100 kHz a 300 GHz

A partir de 100 kHz o corpo humano começa a absorver os campos eletromagnéticos de forma mais eficiente. A absorção dessa energia se manifesta principalmente na forma de dissipação de calor nos tecidos. Essa absorção ocorre de forma diversa dependendo da frequência. Cada membro do corpo humano, tem uma frequência de ressonância onde a absorção de energia é máxima. A frequência de ressonância para absorção de energia dos campos eletromagnéticos é proporcional à maior dimensão do membro do corpo e do comprimento de onda da radiação incidente.

Os membros mais vulneráveis do ponto de vista fisiológico seriam portanto o tronco e a cabeça. O tronco tem a frequência de ressonância tipicamente entre 70 MHz para adultos e 100 MHz para crianças, nesta frequência as ondas tem um poder de penetração máximo nos tecidos. A cabeça tem a frequência de ressonância próxima de 1 GHz, nesta frequência a absorção se dá apenas no local

onde incide a frente de onda. Os efeitos de ressonância são resumidos na tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Absorção da energia eletromagnética em função da frequência

<i>Frequência</i>	<i>Efeitos</i>
< 100 kHz	Insignificante.
100 kHz – 20 MHz	absorção cresce rapidamente e pode ocorrer absorção significativa no pescoço e nas pernas.
20 MHz – 300 MHz	alta em todo corpo, ressonância entre 70 MHz (adultos) 100 MHz crianças.
300 MHz – 10 GHz	absorção local significativa e não uniforme.
> 10 GHz	principalmente na superfície do corpo.

Fonte: Anatel [8]

2.1.4 Efeitos biológicos comprovados da absorção de campos eletromagnéticos

Dos efeitos relatados apenas alguns são comprovados como causadores de danos potenciais. A seguir são relatados estes efeitos.

2.1.4.1 Queimaduras

Ocorrem quando os valores de campo atingem níveis de densidade de potência muito altos na ordem de milhares de watts por metro quadrado, ou devidos a efeitos indiretos como o choque elétrico.

2.1.4.2 Catarata

Foi constatado que densidades de potência superiores a 100 W/cm^2 com duração de 2 a 3 horas causaram catarata em coelhos, no entanto isso não foi constatado em macacos mesmo a intensidades similares ou superiores [8]. De qualquer forma este limite tem importância fundamental no entendimento das normas ocidentais para limitação dos campos eletromagnéticos. Este nível é colocado como nível limite de dano permanente e serve de base para a derivação dos demais limites.

2.1.4.3 Aumento de permeabilidade da barreira hemato-encefálica

A barreira hemato-encefálica é um complexo anatômico fisiológico associado com o sistema vascular cerebral. A sua função é servir como um filtro diferencial que permite a passagem seletiva de substâncias do sangue para o cérebro. Aminoácidos

anestésicos e glicose podem passar até as células cerebrais, enquanto carboidratos, proteínas e a maioria dos microorganismos e antibióticos são excluídos.

Um aumento de temperatura superior a 42 °C torna esta barreira mais permeável. Esse aumento de temperatura não é ligado necessariamente à incidência de campos eletromagnéticos mas a qualquer mecanismo que eleve a temperatura corporal. No caso de hipertermia induzida por microondas as modificações na permeabilidade da barreira desapareciam entre 30 a 40 min após cessar a exposição [15].

2.1.4.4 Efeitos termo-elásticos sobre o ouvido interno

Quando os campos eletromagnéticos estão em ressonância com as camadas do cérebro a vibração desse tecido pode estimular diretamente os neurônios ligados ao ouvido externo tornando-a audível. O fenômeno ocorre com pequenos pulsos de radiação de microondas. O efeito é percebido normalmente entre 450 a 3000 MHz com um limiar inferior da taxa de absorção específica (SAR) de cerca de 1,6 kW/kg, o que corresponde a 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ o máximo permitido pelas normas IEEE para a exposição geral nesta faixa de frequências. A vibração acústica desses tecidos pode ser perceptível até frequências tão altas como 200 kHz⁴ [16].

2.1.4.5 Efeitos térmicos

O corpo humano regula automaticamente temperatura através do seu sistema neuro-hormonal. O princípio mais importante no estudo da termoregulação fisiológica é a primeira lei da termodinâmica. No estado estacionário, o calor produzido pelo corpo é balanceado pelo calor perdido para o meio de forma que o armazenamento de energia é mínimo. Ele pode ser expresso pela equação 2.1 de balanço de calor:

$$\bar{M} \pm \bar{W} \pm A_{\text{RF}} = \pm \bar{R} \pm \bar{C} \pm \bar{E} \pm \bar{S} \quad [\text{W}] \text{ ou } [\text{W}/\text{m}^2] \quad (2.1)$$

onde

⁴ A percepção de frequências tão altas como 200 kHz é devida ao estímulo direto dos neurônios auditivos.

\bar{M} - taxa em que a energia térmica é produzida pelo metabolismo;
 \bar{W} - potência ou razão em que o trabalho é produzido pelo ou dentro do corpo;
 A_{RF} - Taxa de absorção de energia do campo eletromagnético;
 \bar{R} - troca de calor com o meio por radiação;
 \bar{C} - troca de calor com o meio por convecção;
 \bar{E} - taxa de perda de calor devido a evaporação da água do corpo;
 \bar{S} - taxa de armazenamento de calor no corpo.

2.1.5 Efeitos controversos

Os efeitos controversos recaem na categoria de efeitos não comprovados definitivamente pela ciência. Nesta categoria os principais problemas pesquisados foram às neoplasias e em menor grau a esterilidade. As dúvidas existentes com relação à maioria dos efeitos adversos deve-se à aplicação do modelo de quebra de cadeias de DNA por incidência de fótons. Dependendo da energia associada ao fóton existe a possibilidade da quebra das cadeias e conseqüente morte da célula ou a ocorrência de mutações [17].

2.1.5.1 Neoplasias

Neoplasia é o termo que designa alterações celulares que acarretam um crescimento exagerado destas células. A neoplasia pode ser maligna ou benigna.

A controvérsia em relação ao câncer teve origem durante o início da década de 70 quando o governo norte americano divulgou detalhes sobre o Incidente da Embaixada de Moscou.

Durante mais de 20 anos a embaixada norte americana de Moscou sofreu a incidência sistemática de campos eletromagnéticos de microondas de baixa intensidade, em 1976 o embaixador foi diagnosticado com leucemia. Posteriormente estudos realizados pelo Departamento de Estado não conseguiram correlacionar a doença com os níveis de campo incidente [1].

A Organização Mundial de Saúde (WHO) em conjunto com a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) possui uma classificação que

relaciona diversos materiais e condições ocupacionais que podem dar origem a neoplasias.

Dentro dessa classificação a IARC concluiu que campos magnéticos de frequência industrial são “possíveis” carcinogênicos humanos (grupo 2b) – colocando-os na mesma categoria do café ou do chá mate.

Já o campo magnético estático, elétrico estático e de frequência industrial são classificados como grupo 3 – Não classificável como carcinogênico a humanos [18].

Os campos de RF não estão listados na IARC entretanto todas as alegações de neoplasias não foram comprovadas pelos estudos recentes. [19].

2.2 NORMAS INTERNACIONAIS

As normas internacionais são definidas em relação a grandezas dosimétricas, que variam em relação às faixas de frequência. Entretanto para a aplicação prática dos limites é interessante derivar as grandezas dosimétricas em grandezas de campo eletromagnético, o anexo C trata da dosimetria e dos limites de campo derivados.

Os primeiros limites de exposição a campos eletromagnéticos surgiram nos Estados Unidos e na União Soviética na segunda metade da década de 50. Estudos efetuados por Schwan apontaram como limite seguro 10 mW/cm^2 para as faixas de frequência utilizadas pelos radares militares.

Posteriormente em 1966 foi publicada a primeira norma ANSI associada a campos eletromagnéticos em RF a norma ANSI C95.1-1966, esta norma incorporou o limite estabelecido por Schwan. A origem desta norma estava associada a uma cooperação entre o The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e a Marinha dos Estados Unidos (USN).

Em 1958 os soviéticos apontaram um nível de $10 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ limite 3 ordens de magnitude abaixo dos padrões ANSI/IEEE. As diferenças entre as normas soviéticas e as normas norte-americanas devem-se a diferente abordagem que as escolas

médicas ocidentais e soviéticas utilizam para tratar o problema do equilíbrio da homeostase e das definições de efeito e risco biológico.

2.2.1 Estudo das normas internacionais

Atualmente existem várias normas internacionais, de uma forma geral todas estas normas podem ser agrupadas em 3 grupos distintos. As normas que seguem os padrões ocidentais de pesquisa, as que seguem os padrões soviéticos (posteriormente russos) e as baseadas no princípio da precaução [20].

2.2.1.1 Normas ocidentais

Os padrões ocidentais são baseados em revisões periódicas de artigos científicos por um colegiado permanente. Este grupo separa os artigos que passam pelos critérios de avaliação de validade são revisados e caso apresentem variações em relação aos conhecimentos correntes são submetidos à repetição independente para validação. Caso se constate alguma alteração necessária aos níveis já estabelecidos de campos máximos há uma revisão da norma. Normalmente os níveis seguros são estabelecidos multiplicando os valores de campo que causam danos comprovados por um coeficiente de segurança⁵.

Seguem este padrão as normas IEEE C95 e ICNIRP (Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não Ionizantes), outras normas de menor abrangência internacional são baseadas neste tipo de abordagem. Os limites adotados na Resolução 303 da Anatel [4] são baseados nos limites estabelecidos pela ICNIRP.

Devido à natureza dos critérios de seleção dos artigos as normas ocidentais normalmente levam em consideração a exposição de curto prazo à radiação de RF e os efeitos considerados são normalmente térmicos [20].

Com relação às margens de segurança nos limites ocidentais admitem que para densidades de potência abaixo de 10 mW/cm^2 (100 W/m^2 ou 194 V/m) não

⁵ Os coeficientes de segurança são 10 vezes para a exposição ocupacional e 50 para geral nas normas ICNIRP.

existem efeitos biológicos perceptíveis, entre 10 mW/cm² e 100 mW/cm² os sintomas são comportamentais e reversíveis após remover a fonte e acima de 100 mW/cm² começam a aparecer os efeitos danosos ao ser humano⁶.

2.2.1.2 Normas russas

Seguem uma metodologia muito semelhante às normas ocidentais para o estabelecimento dos seus níveis. As diferenças residem em dois aspectos fundamentais: Os padrões de avaliação de qualidade de artigos na escola russa são mais abrangentes que os padrões ocidentais. E são mais restritivos na escolha do nível de referência para aplicação do coeficiente de segurança por considerar que níveis menores de campos eletromagnéticos podem causar efeitos biológicos [21].

Os limites russos claramente não foram projetados para proteger contra perigos térmicos. Estes limites estão bem abaixo dos níveis significantes térmicos. Mais estritamente falando eles trazem em si o conceito de dose⁷, que implica em exposições cumulativas e crônicas. O limiar de manifestação de efeito biológico é considerado como limite de efeito ao qual deve ser aplicado o coeficiente de segurança.

As normas russas pretendem ter um nível no qual os efeitos comportamentais, de exaustão da homeostase sejam minimizados. Além disso são considerados inúmeros estudos de longo prazo na elaboração dos limites das normas. Assim existe claramente a convicção que exposições de longo prazo em níveis menores que os limites ocidentais resultam em efeitos adversos sobre a saúde.

A literatura médica russa, européia oriental e chinesa contém muitos relatos de efeitos sobre a saúde a partir de baixos níveis de exposição à radiação de RF. Isto inclui, por exemplo, problemas não específicos (como dor de cabeça, cansaço, irritabilidade, desordens no sono e tontura) em trabalhadores de indústrias de rádio, que foram expostos à energia RF em níveis não determinados. A literatura russa contém referências a “doença de microondas”, caracterizada pelas síndromes

⁶ Estes níveis são baseados em exposições de corpo inteiro, para exposições restritas a membros isolados os níveis podem ser maiores. Estes níveis podem ser encontrados em [33] e [41].

⁷ Os russos consideram a absorção de campo por unidade de tempo como unidade de dose.

astênica, astenovegetativa e hipotalâmica. Esta doença não é reconhecida pela medicina ocidental e os seus critérios são atacados por muitos médicos ocidentais como vagos e não falsificáveis [20] [22].

As normas que seguem estes princípios são as normas GOST [23] (para ambientes ocupacionais) e SanPiN [24] (para exposição geral) na Rússia, e a norma UDC 614.898.5 GB 9175 –88 na China [25].

2.2.1.3 Limites baseados no Princípio da Precaução

Foster e Lin têm analisado profundamente a aplicação do princípio da precaução e têm alertado contra a sua aplicação indiscriminada. A seguir são reproduzidas partes dos seus trabalhos que sintetizam os fundamentos dessa metodologia e a aplicação.

Recentemente a Suíça [26], Itália [27] e a Eslovênia instituíram limites de exposição baseados em uma abordagem totalmente diferente aos princípios ocidentais e russos até então aplicados, as medidas de precaução.

Diferentemente das normas IEEE C95.1, dos limites ICNIRP ou dos limites GOST/SanPiN e UDC (que foram projetados para evitar riscos identificados), os limites Suíços que, nas palavras do documento explicativo que acompanha a norma, é “especificado para minimizar os riscos desconhecidos” dos campos eletromagnéticos de frequência de distribuição e RF.

A diretriz de exposição suíça foi fixada nos menores níveis que se acredita serem praticáveis economicamente e tecnicamente. Na prática, isto significou reduzir os limites ICNIRP por um fator de 10 (na intensidade de campo) ou 100 (na densidade de potência). A lei é complexa com distinções entre “imissões” e “emissões”, identificando locais de uso sensíveis, instalações novas e antigas, etc. [NISV 1999]. Estes limites estão um pouco acima dos limites de energia RF emitida por estações rádio base (ERB) montadas em torres nas alturas convencionais, esse fator torna bem complexo o projeto de novas instalações de radiodifusão, radares de aeroportos e outras instalações que utilizam transmissores de alta potência [20].

A abordagem baseada no Princípio da Precaução (PP) [28] teve origem na Comunidade Européia. Ela tem sido adotada extensivamente como diretriz de atuação política da Comunidade Européia com relação às questões ambientais.

Originário da política ambiental européia da década de 1970, o princípio da precaução é expresso em ditos como “melhor prevenir que remediar” e “erre do lado da cautela”. Na prática isso significa tomar medidas na direção de evitar possíveis danos ambientais ou da saúde diante de evidência científica insuficiente. Este princípio tem sido empregado extensivamente na Europa em uma variedade de questões ambientais internacionais [22].

A essência do princípio é capturada em noções de senso comum ou margens de segurança. Acredita-se que a abordagem pela precaução pode habilitar indivíduos e a sociedade para gerenciar riscos potenciais sem se afastar dos princípios da sólida ciência e de um modo que isto seja satisfatório e não arbitrário aos olhos da opinião pública. Assim como uma abordagem pode ter um benefício visível, ela também pode ser de utilidade dúbia e pode ser mesmo contraprodutiva dependendo de como é aplicada.

A tarefa de avaliar e gerenciar riscos é direta quando a probabilidade das conseqüências são conhecidas através da experiência. Mas a avaliação de riscos é freqüentemente cheia de incertezas quando as probabilidades são desconhecidas. A avaliação de riscos por sua vez torna-se uma dispendiosa adivinhação que se afasta da ciência. Alguns dos palpites tendem a promover interesses econômicos, por outras vezes, os palpites tendem a apoiar aqueles que procuram proteção dos riscos potenciais de exposição.

Ao adotar o PP para cobrir os casos onde a evidência científica é insuficiente, inconclusiva ou incerta, para análise e gerenciamento de riscos, a Comissão Européia publicou uma comunicação para explicar que “o PP não é uma politização da ciência ou a aceitação de risco zero mas prove uma base para ação quando a ciência é incapaz de dar uma resposta clara” [29].

Como na aplicação de qualquer preceito geral nas atividades humanas, o problema está nos detalhes. Medidas de precaução tomadas pelos Estados

europeus têm levado a controvérsias políticas e legais, gerando reclamações de que as medidas de “precaução” na realidade têm a intenção de protecionismo comercial.

O PP foi originalmente criado para proteção contra riscos ambientais previsíveis sobre os quais poucos dados científicos estivessem disponíveis para sustentar uma política, por exemplo, riscos de despejo de substâncias no oceano. Está aumentando seu uso para o gerenciamento de riscos tecnológicos e para a saúde para os quais uma extensa quantidade de dados é disponível, apesar de inevitáveis omissões e inconsistências nas evidências.

Apesar de toda a literatura científica apresentada durante os anos tanto por pesquisadores ocidentais quanto pelos pesquisadores do bloco oriental, os adeptos do PP insistem em alegar que as evidências não são suficientes e que enquanto não houver estudos mais detalhados existe a necessidade de diminuição dos campos eletromagnéticos.

Países como a Suíça e Itália adotam limites muito abaixo dos apresentados nas normas internacionais mesmo quando as evidências científicas ocidentais apresentam uma consistência nas conclusões a favor da segurança dos limites estabelecidos no ocidente. Mesmo com os limites dos países citados se aproximando dos limites russos, não é atribuída nenhuma validade aos estudos científicos relatados por esta escola.

Isso pode causar um retrocesso no avanço da tecnologia e em uma desconfiança grave na população acerca da validade de todos os estudos científicos, já que a má aplicação do PP pode substituir o estudo científico detalhado por procedimentos de avaliação especulativos.

2.2.2 Níveis de Campos eletromagnéticos

Os níveis são apresentados no Anexo B. São relacionadas as seguintes normas internacionais: IEEE C95 2005, ICNIRP, NRPB e GOST / SanPiN.

3 MEDIÇÕES DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO

O local de estudo é caracterizado pela presença de diversas emissoras de radiodifusão. Estas emissoras estão distribuídas entre os serviços de FM, TV-VHF e TV-UHF. Os detalhes técnicos das emissoras estão no Anexo A.

Este ambiente configurado pela presença de diversas emissoras é conhecido como ambiente multi-usuário. A seguir são descritas sucintamente as técnicas empregadas para realizar as medições. Os procedimentos gerais de medida e de cálculo de incertezas, são apresentadas no Anexo D.

3.1 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO EMPREGADAS

Uma das técnicas mais usuais na avaliação dos campos eletromagnéticos é a que utiliza o medidor de campo de banda larga. Esse instrumento permite que o campo eletromagnético total seja obtido pela soma vetorial os campos presentes em uma larga faixa do espectro [42]. A desvantagem na utilização deste equipamento deve-se à impossibilidade dele apresentar a contribuição individual de cada fonte no campo total. A tecnologia mais usada em medidores de banda larga é baseada em diodos de alta velocidade.

Para que a contribuição de cada fonte na composição total do campo possa ser avaliada é necessária uma técnica mais complexa utilizando o analisador de espectro. O analisador de espectro consegue discriminar as frequências presentes no espectro individualmente. Os analisadores convencionais utilizam antenas externas e cabos para realizar as medições de campo eletromagnético. Existem também analisadores de espectro otimizados para medida de campo. As medidas com analisadores de espectro têm incertezas maiores do que as que utilizam medidores de banda larga. Isto é devido a maior quantidade de componentes de incerteza representativos neste tipo de equipamento. Dependendo dos limites de incerteza máximos adotados as medições utilizando analisadores de espectro podem ser inviabilizadas a avaliação dos campos com a exatidão necessária⁸. Os medidores de campo eletromagnéticos podem ser classificados também em medidores conformados e não conformados. O medidor conformado apresenta as medidas dos campos em uma relação percentual dos campos presentes em

⁸ A recomendação [44] recomenda que estas medições sejam feitas com uma incerteza de ± 3 dB para medidas acima de 30 MHz, em caso deste valor ser excedido é necessário um fator de correção para os limites de campo.

diversas frequências e dos limites de campo para cada frequência. Quando um medidor conformado não está disponível e os níveis de incerteza desejáveis são restritos deve ser utilizada uma combinação de medidor de banda larga não conformado e analisador de espectro na realização das medidas.

A técnica de medição utilizada neste trabalho combina a aplicação do medidor de campo de banda larga e do analisador de espectro.

3.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo é o Centro de Comunicação Lúmen (CCL). Está situado no bairro do Pilarzinho, em Curitiba.

A região de Curitiba é composta por 35 emissoras diferentes, compreendendo os serviços de FM e TV-UHF. As características técnicas de todas as emissoras estão disponíveis no anexo A. O bairro do Pilarzinho apresenta a maior concentração de emissoras da região de Curitiba. As figuras 3.1 e 3.2 apresentam as emissoras mais próximas do CCL.

A figura 3.1 apresenta o mapa de arruamento da região do bairro do pilarzinho mostrando a concentração de emissoras presentes na região, em azul aparecem as emissoras de FM e em lilás estão as emissoras de TV o mapa está orientado em relação ao norte verdadeiro. A figura 3.2 apresenta a imagem de satélite da mesma região mostrada no mapa de arruamento. A região é composta predominantemente de pequenas residências, um grupamento do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná, uma creche da Associação Comunitária Presbiteriana (ACP), da Sociedade Paranaense de Hemofílicos (SPH), o Colégio Estadual Bento Munhoz da Rocha Neto (CEBMR) e Unidade de Saúde do Pilarzinho (US-Pil). A classificação do local quanto ao zoneamento urbano é ZR-2⁹.

⁹ Zona Residencial de no máximo dois pavimentos.

3.3 ANÁLISE DO TERRENO DO CENTRO DE COMUNICAÇÃO LÚMEN

O Centro de Comunicação Lúmen está localizado próximo do centro geométrico das emissoras consideradas no Anexo A. Suas emissoras estão listadas na tabela 3.1. Apenas as emissoras pertencentes à Fundação Champagnat fazem parte do Centro de Comunicação Lúmen, as outras emissoras apenas compartilham o mesmo espaço.

Tabela 3.1 Lista das emissoras situadas do Centro de Comunicação Lúmen

<i>Entidade</i>	<i>Nome Fantasia</i>
Fundação Nossa Senhora do Rocio	Rádio Clube FM
Fundação Champagnat	Rádio Lúmen FM Canal Futura
Televisão Independente de São José do Rio Preto Ltda	Rede Vida
Canal Brasileiro da Informação CBI Ltda	Mix TV
Endereço: Rua Amauri Lange Silvério 300	Coordenadas: 25°23'38" S, 49°17'26" W

Fonte: Anatel

A figura 3.3 apresenta um croqui sobreposto sobre a imagem de satélite do terreno. O terreno aparece delimitado em amarelo. A área de tráfego de automóveis interna ao terreno aparece em azul. Em verde as edificações não relacionadas a emissões de RF. Em tons de vermelho e amarelo estão os edifícios transmissores, em vermelho as instalações de energia elétrica e em púrpura as torres de antenas. Os símbolos indicam os riscos ambientais presentes devidos à presença de campos eletromagnéticos. São apresentadas também as dimensões do terreno. As figuras 3.4 e 3.5 apresentam as vistas do terreno á partir da rua Amauri Lange Silvério. Nestas figuras podem ser vistas destacadamente as duas torres de antenas que compõe o conjunto.

Figura 3.3 – Croqui do Centro de Comunicações Lúmen



Foto: Google Earth Plus

Figura 3.4 – Vista do portão de entrada do CCL



Foto: Autor

Para racionalizar o estudo o local foi dividido em duas áreas. Uma interna ao edifício transmissor principal e outra abrangendo o terreno aberto.

Neste estudo apenas os campos elétricos de RF foram objeto de medições.

3.4 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA EXTERNA

A métrica pontual foi adotada para a amostragem dos pontos devido a limitações para a utilização extensiva dos equipamentos (os equipamentos foram cedidos pelo Instituto LACTEC). Os pontos foram escolhidos segundo a probabilidade de permanência de pessoas nos locais e frequência de utilização dos mesmos aliados a uma leitura prévia dos locais de interesse pra determinação dos pontos de maior intensidade de campo. Em [34] podem ser encontrados mais detalhes sobre as métricas de amostragem de pontos.

3.4.1 Seleção de pontos na área externa

A área externa teve duas séries de medição com a localização dos pontos medidos mostrada nas figura 3.5 e 3.6. Esta área de medições caracteriza-se pela presença de campos distantes.

A partir da avaliação dos locais mais utilizados pelas pessoas que freqüentam o CCL, foi feita uma leitura preliminar dos locais para localizar as posições de maior campo localizado, isso é necessário para detectar os picos de campo e também a presença de pontos com desvanecimento rápido. Os diversos pontos também foram classificados de acordo com tipo de pessoas que o freqüentam. Os ambientes freqüentados pelo público são classificados como gerais e pelo pessoal técnico habilitado a trabalhar com RF como ocupacional

Na primeira série de medições foram escolhidos os pontos de maior probabilidade de permanência. Na segunda série foram feitas medições detalhadas em volta do edifício principal e das torres.

Os pontos escolhidos na primeira série e sua classificação quanto ao tempo de permanência e tempo de uso são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Pontos de Medição, classificação ocupacional e uso. Externo

Número	Local	Classificação	Uso
A	Escada da Torre 1	Ocupacional	Pequeno
B	Medidor de Energia	Ocupacional	Freqüente
C	Entrada do Museu Lúmen	Geral	Freqüente
D	Calçada de Acesso ao Museu	Geral	Freqüente
E	Pé da torre 2	Ocupacional	Pequeno
F	Churrasqueira	Geral	Pequeno
G	Entrada de Residência	Geral	Freqüente
H	Entrada Prédio de Administração	Geral	Freqüente
I	Estacionamento	Geral	Freqüente
J	Limite Estacionamento Horta	Geral	Freqüente
K	Horta	Geral	Freqüente
L	Entrada de Residência / Varanda	Geral	Freqüente
M	Entrada do Transmissor CBI	Ocupacional	Pequeno
N	Entrada Trans. Principal	Ocupacional	Freqüente

Os pontos de medida da segunda série de medições foram escolhidos seguindo o contorno do prédio principal nas áreas de circulação a sua volta de modo a levantar a distribuição dos campos nos locais de transito de pessoas. Foi também realizada uma estimativa de campo utilizando os dados técnicos das emissoras para determinar os locais de maior campo de acordo com o método apresentado pela Anatel em [4].

Esta estimativa se afastou muito dos resultados medidos. A falha na simulação dos possíveis campos é devida a diversos fatores dos quais cabe-se citar a inconsistência dos dados constantes na Anatel sobre as características técnicas das emissoras, o que inviabiliza a simulação dos campos.

Figura 3.5 – Detalhe do terreno e localização dos pontos de medição da primeira série de medidas.

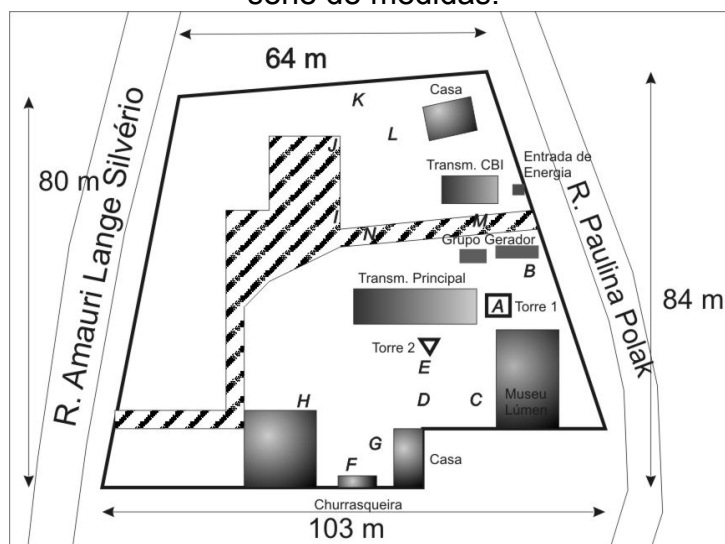
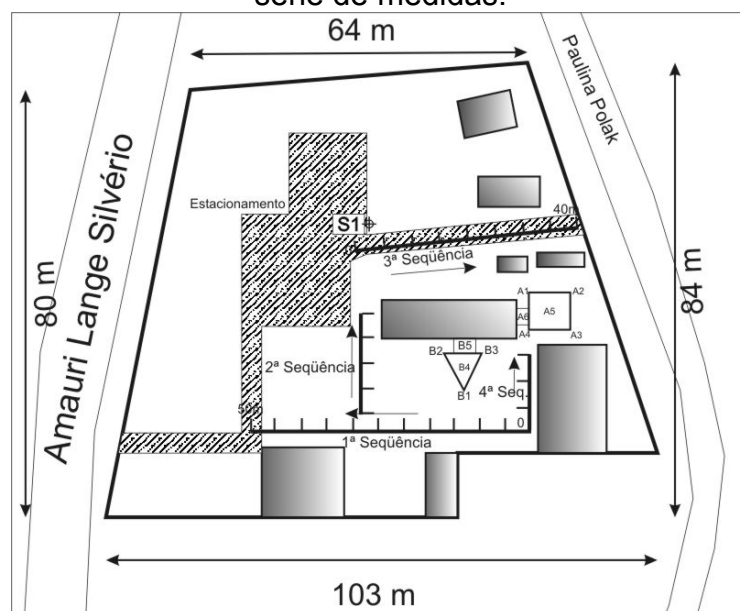


Figura 3.6 – Detalhe do terreno e localização dos pontos de medição da segunda série de medidas.



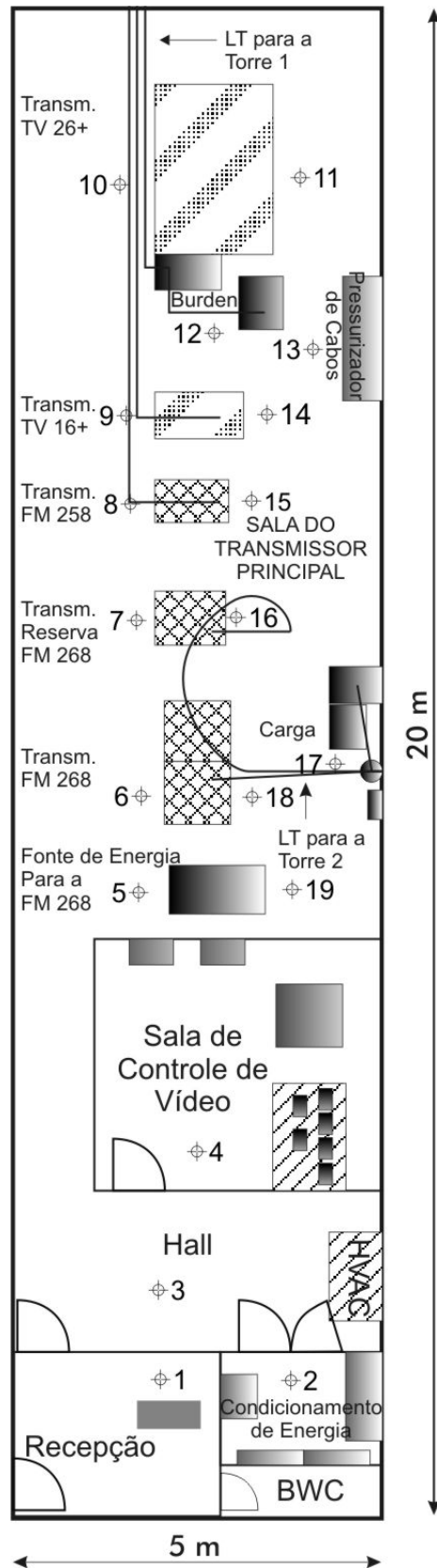
3.4.2 Definição dos pontos de medição na área interna

A métrica pontual também foi adotada para a amostragem dos pontos internos devido a limitações para a utilização extensiva dos equipamentos. Os pontos foram escolhidos segundo a proximidade dos controles dos transmissores de demais equipamentos.

A área interna com os pontos de medida é mostrada na figura 3.7. Esta área de medições caracteriza-se pela presença de campos reativos de RF. Como o ambiente é formado pela presença de campos próximos não é possível uma leitura direta da densidade de potência. Para a caracterização da densidade de potência seria obrigatória a avaliação em separado dos campos elétrico e magnético.

Os pontos internos frontais aos equipamentos transmissores tiveram a sua leitura efetuada a 60 cm de distância dos painéis com comandos. Esta distância foi escolhida por ser a distância de permanência de um operador realizando leituras ou alterando os comandos dos equipamentos.

Figura 3.7 – Croqui do edifício principal



3.5 METODOLOGIA DAS MEDIÇÕES

As medições foram realizadas segundo as prescrições constantes na Resolução 303/2002 da ANATEL [3]. Como complemento aos tópicos não abordados nesta resolução foram estudadas as normas: OET 65 [2], ITU-R Bs 1698 [30], ITU-T K.52 [31], ITU K.61 [32], IEEE C95.3 2002 [33], NIOSH [34], GL-01 Issue 2 [36].

Estas normas e recomendações foram utilizadas para a realização padronizada e repetível de medidas observando as boas práticas¹⁰ de engenharia para a tecnologia de medição utilizada.

Como ressalva é necessário dizer que as medições não puderam ser exaustivas neste trabalho. Isto se deve a pouca disponibilidade de uso dos instrumentos de medidas que foram emprestados pelo Instituto LACTEC.

3.5.1 Equipamentos utilizados

Foi inicialmente utilizado o medidor Wandell & Gotterman EMC-20 com a sonda Narda Tipo 8-2. Este equipamento é composto de duas partes. Um conversor analógico-digital com *data logger*, e uma sonda de campo eletromagnético.

A sonda Narda é o sensor que faz efetivamente a transdução do campo elétrico em tensão elétrica. O *data logger* permite a armazenagem de 1500 leituras e possui interface óptica V.24 e serial RS232 as taxas de amostragem são de 400 ms e os tempos de média é fixo em 6 minutos para o modo de leituras automático. Para leituras de 6 minutos o medidor apresenta o valor da media, correspondentes a 900 leituras, e o valor do campo máximo.

Existem vários modelos de sonda que podem ser utilizados para medidas de campo elétrico e magnético separadamente. A sonda Narda Tipo 8-2 é adequada para medidas de campo elétrico nas faixas de 100 kHz até 3 GHz com faixa dinâmica de 60 dB o que garante leituras entre 0.5 V/m até 1000 V/m. As componentes de incerteza do medidor EMC-20 e da sonda estão apresentadas no anexo D.

¹⁰ Conjunto de procedimentos que visam minimizar os erros grosseiros em atividades de engenharia, principalmente na área de medidas elétricas.

Para a caracterização dos campos presentes foram utilizados três analisadores de espectro. Um analisador AVCOM PSA-37D com antena telescópica própria, um analisador HP 8558B com uma antena Diamond D-130J Discone de banda larga e um analisador de compatibilidade eletromagnética Agilent E7402A com uma antena bi-cônica Rohde & Schwarz HK 116.

Estes analisadores são do tipo varredura de frequência sintonizado, eles permitem uma avaliação relativa entre os campos presentes na região de interesse.

O analisador AVCOM PSA-37D é adequado para medidas relativas entre 10 MHz até 4,2 GHz, com uma faixa dinâmica de 90 dB.

O analisador HP 8558B tem uma faixa de frequências entre 100 kHz e 1,5 GHz com uma faixa dinâmica de 130 dB.

O analisador Agilent E7402A tem uma faixa de frequências entre 100 kHz e 3 GHz, tem uma faixa dinâmica de 140 dB. As componentes de incerteza dos três analisadores estão detalhadas no anexo D.

Os três analisadores não são adequados para uma medida precisa dos campos eletromagnéticos por exceder o limite de ± 3 dB de incerteza para medidas de campo eletromagnético citadas por [44]. Entretanto é possível a utilização destes equipamentos para uma análise da contribuição relativa das fontes, o uso dos três equipamentos em separado permite também uma comparação entre os resultados.

Os valores das leituras foram corrigidos levando em consideração os ganhos de antena variáveis na frequência seguindo as recomendações dos fabricantes das antenas e corrigindo-se os valores de perdas nos cabos. Como nem todos os componentes dos analisadores de espectro usados estavam calibrados foram usados valores típicos fornecidos pelos fabricantes para as correções entre antenas e cabos. As modulações foram tratadas de acordo com a recomendação ITU-R Bs.1698 [30].

3.5.2 Realização das medições

Os valores de medida foram tratados segundo as recomendações ISO/IEC EA-04 - *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [35]. O resultado

final das leituras nos diversos pontos é considerado confiável em 95% como recomendado na EA-04 [35] e em ITU-T K.52 [31]. Nos casos onde não estava disponível o valor do desvio padrão foi utilizado o valor máximo de campo como estimativa conservadora. Um tratamento alternativo baseado na utilização de desvios padrão históricos é recomendado pelo *British Measurement and Testing Association* (BMTA) [46]

As condições ambientais foram monitoradas para garantir que os instrumentos estivessem operando dentro da faixa prevista pelo fabricante. Para realizar esse monitoramento foi utilizado um termo-hiogrômetro Minipa MT 241. Este instrumento também estava calibrado e com rastreabilidade garantida.

O analisador de espectros nesse caso foi utilizado para caracterizar a faixa de presença de campos de interesse e as potências relativas entre eles. As medidas realizadas foram apenas relativas entre os picos das emissoras. Tomando como referência o maior pico de potência é possível calcular as contribuições relativas de todas as emissoras na composição total dos campos.

4 RESULTADOS

Os resultados das medições são apresentados nas figuras 4.2 e 4.3. Estes resultados levam em consideração todos os componentes de incertezas da medida.

A análise dos dados está dividida pelos setores de interesse interno e externo. Foram realizadas duas séries de medições. A primeira série de medições foi realizada no dia 31/01/2006 e a segunda série no dia 04/08/2006. As medidas com o analisador AVCOM foram realizadas no dia 21/07/2006, as medições com o analisador HP foram realizadas no dia 28/07/2006, e as medidas com o analisador Agilent foram realizadas no dia 04/08/2006.

4.1 MEDIDAS INTERNAS

Os campos internos foram medidos com o medidor EMR-200 em conjunto com a sonda Narda tipo 8-2, o modo de leitura foi selecionado como automático, e o instrumento foi posicionado a altura de 1,50 m que corresponde à altura do tórax de uma pessoa de estatura mediana. Esta altura também corresponde à altura média dos elementos dos circuitos de alta potência dos transmissores. As medidas foram realizadas em duas séries. A figura 4.1 apresenta o local de medida.

Os dados sintetizados das medições de campo elétrico internas são apresentados nas figuras 4.2 e 4.3.

Figura 4.1 – Medida interna do ponto 10 interno, transmissor Harris Ultravision Ultra-10, potência de operação de 1,7 kW, canal 26+, UHF.



Foto: Autor

Figura 4.2 Medidas internas de campo elétrico, primeira série

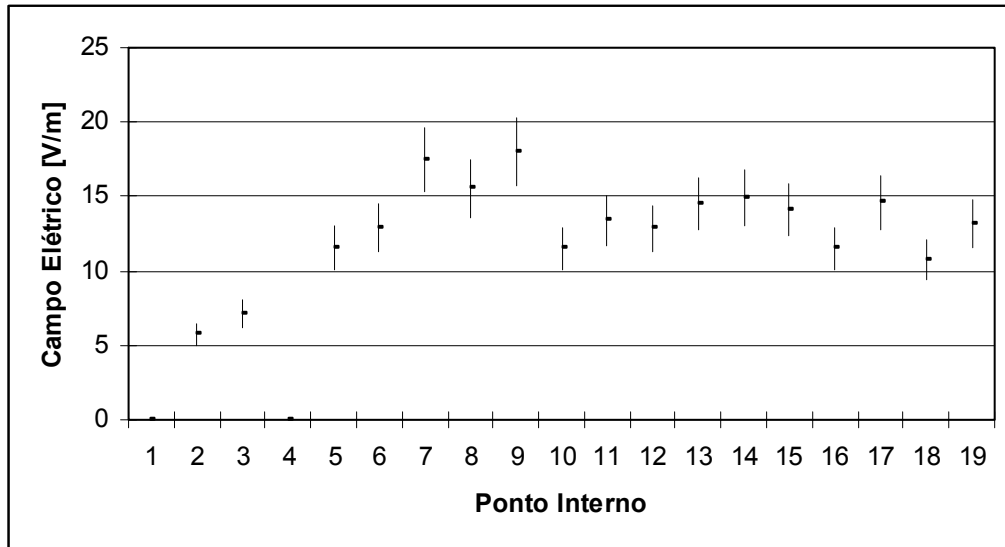
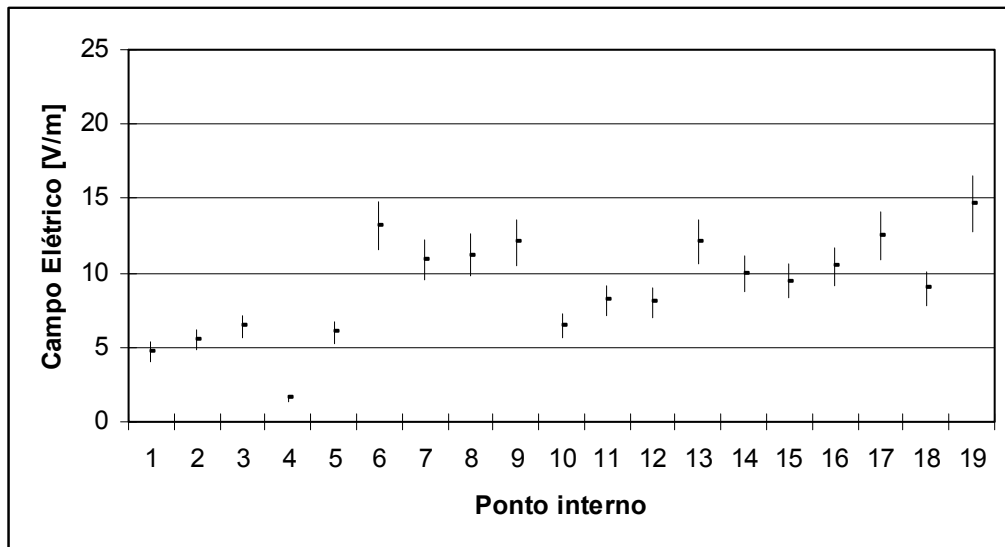


Figura 4.3 Medidas internas de campo elétrico, segunda série



4.2 MEDIDAS EXTERNAS

Os campos externos foram medidos o medidor EMC-20 em conjunto com a sonda Narda tipo 8-2, o modo de leitura foi selecionado como automático, e o instrumento foi posicionado a altura de 1,50 m que corresponde à altura do tórax de uma pessoa de estatura mediana, no caso da primeira série e 2,00 m na segunda série. A figura 4.4 apresenta o local de medida, no lado esquerdo está o prédio do transmissor do canal 19+ e a direita pode se ver o abrigo do transformador de

energia e o gerador de emergência. Todos os pontos foram avaliados à distância mínima de 1 m de qualquer superfície. Em apenas um caso a medida externa foi efetuada a uma distância menor do que 1 m. O ponto B está próximo a um quadro de energia elétrica metálico, esta medida foi realizada desta forma porque é utilizado pelo leiturista da concessionária de energia elétrica. A figura 4.5 apresenta essa situação. As figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 apresenta as leituras dos campos externos.

Figura 4.4 – Medida do ponto N.



Foto: Autor

Figura 4.5 – Medida do ponto B, caso especial de medida.



Foto: Autor

Figura 4.6 – Medidas externas de campo elétrico, primeira série de medidas.

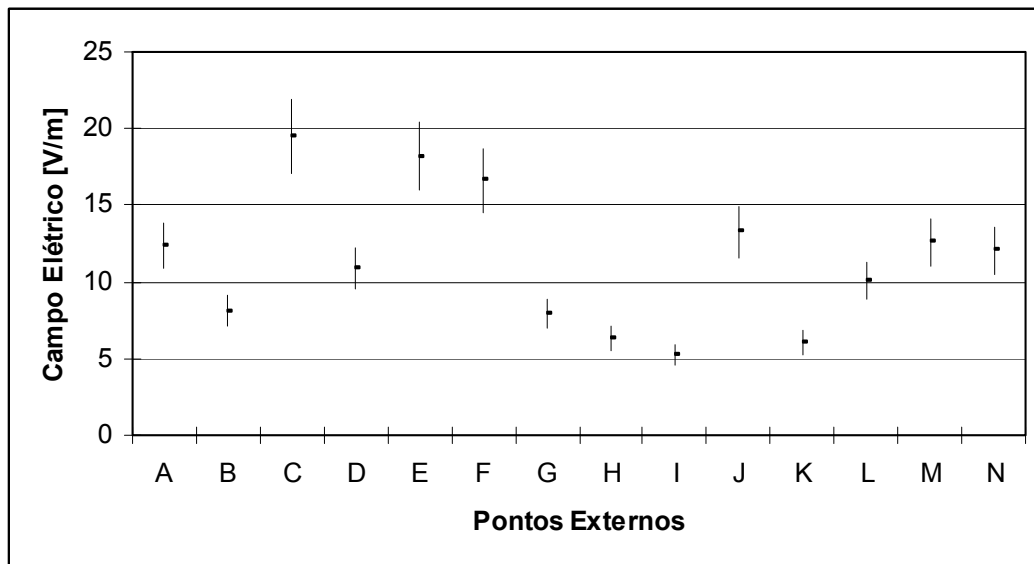


Figura 4.7 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 1.

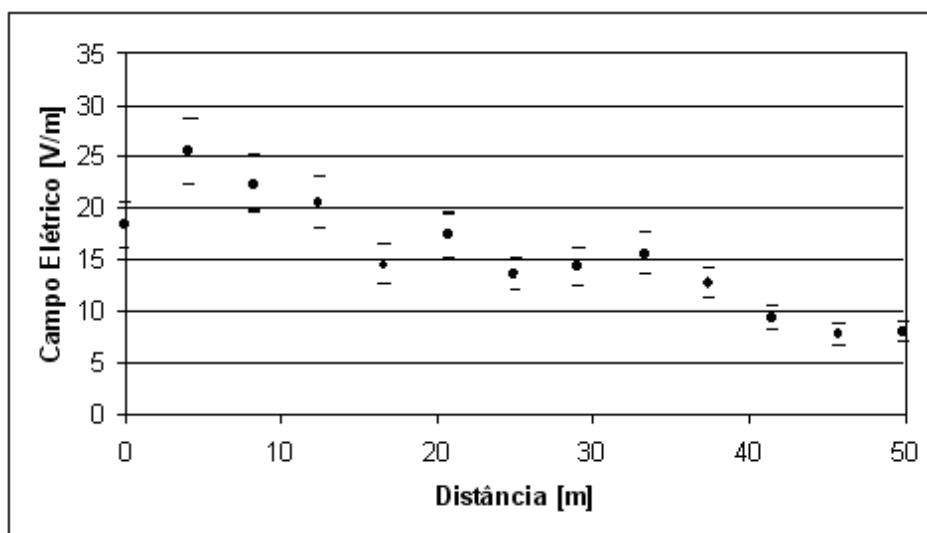


Figura 4.8 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 2.

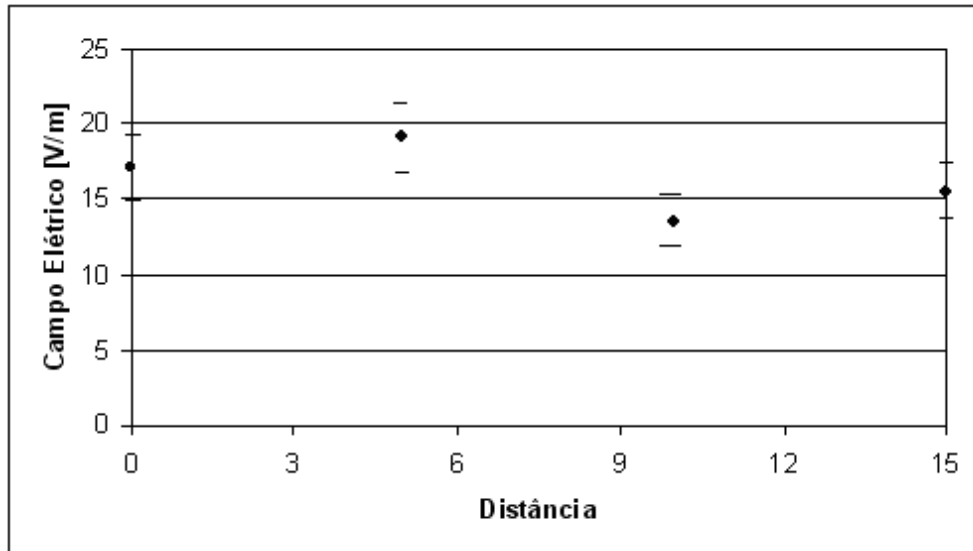


Figura 4.9 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 3.

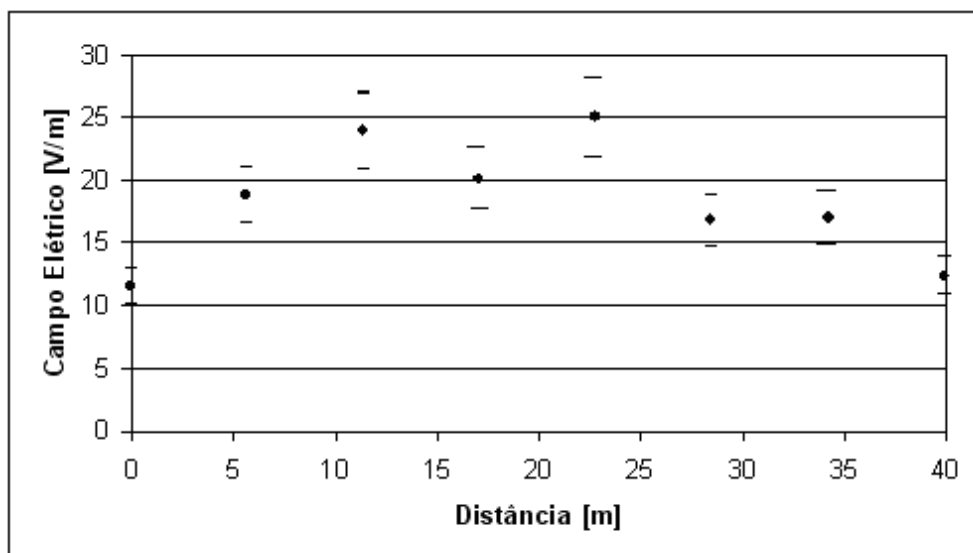
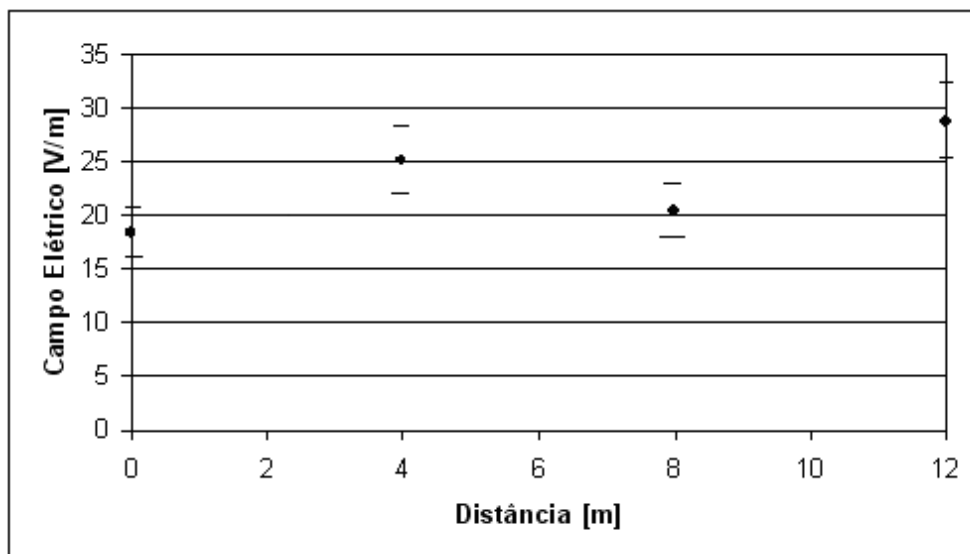
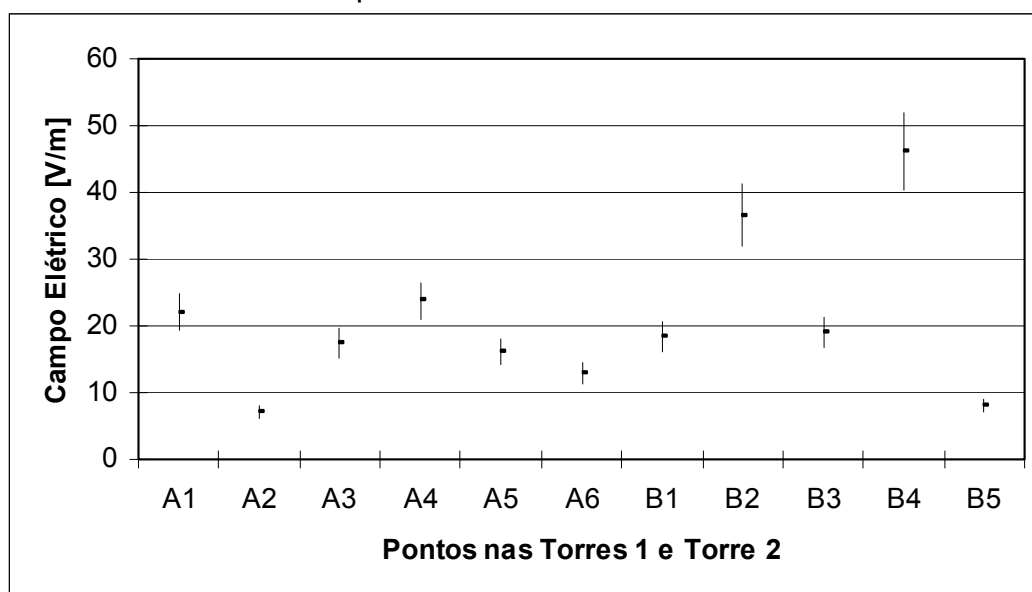


Figura 4.10 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4.



Foram realizadas medidas de campo nas torres para saber os níveis de campo elétrico. Os pontos medidos estavam situados próximos aos pés das torres, nas escadas de acesso e sob as canaletas das linhas de transmissão. Os campos encontrados nestes pontos são mostrados na figura 4.11. A localização dos pontos esta detalhada na figura 3.7.

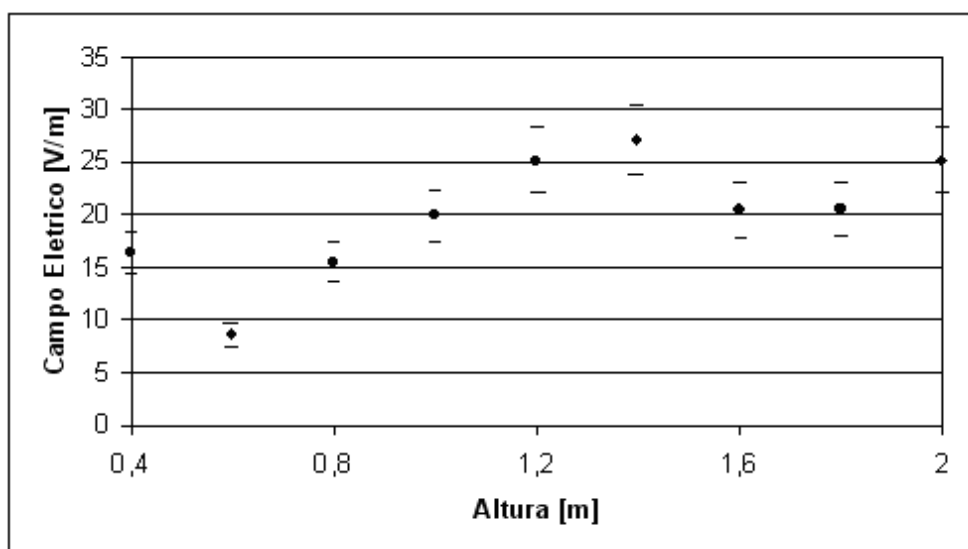
Figura 4.11 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4. Torre 1 e Torre 2



Algumas normas apontam a necessidade de uma avaliação do campo magnético em relação à altura de modo a avaliar a possível distribuição do campo

presente sobre o corpo humano. Para isto é realizada uma série de medidas entre a altura de 2,00 m e o chão em passos fixos de 20 cm. Esta medida foi realizada no ponto 2 da seqüência 4 (4m de distância da origem desta seqüência) na segunda série. Este ponto foi escolhido por apresentar um campo superior ao limite da norma. Os resultados desta medição são apresentados na figura 4.12.

Figura 4.12 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série, distribuição espacial dos campos no 2 da seqüência 4.



Como uma observação importante sobre as figuras apresentadas apenas as que têm pontos contíguos apresentaram ligação entre os pontos.

Os pontos da primeira série foram lidos de forma manual e tiveram o desvio padrão e a média calculados em períodos de um minuto. Os pontos da segunda série foram medidos de forma automática e tiveram seus valores baseados na média de 6 minutos e no valor de campo máximo. A análise dos componentes de incerteza mostrou que a contribuição do desvio padrão e do valor máximo de campo (adotado como estimativa conservadora) tiveram contribuição muito pequena na incerteza total.

4.3 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO INDIVIDUAL DAS FONTES

Para analisar a contribuição dos campos eletromagnéticos levando em consideração a emissão individual foi utilizado o analisador de espectro. Foram

realizadas leituras do espectro no ponto S1, fig 3.6. A escolha deste ponto justifica-se por ser uma posição livre de obstáculos. A leitura considerada utilizou a antena telescópica na configuração vertical em uma posição central do terreno. Este tipo de antena não tem diretividade suficiente para obter resultados expressivos que justifiquem a sua utilização na posição horizontal.

A figura 4.13 mostra as contribuições das emissoras para o campo total para o ponto S1 usando as medidas relativas com o analisador AVCOM PSA-37D. Este analisador foi posicionado a uma altura de 1,50 de altura com sua antena telescópica própria.

As contribuições medidas com o analisador HP 8558B são mostradas na figura 4.14 e foram lidas no ponto N, fig 3.5. Este analisador teve sua antena colocada a 1,5 m de altura. Neste caso não foi possível localizar o equipamento no ponto S1 por limitações físicas.

As contribuições medidas com o Analisador Agilent E7402A são mostrados na figura 4.15, as leituras foram realizadas no ponto S1, pode se notar a semelhança dos resultados com o analisador HP 8558B. Os resultados relativos foram calculados apenas até a frequência de 300 MHz devido às limitações da antena bi-cônica.

O analisador de compatibilidade eletromagnética Agilent E7402A teve as leituras registradas de forma digital.

Figura 4.13 – Contribuições das emissoras para o campo total, AVCOM PSA-37D.

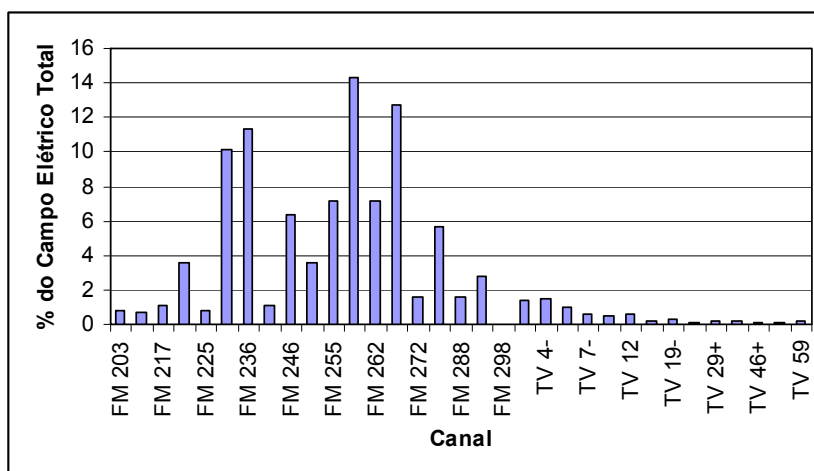


Figura 4.14 – Contribuições das emissoras para o campo total, HP 8558B.

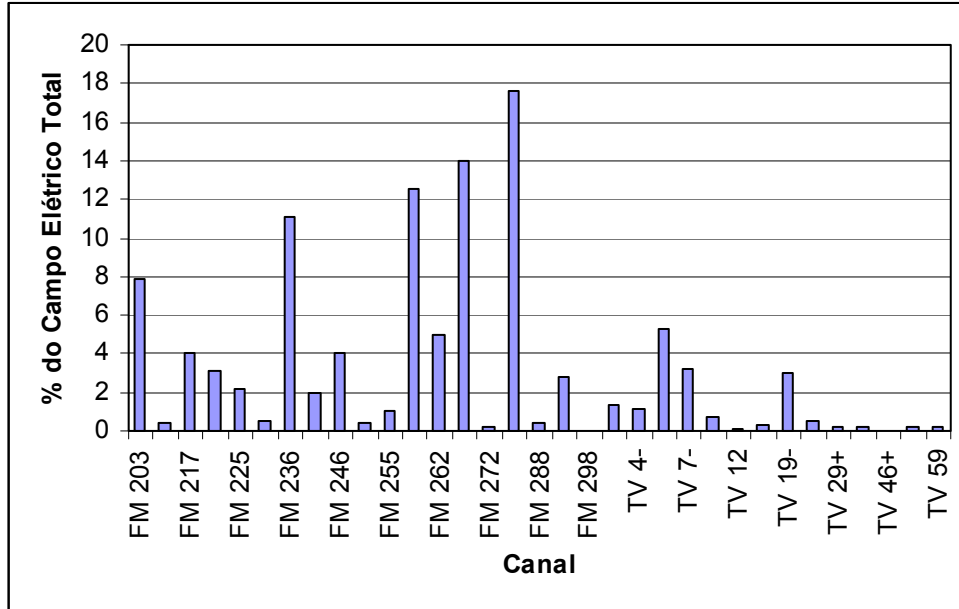
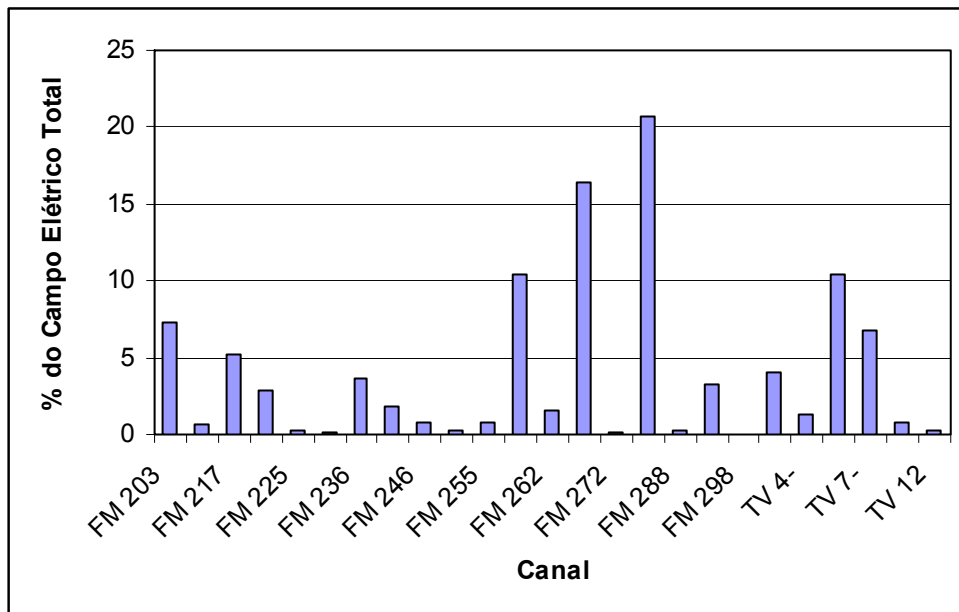


Figura 4.15 – Contribuições das emissoras para o campo total, Agilent E7402A.



5 ANÁLISE DOS DADOS

A primeira consideração na análise das medidas refere-se à natureza das limitações deste trabalho. Os equipamentos de medida de campo eletromagnético da Narda e o analisador Agilent foram emprestados do Instituto LACTEC e por limitações de tempo não foi possível fazer medições exaustivas dos níveis de campo existentes no local de estudos. Por isso as medições foram concentradas nos locais de maior probabilidade de permanência de pessoas como explicado no capítulo 3.

O levantamento do espectro utilizou analisadores de espectro não calibrados. Apesar de serem equipamentos confiáveis, só é possível a sua utilização na medida relativa entre os picos de potência irradiada pelas emissoras. Isto se deve a falta de calibração do conjunto antena, cabos, conectores e analisador. A calibração do conjunto não é realizada no Brasil o que torna a calibração deste equipamento proibitiva no contexto deste trabalho.

Todas as leituras feitas foram tratadas metrologicamente de modo a fazer a caracterização correta das incertezas presentes na medição. Para esta análise foram utilizados os dados de calibração do medidor EMC-20 e os dados do fabricante dos analisadores. O cálculo das incertezas utilizou a publicação EA-04 [35]. O medidor EMC-20 estava dentro do prazo de validade da calibração.

Tendo em vista estas considerações segue-se com a análise dos dados coletados.

5.1 ANÁLISE DOS CAMPOS MEDIDOS INTERNAMENTE

Os campos eletromagnéticos internos são devidos principalmente ao “vazamento” (*leakage*) de radiação dos gabinetes dos equipamentos, conexões e linhas de transmissão¹¹. Secundariamente, pode-se associar também a presença dos próprios campos irradiados pelas antenas das emissoras próximas. É um fato conhecido que, por mais diretivo que seja um conjunto irradiante, não é possível suprimir totalmente a radiação dirigida em direção ao solo próximo de uma torre. A própria estrutura metálica da torre re-irradia uma parte da energia incidente sobre ela.

¹¹ Para descobrir quais são os pontos de vazamento e as frequências é necessário um equipamento chamado farejador de campo eletromagnético (*Sniffer*).

Nenhum dos níveis medidos ultrapassou os limites das normas ICNIRP para o caso de exposição geral (não controlada). Isto garante uma dupla conformidade. Tanto o público em geral como os trabalhadores estariam submetidos a níveis de campo eletromagnético menores que os máximos permitidos pelo regulamento [4].

O valor mais alto encontrado foi de 18,02 V/m para o ponto 6d - frente para a primeira série e 14,65 V/m para o ponto 6g – costas para a segunda série.

O ponto 6d é ocupado pelo transmissor de TV Rohde&Schwartz NH7050 operando no canal 16+ com potência nominal de 5 kW e o ponto 6 g é ocupado pela fonte de alimentação do transmissor de FM Harris que irradia o canal 268 com potência nominal de 35 kW.

As figuras 5.1 e 5.2 apresentam os croquis do edifício transmissor principal com os níveis de campo encontrados.

Figura 5.1 – Resultados para a primeira série interna de medições

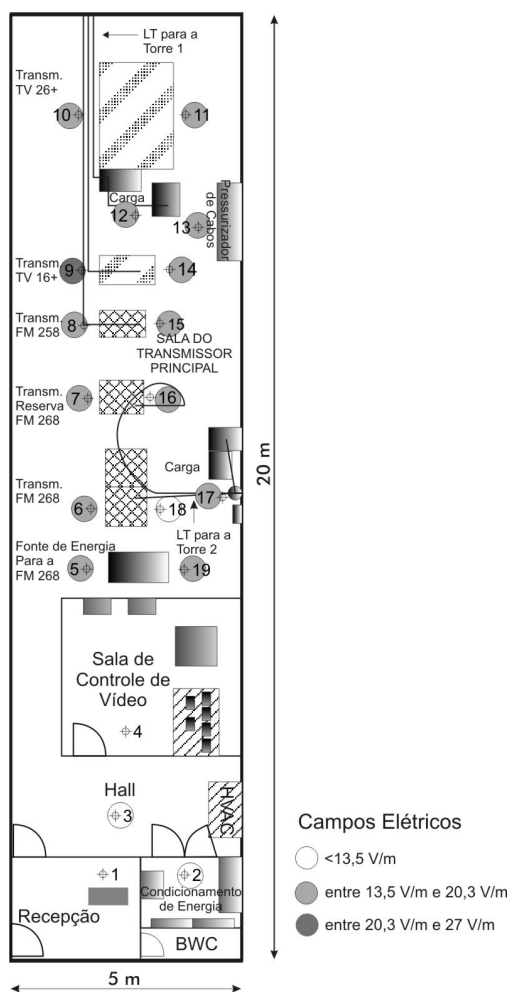
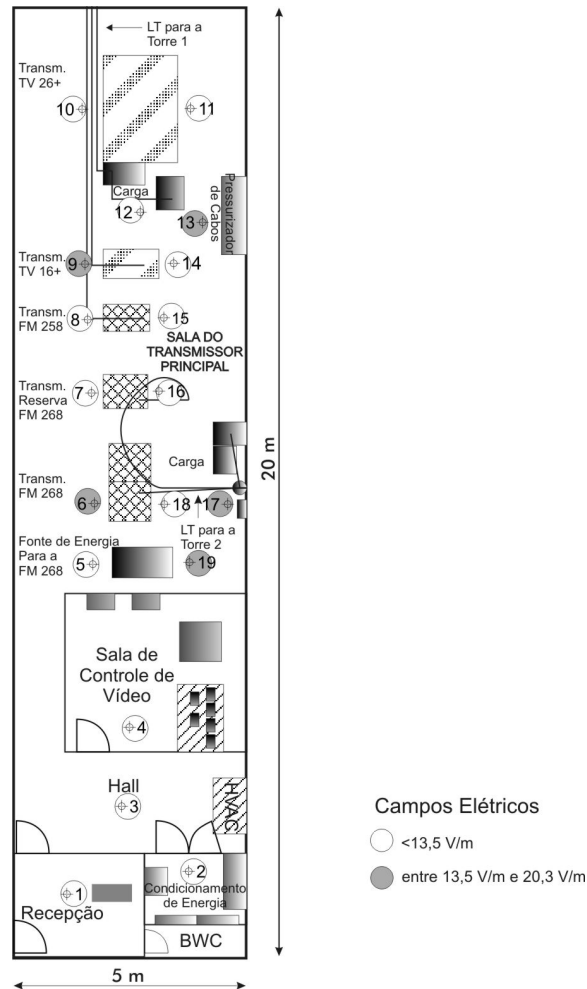


Figura 5.2 – Resultados para a segunda série interna de medições



A primeira conclusão que se pode inferir é que os campos mais fortes não se encontram próximos aos equipamentos que operam com potências mais elevadas. Outra conclusão que se pode inferir da análise dos dados é que normalmente os níveis de campo são mais altos na frente dos transmissores em relação à parte traseira. As medidas da segunda série apresentaram uma redução de nível a partir do ponto 5 interno em direção ao final do edifício em relação a primeira série de medidas. Isso foi devido ao transmissor da Rede Vida (ponto 10 interno) estar operando com uma potência menor.

Como as medidas foram efetuadas em uma faixa muito ampla de frequências o valor de nível máximo considerado é o nível de campo mais restritivo¹². Este tipo de escolha não causa problemas de interpretação quando os níveis medidos estão

¹² Os valores mais restritos de campo estão entre 30 e 400 MHz para as normas do IEEE e entre 10 e 400 MHz para as normas ICNIRP correspondendo a 27 V/m para a exposição geral e 61 V/m para a exposição ocupacional.

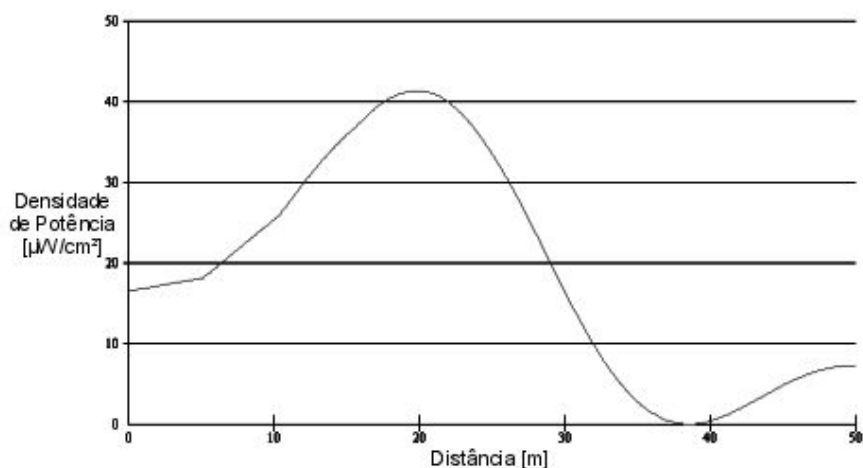
situados abaixo dos níveis máximos. No entanto quando os valores estão muito próximos ou excedem os limites mínimos é necessário realizar medidas com o medidor conformado para avaliar se as contribuições totais estão excedendo as normas e se são necessárias medidas corretivas. Alternativamente pode se usar o analisador de espectro para avaliar as contribuições relativas calculando posteriormente a contribuição individual dos campos em relação aos níveis para cada frequência presente no espectro.

5.2 ANÁLISE DOS CAMPOS MEDIDOS EXTERNOS

O maior campo externo foi detectado na escada da torre 2 (ponto E) com 19,46 V/m para a primeira série. Para a segunda série foram encontrados vários pontos com campo superior ao limite das normas. O maior campo foi encontrado na escada da torre 2 (ponto B4) com 46,14 V/m. Os campos intensos próximos às torres são devido aos problemas de re-irradiação de campos através da estrutura metálica das torres, a figura 5.3 apresenta um exemplo dos campos típicos próximos a torres de FM. As figuras 5.4 e 5.5 apresentam a distribuição dos campos para a primeira e a segunda série.

Assim como na análise dos campos internos nenhum dos pontos estudados ultrapassou os limites máximos para a exposição ocupacional.

Figura 5.3 – Densidades de potência calculadas para a torre de FM, a figura considera uma antena dipolo *shunt* circular com 6 elementos, potência ERP de 25 kW e altura do centro geométrico de 60 m, distâncias contadas a partir do pé da torre.



Fonte: FCC – Media Bureau

Figura 5.4 – Resultados para a primeira série externa de medições

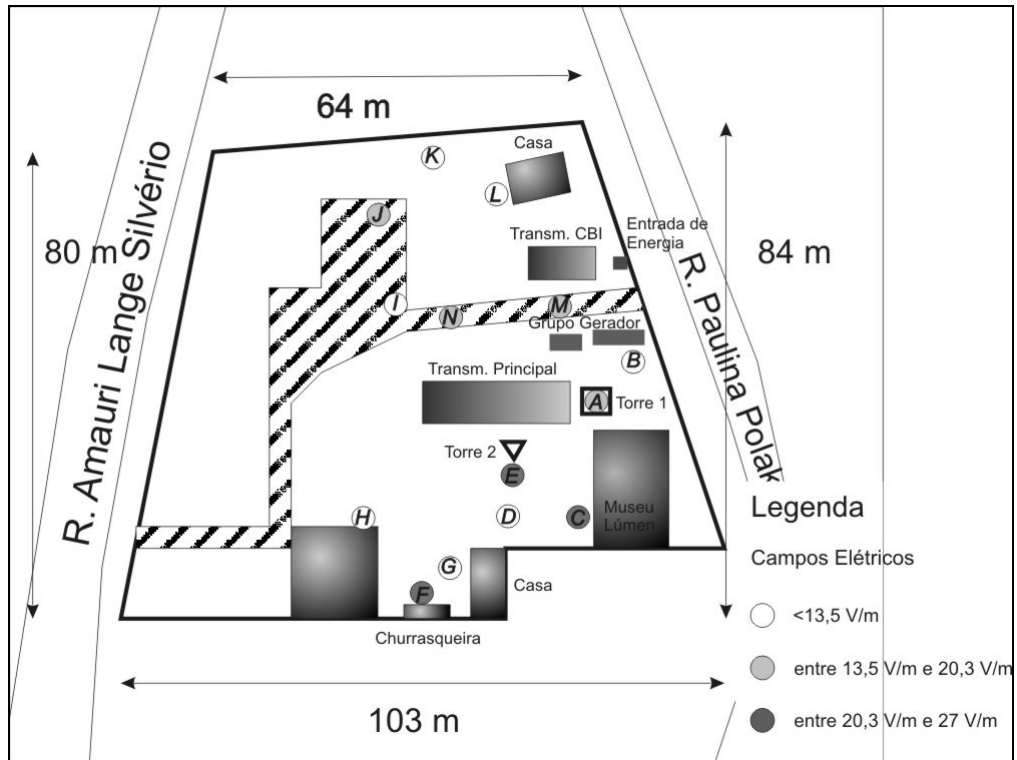
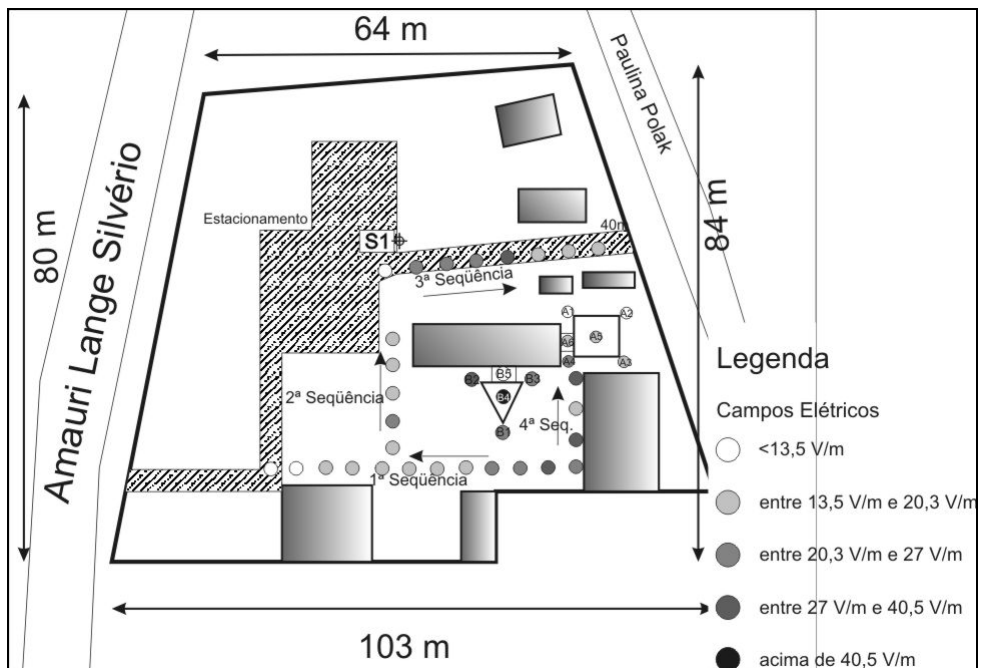


Figura 5.5 – Resultados para a segunda série externa de medições



5.3 ANÁLISE DOS DADOS DO ESPECTRO

Para o analisador AVCOM, os dados das medições relativas do ponto S1 apresentadas na figura 4.11 mostram que 27% da contribuição total aos campos presentes é devida aos canais 258 e 268 de FM integrantes ao CCL. Os canais 16+E, 19- e 26+ não contribuem de forma significativa (< 1%).

Para as medidas do ponto N com o analisador HP pode se ver que os canais 258 e 262 contribuem com 26,5 % do campo total. Os canais de TV UHF 16+E, 19- e 26+ aparecem com uma contribuição total de 3,8 %. Os dados deste analisador são apresentados na figura 4.12. Novamente os canais de TV contribuíram de forma pequena para o campo total.

O analisador Agilent teve sua análise restrita até a frequência de 300 MHz por limitações da antena empregada. Isso na prática significou restringir a análise até o canal 12 de TV VHF. Os canais 258 e 262 (medidos no ponto N) representam 26,8 % dos campos totais nesta análise, figura 4.13. Os canais de TV UHF não puderam ser avaliados por terem frequências de operação acima de 400 MHz.

Foram observadas comunicações nas frequências de radioamador em VHF eventuais com picos em torno de -60 dB relativos as medidas realizadas com o analisador HP. O Serviço de comunicação Móvel Pessoal (SMP), celular, nas bandas A, B e C, não apresentou picos maiores do que -62 dB relativos. Com isso pode-se concluir que este serviço contribuiu de forma irrelevante para a composição total do campo. Não foi observada a presença do Serviço de comunicação Móvel Especializado (SME).

Por limitações físicas os analisadores não tiveram suas antenas colocadas à mesma altura.

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

Não considerar as incertezas de medidas é muito comum em diversos ramos da engenharia elétrica. Em aplicações onde os erros de medida não são decisivos na qualidade final do trabalho esta prática é aceitável. Este trabalho recomenda que para medidas de campo eletromagnético onde são avaliados os níveis que podem por em risco a saúde das pessoas envolvidas é necessária uma total consideração

do cálculo de incerteza. Durante a análise e tratamento dos dados coletados foi identificado que a não consideração da incerteza de medição pode levar a uma interpretação incorreta dos valores encontrados. A consideração apenas do desvio padrão também pode subestimar os valores dos campos. O pior caso encontrado de desvio padrão foi de 0,34 V/m contra uma incerteza expandida de 1,46 V/m para este mesmo ponto. O maior campo encontrado foi de 46,14 V/m com um valor máximo registrado de 49,32 V/m contra 46,16 V/m \pm 5,74 V/m (máximo de 51,88 V/m em um nível de confiança de 95%). Sem a consideração da incerteza de medição é impossível fazer comparações entre as medições realizadas. Os detalhes dos cálculos de incerteza são encontrados no anexo D.

5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA

Para um completo domínio dos campos presentes seria necessário medições de caráter extensivo no ambiente de estudo se possível incluindo as vizinhanças.

Devido à presença de diversas emissoras próximas com possíveis níveis altos de campos eletromagnéticos as conclusões apresentadas aqui não podem ser extrapoladas além dos pontos avaliados. Também não é possível generalizar a aplicação das conclusões para outras emissoras.

As medições realizadas com o medidor EMC-20 não ultrapassaram a incerteza limite de \pm 3 dB. Isso garante a qualidade das medições realizadas. A análise da conformidade dos valores medidos de campo em relação a norma Anatel considerou os extremos superiores de incerteza de forma a considerar o pior caso dentro de um nível de confiança de 95%. Portanto pode se concluir que a maioria dos pontos analisados é segura para a permanência geral (abaixo de 27 V/m). Os pontos que excedem os níveis gerais estão localizados próximos a torre 2, isso requer medidas restritivas a permanência de pessoas não envolvidas no trabalho técnico do CCL. Como os níveis não excedem o limite de 61 V/m (limite ocupacional) pode se concluir que os pontos avaliados são seguros para a permanência ocupacional dentro da semana de trabalho usual¹³.

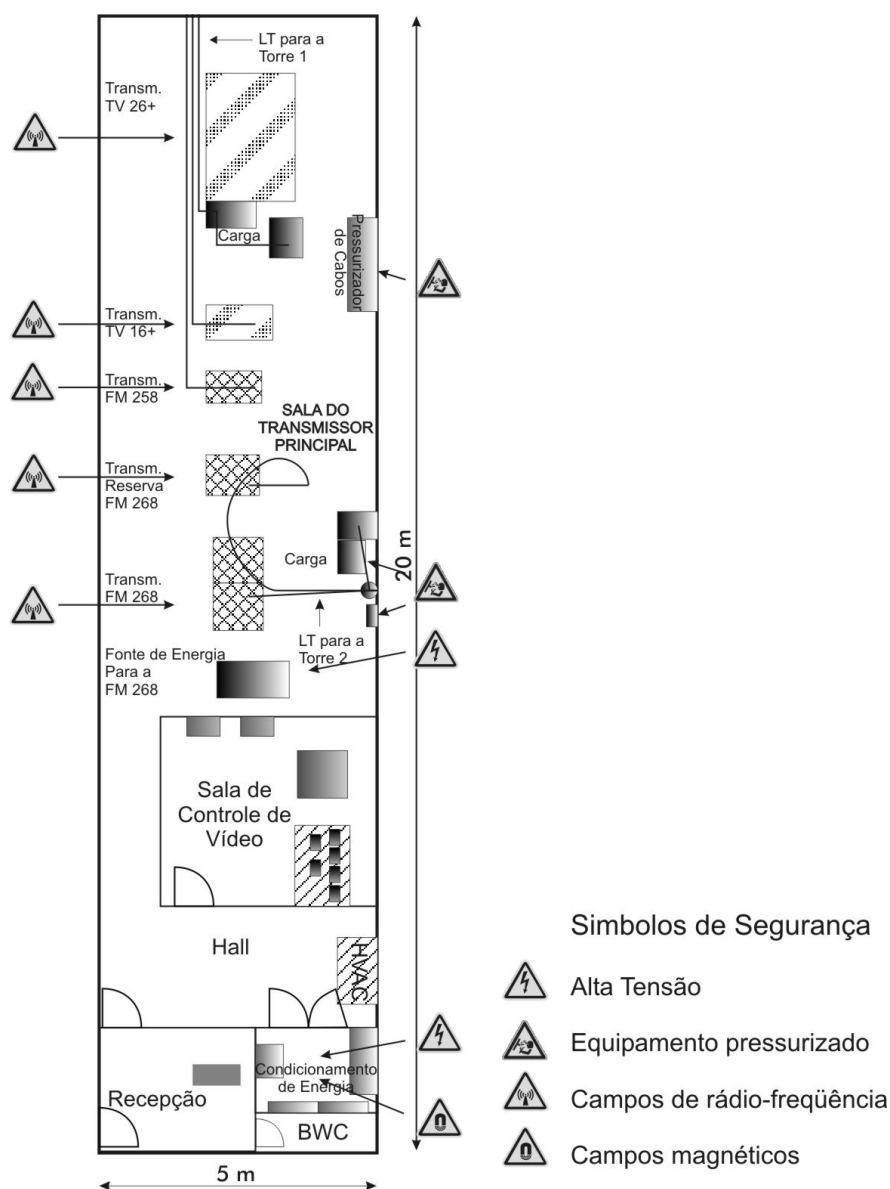
Com relação a possíveis efeitos biológicos o campo mais alto encontrado foi de 46,16 V/m \pm 5,74 V/m, que corresponde a 27 % do valor de 10 mW/cm²

¹³ Considerada como 40 horas de trabalho por semana e 8 horas de trabalho por dia.

(194,2 V/m) no extremo superior. Portanto não são esperados efeitos biológicos observáveis entre as pessoas que trabalham no CCL.

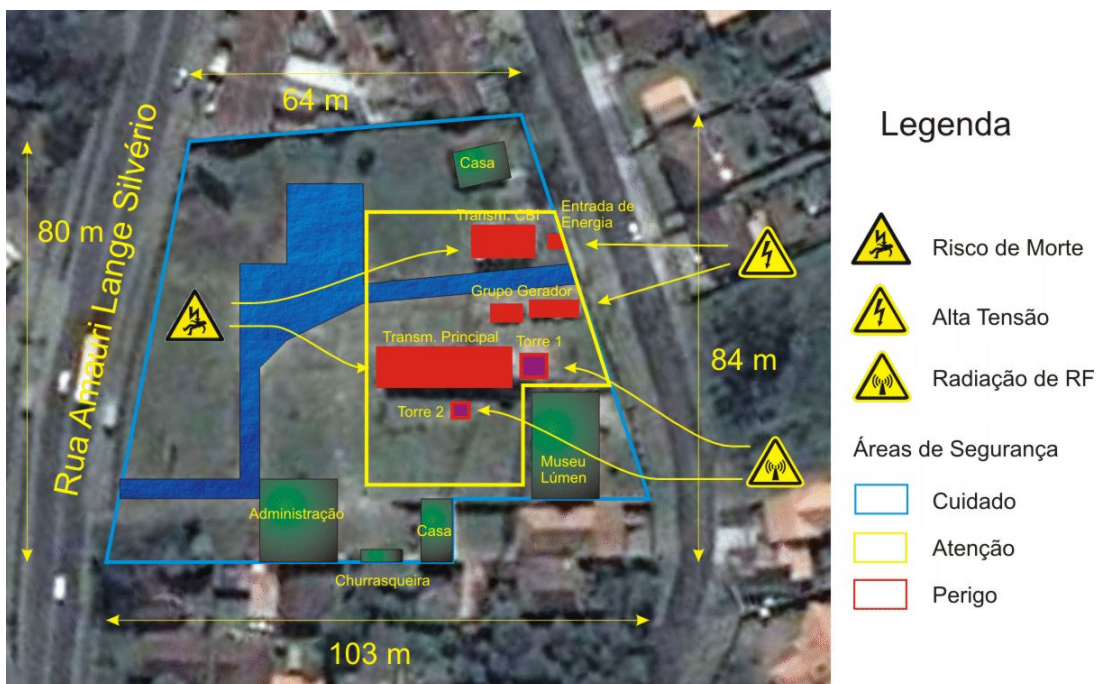
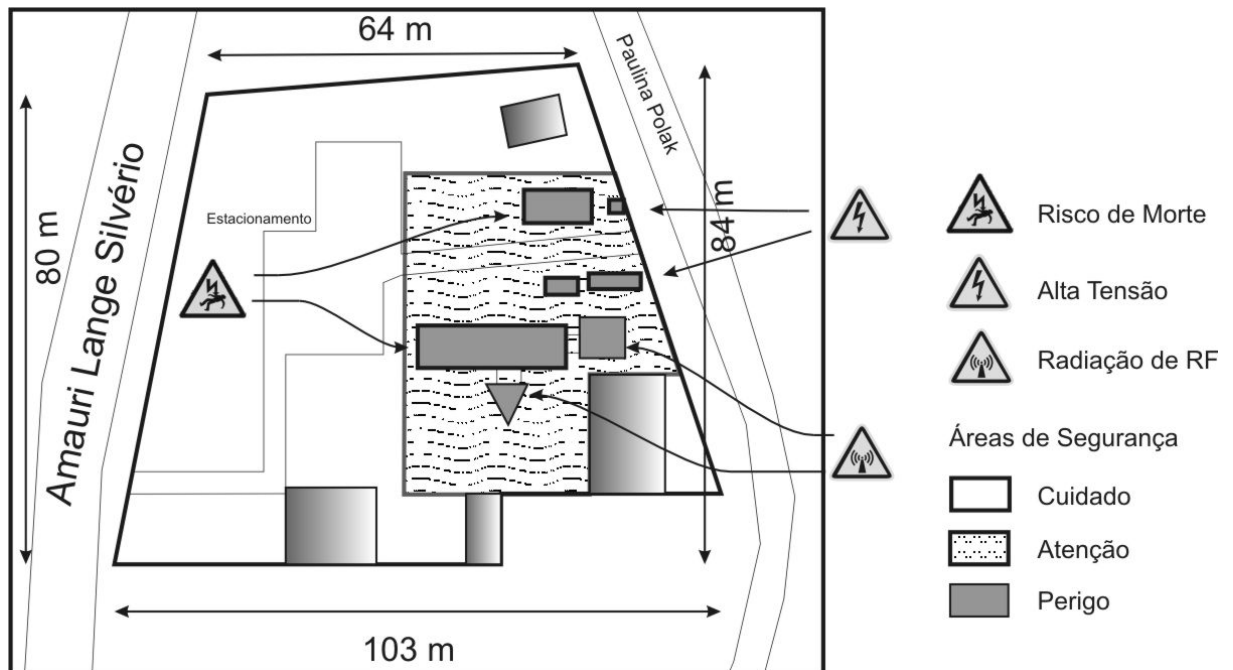
Devido à presença de riscos elétricos de outras naturezas é recomendável que as áreas próximas às torres e o edifício transmissor principal tenham o acesso restrito apenas ao pessoal destinado ao trabalho. Como sugestão o local em questão deve adotar símbolos visuais que alertem as pessoas sobre a natureza dos riscos encontrados no ambiente. A figura 5.6 mostra a região externa com os símbolos apropriados para avisos de perigo segundo as normas DIN 4844-1 2002 [37], internacionalmente aceitas para simbologia de segurança.

Figura 5.6 Riscos presentes dentro do edifício de transmissores



Para o ambiente externo são identificados os seguintes riscos apresentados na figura 5.7.

Figura 5.7 – Terreno do Centro de Comunicação Lúmen separado em áreas de risco, figuras preto e branco e cor.



A divisão do terreno foi realizada segundo as áreas de risco estabelecidas de acordo com a NR-26 [38] onde a cor azul representa as áreas de risco leve identificadas pela palavra *Cuidado*, a cor amarela identifica as áreas de risco leve com a palavra *Atenção* e as áreas de alto risco são identificadas pela cor vermelha e a palavra *Perigo*.

O FCC [39] também recomenda as placas de avisos mostradas na figura 5.8 para sinalizar as áreas.

Figura 5.8 – Placas de sinalização para radiação de RF



Fonte: Richard Tell Associates (adaptado)

Eventualmente a instalação pode ser classificada segundo a recomendação ITU K.52 [36]. Neste caso o terreno seria classificado em três zonas.

A primeira é chamada de zona de conformidade onde os níveis geral e ocupacional estão abaixo dos limites. Esta área seria mais abrangente do que a apresentada na figura 5.7 e corresponde a área azul mais uma grande parte da área em amarelo de forma a abranger todos os pontos menos os que tiveram um campo acima do limite de 27 V/m. A figura 5.5 apresenta os pontos que excederam este valor.

A segunda área é chamada de zona ocupacional, onde os níveis excedem os níveis gerais mas não excedem os níveis ocupacionais. Neste ponto seriam incluídos os pontos acima de 27 V/m da figura 5.5.

A terceira área é chamada de zona de excesso, provavelmente as únicas áreas que excederiam os níveis ocupacionais seriam as escadarias das torres que dão acesso às antenas.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou estudar o problema da medição dos campos eletromagnéticos em emissoras de radiodifusão. Os dados brutos das medidas realizadas passaram por um tratamento metrológico para adequar os resultados de acordo com as práticas internacionais de avaliação de incertezas de medida. Isto garante que os dados possam ser comparados posteriormente com outras medidas que sigam os mesmos métodos. Foi também feita a consideração sobre possíveis efeitos biológicos no CCL, não sendo encontrados campos significativos que possam apresentar qualquer manifestação biológica perceptível dentro dos níveis normalmente aceitos no ocidente.

Foi constatado que para realizar a correta avaliação dos campos eletromagnéticos em locais multi-usuários é necessária uma avaliação do espectro dos campos presentes. Este tipo de avaliação é necessária porque os níveis de campo são variáveis de acordo com a frequência.

Durante o processo de medição, foram identificados poucos pontos que excedem os limites gerais de exposição ao campo eletromagnético. Nenhum ponto medido excede os níveis de exposição ocupacional, no entanto devido à métrica pontual de amostragem não é possível afirmar que o terreno inteiro esteja livre de pontos de maior intensidade de campo. De acordo com as medições também pode se constatar que os campos se distribuem de forma complexa e nem sempre são maiores perto das fontes mais intensas.

A avaliação detalhada e adequada das incertezas de medição também demonstrou a sua importância na interpretação dos campos presentes e deve ser sempre considerada neste tipo de trabalho.

Todos estes aspectos reafirmam a importância da realização deste tipo de medida para garantir que os trabalhadores e o público em geral não sejam submetidos a campos eletromagnéticos excessivos.

7 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a realização de medidas extensivas comparando outras métricas de amostragem. Outra necessidade que não pode ser abrangida neste trabalho é a comparação de medidas entre os medidores de banda larga com um analisador de espectro utilizando antenas devidamente calibradas. Devido ao funcionamento das emissoras de radiodifusão por períodos contínuos de 24 horas com potências constantes seria útil estudar as possíveis variações dos campos, principalmente porque podem haver variações na potência final devido as variações das tensões de alimentação durante o dia. Por último recomenda-se um trabalho que faça medições extensivas nas vizinhanças do Centro de Comunicação Lúmen para avaliar o impacto de todas as emissoras presentes no bairro do Pilarzinho.

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS EMISSORAS EM ESTUDO

O Centro de Comunicação Lúmen está localizado no bairro do Pilarzinho. Ele é composto de 4 emissoras que fazem parte da Rede Católica e uma emissora que ocupa o terreno por aluguel. A tabela A1 trás a lista das emissoras.

Tabela A1 – Emissoras localizadas no Centro de Comunicação Lúmen

<i>Entidade</i>	<i>Nome de Fantasia</i>
Fundação Nossa Senhora do Rocio	Rádio Clube FM
Fundação Champagnat	Rádio Lúmen FM
Televisão Independente de São José do Rio Preto Ltda	Rede Vida
Fundação Champagnat	Canal Futura
Canal Brasileiro da Informação CBI Ltda	Mix TV

Endereço: Rua Amauri Lange Silvério 300, Curitiba.

Coordenadas: 25°23'38" S, 49°17'26" W

A seguir são apresentados os dados relevantes¹⁴ para a análise dos campos irradiados pelas emissoras de FM e TV na cidade de Curitiba.

CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSORAS

CENTRO DE COMUNICAÇÃO LÚMEN

Canal: 268.

Frequência: 101,5 MHz.

Potência ERP média: 152,3 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Azimute: 135°.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados alimentados em série. Harris FMH-10AC.

Gmax. =7,54 dBd.

Número de Níveis: 10.

Altura do centro geométrico: 52,5 m.

Canal: 258-E.

Frequência: 99,5 MHz.

Potência ERP média: 5,37 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Azimute: 180°.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados alimentados em derivação. Transtel TTFM 3A-3.

Gmax.=1,98 dBd.

Número de Níveis: 3.

Altura do centro geométrico: 50 m.

¹⁴ Os códigos de modulação seguem a nomenclatura adotada pela ITU.

Canal: 26+.
Frequência: 542 a 548 MHz.
Potência ERP média: 8,39 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Azimute: 123°.
Tipo de Antena: Dipolos Slot. Harris TAD SUDA 4/16.
Gmax.=8,73 dBd.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: 68 m.

Canal: 19-.
Frequência: 500 a 506 MHz.
Potência ERP média: 26,52 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Azimute: 270°.
Tipo de Antena: Dipolos Slot. Transtel TTSL-4UO.
Gmax.=6,53 dBd.
Número de Fendas: 4.
Altura do centro geométrico: 72 m.

Canal: 16+E.
Frequência: 482 a 488 MHz.
Potência ERP média: 33,63 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Azimute: 0°.
Tipo de Antena: Dipolos Slot em 4 setores direcional. Transtel TTSL-8U.
Gmax.=12 dBd.
Número de Fendas: 4.
Altura do centro geométrico: 59 m.

Figura A1 – Discriminação dos conjuntos irradiantes do grupo principal



OUTRAS EMISSORAS

Emissoras de Rádio FM

Canal: 203.

Frequência: 88,5 MHz.

Potência ERP média: 22,12 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados alimentados em série. Teel BECP-6L.

Gmax.=5,05 dBd.

Número de Níveis: 6.

Altura do centro geométrico: 54 m.

Canal: 211.

Frequência: 90,1 MHz.

Potência ERP média: 138,7 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados alimentados em série. ERI SHPX-6AC.

Gmax.=8,69 dBd.

Número de Níveis: 6.

Altura do centro geométrico: 75 m.

Canal: 217.

Frequência: 91,3 MHz.

Potência ERP média: 15,25 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. Andrew FMB-4.

Gmax.=3,21 dBd.

Número de Níveis: 4.

Altura do centro geométrico: 43 m.

Canal: 222.

Frequência: 92,3 MHz.

Potência ERP média: 181,5 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados série. Harris FMWH-12AC.

Gmax.=8,37 dBd.

Número de Níveis: 12.

Altura do centro geométrico: 62 m.

Canal: 225E.

Frequência: 92,9 MHz.

Potência ERP média: 27,54 kW.

Modulação: F3E OU F8E.

Polarização: Circular.

Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. Quasar QTAD/FM7/8.

Gmax.=5,88 dBd.

Número de Níveis: 6.

Altura do centro geométrico: 37 m.

Canal: 230.
Frequência: 93,9 MHz.
Potência ERP média: 24,74 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. Mectronica MT-FMA 06.
Gmax.=5,09 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 37 m.

Canal: 236.
Frequência: 95,1 MHz.
Potência ERP média: 81,36 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. TEEL BECP-8H.
Gmax.=6,34 dBd.
Número de Níveis: 8.
Altura do centro geométrico: 37 m.

Canal: 242.
Frequência: 96,3 MHz.
Potência ERP média: 15,85 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados série. Harris FMXL-4C.
Gmax.=3,29 dBd.
Número de Níveis: 4.
Altura do centro geométrico: 35 m.

Canal: 246E.
Frequência: 97,1 MHz.
Potência ERP média: 92,59 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados alimentados em série. Mectronica MT-FMA-08.
Gmax.=6,41 dBd.
Número de Níveis: 8.
Altura do centro geométrico: 42 m.

Canal: 249.
Frequência: 97,7 MHz.
Potência ERP média: 43,79 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. RFTelecom RFTFMC 06.
Gmax.=4,78 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 60 m.

Canal: 255.
Frequência: 98,9 MHz.
Potência ERP média: 39,4 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados série. Transtel TTFM3A-5.
Gmax.=4,29 dBd.
Número de Níveis: 5.
Altura do centro geométrico: 71,6 m.

Canal: 262.
Frequência: 100,3 MHz.
Potência ERP média: 240,27 kW.
Modulação: FM.
Polarização: Vertical.
Tipo de Antena: Painéis Dipolos em 3 setores. Kathrein 775 320.
Gmax.=10,7 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 36 m.

Canal: 272.
Frequência: 102,3 MHz.
Potência ERP média: 83,6 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados série. Collins G4CPH-4.
Gmax.=4,82 dBd.
Número de Níveis: 4.
Altura do centro geométrico: 74 m.

Canal: 280.
Frequência: 103,9 MHz.
Potência ERP média: 100,47 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Azimute: 60°.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados série. Mectronica MT-FM-P6.
Gmax.=5,08 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 45,6 m.

Canal: 288.
Frequência: 105,5 MHz.
Potência ERP média: 86,85 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Azimute: 60°.
Tipo de Antena: Dipolos curvos espiral. ERI SHPX-6AC.
Gmax.=5,18 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 57 m.

Canal: 293.
Frequência: 106,5 MHz.
Potência ERP média: 15,6 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. TEEL BECP-4L.
Gmax.=3,22 dBd.
Número de Níveis: 4.
Altura do centro geométrico: 35 m.

Canal: 298E.
Frequência: 107,5 MHz.
Potência ERP média: 2,06 kW.
Modulação: F3E OU F8E.
Polarização: Circular.
Tipo de Antena: Dipolos inclinados shunt. Ideal FMV6.
Gmax.=5,05 dBd.
Número de Níveis: 6.
Altura do centro geométrico: 28 m.

Emissoras de Televisão

Canal: 2+.

Frequência: 54 a 60 MHz.

Potência ERP média: 83,9 kW.

Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.

Polarização: Horizontal.

Tipo de Antena: Superturnstyle. Harris TAB-6L.

Gmax.=7,55 dBd.

Número de Níveis: 3.

Altura do centro geométrico: 75,6 m.

Canal: 4-.

Frequência: 66 a 72 MHz.

Potência ERP média: 91,6 kW.

Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.

Polarização: Horizontal.

Tipo de Antena: Superturnstyle. Jampro JTA-4.

Gmax.=6 dBd.

Número de Níveis: 4.

Altura do centro geométrico: 48,3 m.

Canal: 6+.

Frequência: 82 a 88 MHz.

Potência ERP média: 60 kW.

Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.

Polarização: Horizontal.

Tipo de Antena: Superturnstyle. Jampro JTA-4/4-6.

Gmax.=6,4 dBd.

Número de Níveis: 4/4.

Altura do centro geométrico: 67,3 m.

Canal: 7-.

Frequência: 174 a 180 MHz.

Potência ERP média: 13,6 kW.

Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.

Polarização: Horizontal.

Tipo de Antena: Superturnstyle. Dielectric THP-C2-4-1(7).

Gmax.=6,23 dBd.

Número de Níveis: 4-3-3-2.

Altura do centro geométrico: 84 m.

Canal: 9-E.

Frequência: 186 a 192 MHz.

Potência ERP média: 28,12 kW.

Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.

Polarização: Horizontal.

Tipo de Antena: Superturnstyle. Mectronica MT-ATS-4/09.

Gmax.=6,33 dBd.

Número de Níveis: 4.

Altura do centro geométrico: 72,5 m.

Canal: 12.
Frequência: 204 a 210 MHz.
Potência ERP média: 100 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Superturnstyle. Transtel TT-2CH.
Gmax.=3,62 dBd.
Número de Níveis: 2.
Altura do centro geométrico: 82,3 m.

Canal: 16+E.
Frequência: 482 a 488 MHz.
Potência ERP média: 33,62 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Transtel TTSL 8U.
Gmax.=12 dBd.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: 59 m.

Canal: 19-.
Frequência: 500 a 506 MHz.
Potência ERP média: 26,52 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Transtel TTSL 4UO.
Gmax.=6,53 dBd.
Número de Fendas: 4.
Altura do centro geométrico: 72 m.

Canal: 21+.
Frequência: 512 a 518 MHz.
Potência ERP média: 5,86 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Transtel TTSL 8U.
Gmax.=12 dBd.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: 68 m.

Canal: 26+E.
Frequência: 542 a 548 MHz.
Potência ERP média: 2,35 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Harris TAD-SUDA-4/16.
Gmax.=8,73 dBd.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: 68 m.

Canal: 29+.
Frequência: 560 a 566 MHz.
Potência ERP média: 14,95 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Gober G8UA.
Gmax.=12 dBd.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: 61 m.

Canal: 32.
Frequência: 578 a 584 MHz.
Potência ERP média: Máxima permitida 160 kW, utilizada = desconhecida.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot modelo desconhecido.
Gmax.= Desconhecido
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: Desconhecido.

Canal: 46+.
Frequência: 662 a 668 MHz.
Potência ERP média: 6,98 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Azimute: 180°.
Tipo de Antena: Dipolos Slot. Mectronica MT-SL 4UA.
Gmax.=9,03 dBd.
Número de Fendas: 4.
Altura do centro geométrico: 78,5 m.

Canal: 51-.
Frequência: 692 a 698 MHz.
Potência ERP média: 4,8 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot. Gober G4UA.
Gmax.=9 dBd.
Número de Fendas: 4.
Altura do centro geométrico: 59 m.

Canal: 57.
Frequência: 728 a 734 MHz.
Potência ERP média: ? Máxima = 160 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot modelo desconhecido.
Gmax.= Desconhecido.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: Desconhecido.

Canal: 59.
Frequência: 740 a 746 MHz.
Potência ERP média: ? Máxima = 160 kW.
Modulação: C3F negativa e F3E OU F8E.
Polarização: Horizontal.
Tipo de Antena: Slot modelo desconhecido.
Gmax.= Desconhecido.
Número de Fendas: 8.
Altura do centro geométrico: Desconhecido

ANEXO B – LIMITES INTERNACIONAIS DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO

Os níveis máximos apresentados aqui são baseados principalmente na referência ITU-R Bs 1698 [30] seguida das referências [23] e [24]. As tabelas B1, B2 e B3 apresentam respectivamente os limites derivados de campo elétrico e magnético e os limites de densidade de potência.

Tabela B1 - Comparação entre os limites derivados; Campo Elétrico

(Valores RMS, V/m)*

Faixa de Freq.	IEEE/ANSI		ICNIRP		GOST/ SanPiN	
	Ocupacional	Geral	Ocupacional	Geral	Ocupacional	Geral
0,6 – 3 kHz						
3 – 10 kHz						
10 – 30 kHz					500 ^{<2>} [1 000] ^{<2>}	
30 – 38 kHz						25
38 – 65 kHz						
65 – 100 kHz						
100 – 410 kHz		614	610 <1>	87		
410 – 600 kHz					(20 000/T) ^{0,5} [500] ^{<2>}	15
600 – 610 kHz	1 842					
610 – 680 kHz						
680 – 920 kHz						
0,92 – 1 MHz						
1 – 1,34 MHz						
1,34 – 3 MHz			610/f	87/f ^{0,5}		
3 – 10 MHz	1 842/f	823,8/f			(7 000/T) ^{0,5} [296] ^{<2>}	10
10 – 12 MHz						
12 – 30 MHz						
30 – 50 MHz						
50 – 60 MHz						
60 – 100 MHz	61,4	27	61	27	(800/T) ^{0,5} [80] ^{<2>}	3 ^{<3>}
100 – 137 MHz		a)				
137 – 200 MHz						
200 – 300 MHz						
300 – 400 MHz						
400 – 800 MHz						
0,8 – 1,1 GHz			3f ^{0,5}	1,375f ^{0,5}		
1,1 – 1,55 GHz						
1,55 – 2 GHz						
2 – 3 GHz						
3 – 15 GHz						
15 – 100 GHz			137	61		
100 – 300 GHz						

f: Freqüência em MHz, a não ser quando especificado, T: Tempo em horas

* Os valores devem ser as médias sobre 6 min, exceto como mostrado abaixo:

a) $f^2/0,3$ min

b) 30 min

<1> Este valor esta entre a faixa de 0,82 kHz a 1 MHz

<2> Limite máximo

<3> O limite máximo para transmissores de rádio e TV entre 48,5 a 108 MHz e 174 a 230 MHz é calculado como $E = 21f^{0,37}$ [V/m]

Tabela B2 - Comparação entre os limites derivados;

Campo Magnético (Valores RMS, A/m)^{<1>, <2>}

Faixa de Freq.	IEEE/ANSI		ICNIRP		GOST/ SanPiN	
	Ocupacional	Geral	Ocupacional	Geral	Ocupacional	Geral
0,6 – 3 kHz			24,4	4/f	50 [100] ^{<3>}	
3 – 10 kHz						
10 – 30 kHz						
30 – 38 kHz						
38 – 65 kHz						
65 – 100 kHz	16,3/f		1,6/f	5 <2>	(200/T) ^{0,5} [50] ^{<3>}	
100 – 140 kHz						
140 – 150 kHz						
150 – 300 kHz						
300 – 535 kHz						
535 – 610 kHz						
610 – 680 kHz						
680 – 920 kHz						
0,92 – 1 MHz						
1 – 1,34 MHz						
1,34 – 3 MHz						
3 – 10 MHz						
10 – 12 MHz						
12 – 30 MHz						
30 – 50 MHz						
50 – 60 MHz	158,3/f ^{1,668}	0,16	0,073	(0,72/T) ^{0,5} [3] ^{<3>}		
60 – 100 MHz						
100 – 137 MHz						
137 – 200 MHz	0,163	0,0729 a)				
200 – 300 MHz						
300 – 400 MHz			0,008f ^{0,5}	0,0037f ^{0,5}		
400 – 800 MHz						
0,8 – 1,1 GHz						
1,1 – 1,55 GHz						
1,55 – 2 GHz						
2 – 3 GHz						
3 – 15 GHz						
15 – 100 GHz						
100 – 300 GHz						

f: Frequência em MHz, a não ser quando especificado, T: Tempo em horas

<1> Os valores devem ser as médias sobre 6 min, exceto como mostrado abaixo:

a) $0,0636 f^{1,337}$ min

b) 30 min

<2> Este valor esta entre a faixa de 0,82 kHz a 1 MHz

<3> Limite máximo

Tabela B3 - Comparação entre os limites derivados;

Densidade de Potência (Valores RMS, W/m²)^{<1>}

Faixa de Freq.	IEEE		ANSI ^{<1>}		ICNIRP		GOST/ SanPiN	
	Ocup.	Ger.	Ocup.	Ger.	Ocup.	Geral	Ocupacion al	Geral
0,6 – 3 kHz				10x10 ⁶				
3 – 10 kHz								
10 – 30 kHz								
30 – 38 kHz								
38 – 65 kHz								
65 – 100 kHz								
100 – 410 kHz	9 000	1000	1 000	10 ⁵ /f ²				
410 – 600 kHz								
600 – 610 kHz								
610 – 680 kHz								
680 – 920 kHz								
0,92 – 1 MHz								
1 – 1,34 MHz	9 000/f ²	1800/f ²	1 800/f ²					
1,34 – 3 MHz								
3 – 10 MHz								
10 – 12 MHz	10	2	2	(9,4x10 ⁶)/f ^{8,336}	10	2		
12 – 30 MHz								
30 – 50 MHz								
50 – 60 MHz								
60 – 100 MHz								
100 – 137 MHz								
137 – 200 MHz	f/30	2	2					
200 – 300 MHz								
300 – 400 MHz								
400 – 800 MHz								
0,8 – 1,1 GHz								
1,1 – 1,55 GHz								
1,55 – 2 GHz	100	f/200	f/200		f/40	f/200	2/T [10] ^{<4>}	0,10
2 – 3 GHz								
3 – 15 GHz								
15 – 100 GHz								
100 – 300 GHz								
	(90f-7000)/ 200	f/3 000						

f: Frequência em MHz, a não ser quando especificado, T: Tempo em horas

<1> Abaixo de 100 MHz, os valores equivalentes para a onda plana são dados para os campos E e H.

<2> Como dado por alguns medidores comerciais disponíveis.

<3> Os valores devem ser as médias sobre 6 min, exceto como mostrado abaixo:

- a) f²/0,3 min
- b) 30 min
- c) 0,033 6f^{1,337}
- d) 90 000/f min
- e) 616 000/f^{1,2} min

<4> Limite máximo

ANEXO C - DOSIMETRIA DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

As primeiras técnicas de dosimetria foram desenvolvidas quando o eletromagnetismo foi usado pela primeira vez na medicina. As primeiras tentativas consistiram na medida da corrente de radiofrequência na saída de eletrodos e bobinas em aplicações de diatermia em ondas curtas. [21]

Esta técnica era inadequada e em 1941 Mittleman concebeu e conduziu a primeira dosimetria verdadeira quantificando o aumento de temperatura em um tecido exposto em termos da razão da energia absorvida em termos do volume normalizado, que na época foi expresso em watts por $1\ 000\ \text{cm}^3$. Na época este trabalho foi pouco utilizado e virtualmente todos os efeitos biológicos relatados na época foram relatados em relação a densidade de potência incidente, tornando difícil, se não impossível, correlacionar os dados de experimentos com animais aos esperados no homem. Posteriormente Schwan e outros pesquisadores desenvolveram os fundamentos do trabalho analítico por terem caracterizado as propriedades biológicas dos tecidos.

Durante o final da década de 1960 foram desenvolvidas técnicas de dosimetria com massa normalizada através de fantasmas por Justensen e King e Guy passou a utilizar a termografia para estudar as distribuições de SAR. Em 1980 Hunt desenvolveu o calorímetro de célula dupla.

FUNDAMENTOS

A dosimetria consiste em avaliar a dose de radiação absorvida pelo corpo. Ela também tem a função de relacionar os campos externos incidentes com os campos resultantes internos. Em princípio os campos internos podem ser calculados resolvendo as Equações de Maxwell, no entanto isto é extremamente difícil e é feito apenas em casos muito especiais.

A quantidade dosimétrica mais importante entre 100 kHz e 10 GHz é a relação de absorção específica de energia SAR. O SAR é definido como razão de energia absorvida em uma massa média.

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (\text{C1})$$

e é relacionado com o campo E interno por

$$\text{SAR} = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} [\text{W/kg}] \quad (\text{C2})$$

onde σ é a condutividade do tecido em S/m, ρ é densidade em kg/m^3 e E é a intensidade de campo elétrico rms em V/m. Esta relação é fundamental para o entendimento da derivação dos níveis de campo elétrico definidos nas normas, normalmente as normas derivam os campos elétrico e magnético em relação ao tecido muscular. Os valores de σ , ρ são variáveis de acordo com a frequência e μ é muito próximo de 1¹⁵. Assim o SAR é uma medida de campo elétrico e indiretamente do campo magnético e da densidade de corrente no ponto de estudo é também uma medida de razão de aquecimento dT/dt , assim:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\text{SAR}}{c} [\text{K/s ou } ^\circ\text{C/s}] \quad (\text{C3})$$

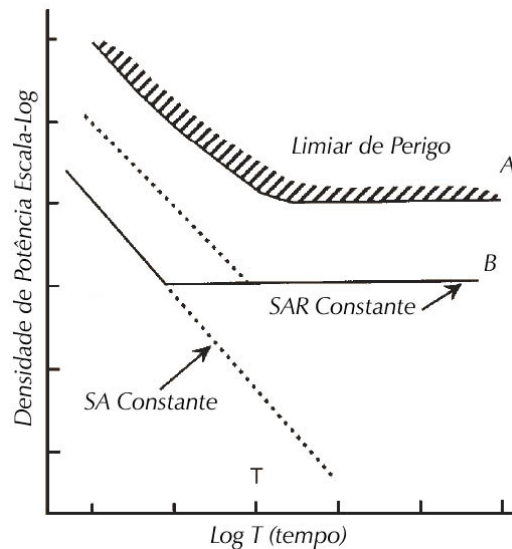
onde c é o calor específico do tecido em J/(kg K). Isto assume as condições não termodinâmicas como sendo ideais, i.e., sem perda de calor por difusão térmica, troca de calor por radiação ou termoregulação.

Uma SAR de 1 W/kg é associado a uma razão de aquecimento menor do que 0,3 mK/s no tecido muscular ($c \approx 3,5 \text{ kJ}/(\text{kg K})$), uma razão muito pequena mesmo sem sangue ou outro tipo de refrigeração, com essa razão seria necessário mais de uma hora para aumentar a temperatura em 1 °C. O SAR é um conceito chave no planejamento e análise de experimentos, ambos *in vitro* e *in vivo* e serve como base das normas contemporâneas para exposição.

Para entender os experimentos em microondas bem como sua relação com as normas de segurança, é útil referi-se ao “diagrama de exposição” apresentado na figura C1.

¹⁵ Os valores para a frequência de 2450 MHz são: $\sigma=1,96 \text{ S/m}$ e $\epsilon = 51,8$. O valor de μ é sempre próximo de 1 porque os tecidos humanos não são magnéticos.

Figura C1 – Diagrama de exposição, corresponde aos limiares de vários efeitos e riscos expressos em função do tempo.



Fonte: Ostepchuk 2001

Neste diagrama com coordenadas logarítmicas da potência (ou densidade de potência ou SAR), na ordenada e tempo na abscissa, pode se desenhar os limiares de vários efeitos e riscos. Por exemplo, para aquecer uma amostra finita a uma dada temperatura, o limiar é uma SAR constante para longos períodos de tempo, e em curtos períodos onde não existe perda de calor da amostra, a curva de limiar é uma linha de absorção específica constante ($SA = SAR \times \text{tempo}$) que está a 45° da horizontal. A interseção das duas linhas, constante SAR e constante AS, determina a constante de tempo térmica ou “tempo médio” associado nas normas de exposição [21].

QUANTIDADES E UNIDADES

Enquanto os campos elétricos são associados somente com a presença de carga elétrica, os campos magnéticos são resultado do movimento físico da carga elétrica (corrente elétrica). Um campo elétrico \vec{E} , exerce força em uma carga elétrica e é expressado em volt por metro (V/m).

Similarmente os campos magnéticos podem exercer força física em cargas elétricas, mas somente se estas cargas estão em movimento. Os campos elétrico e magnético são vetoriais. Um campo magnético pode ser expresso de duas maneiras,

uma densidade de fluxo magnético, \bar{B} , expresso em tesla (T), ou como intensidade de campo magnético, \bar{H} , expresso em ampere por metro (A/m). As duas quantidades são relacionadas pela expressão:

$$\bar{B} = \mu \bar{H} \quad (C4)$$

onde μ é a constante de proporcionalidade (permeabilidade magnética); no vácuo e no ar, bem como em materiais não magnéticos (incluindo biológicos), $\mu = 1,2566 \times 10^{-6}$ sendo expresso em henry por metro (H/m). Assim para descrever um campo magnético para propósitos de proteção somente uma das quantidades \bar{B} ou \bar{H} precisa ser especificada.

Na região de campo distante, o modelo de onda plana é uma boa aproximação para a propagação de campos eletromagnéticos. As características da onda plana são:

- As frentes de onda têm uma geometria planar;
- Os vetores \bar{E} e \bar{H} e suas direções de propagação são mutuamente perpendiculares;
- As fases dos campos \bar{E} e \bar{H} são a mesma e o quociente da amplitude de E/H é constante através do espaço. No espaço livre, a relação entre as amplitudes é $\eta = E/H \cong 377 \Omega$, que é a impedância característica do espaço livre;
- A densidade de potência, \mathbf{S} , i.e. a potência por unidade de área normal a direção de propagação, é relacionada aos campos elétrico e magnético pela expressão:

$$\bar{S} = \bar{E} \bar{H} = E^2 / 377 = 377 H^2 \quad (C5)$$

A situação na região de campo próximo é bem mais complicada porque os máximos e mínimos de E e H não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação como ocorre no campo distante. No campo próximo a estrutura do campo eletromagnético pode ser altamente não homogênea e pode haver variações substanciais em relação a impedância da onda plana. Isto significa que podem existir campos E puros em algumas regiões e campos puros H em outras. Exposições no campo próximo são mais difíceis de especificar, porque ambos os campos E e H

devem ser medidos e porque os padrões de campo são mais complicados. Nesta situação, a densidade de potência não é mais uma quantidade apropriada pra expressar restrições de exposição como era no campo distante.

MÉTRICAS DE EXPOSIÇÃO

A exposição aos campos eletromagnéticos resulta em correntes internas no corpo e em absorção de energia nos tecidos envolvidos que depende dos mecanismos de acoplamento envolvidos e da frequência. O campo elétrico interno e a densidade de corrente são relacionadas pela Lei de Ohm:

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} \quad (C6)$$

onde σ é a condutividade do meio. [41]

Analogamente pode se relacionar o campo elétrico interno com o campo deslocamento elétrico \bar{D} através da:

$$\bar{D} = \varepsilon \bar{E} \quad (C7)$$

A distribuição dos campos internos também está relacionada às propriedades dielétricas dos tecidos, da geometria do corpo, da orientação dos vetores de campo incidentes e à exposição se dar em campos próximos ou distantes, para citar alguns. Apesar dos modernos métodos de simulação numérica serem usados para determinar as distribuições de campos internos para complexos modelos heterogêneos, propriedades simples mais importantes podem ser ilustradas por modelos simples.

A tabela C1 mostra uma tabulação dos valores aproximados para tecidos musculares obtidos em [40].

A permissividade complexa é dada por

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 + j \frac{\sigma}{\omega} \quad (C8)$$

onde $\varepsilon_0 = 8,8541 \times 10^{-12}$ F/m. A profundidade de penetração δ , i.e., a distância do limite de um meio (pele do corpo humano no caso) até o ponto onde a intensidade

dos campos ou a densidade corrente induzida é reduzida a $\frac{1}{e}$ do valor inicial no meio é dada para uma onda plana incidente em uma superfície planar por:

$$\delta = \frac{1}{\omega} \left[\left(\frac{\mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}{2} \right) \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon_r \epsilon_0} \right)^2} - 1 \right) \right]^{-1/2} \quad (C9)$$

Pode ser visto na tabela C1 que a profundidade de penetração em baixas frequências de RF é consideravelmente maior que 10 cm mas cai rapidamente para um milímetro ou menos para frequências com comprimento de ondas milimétricas.

Tabela C1 – Parâmetros dielétricos aproximados para tecidos musculares *

<i>Frequência (MHz)</i>	<i>Constante dielétrica (ϵ_r)</i>	<i>Condutividade (σ) (S/m)</i>	<i>Profundidade de Penetração (cm)</i>
0,1	1850	0,56	213
1,0	411	0,59	70
10	131	0,68	13,2
100	79	0,81	7,7
1 000	60	1,33	3,4
10 000	42	13,3	0,27
100 000	8	60	0,03

*Tecidos musculares com campo paralelo as fibras do tecido.

Fonte: Durney [40]

Apesar da profundidade de penetração ser maior a frequências menores, a quantidade de energia que penetra um corpo condutor é menor por causa da derivação do campo elétrico. Por exemplo, para um pequeno objeto esférico, Schwan mostrou que o campo E interno em 60 Hz é aproximadamente seis ordens de magnitude menor que o campo E externo, mesmo que a profundidade de penetração seja um tanto grande. Ostepchuk estimou que somente próximo à frequência de ressonância do homem (cerca de 100 MHz), é que o campo E interno dentro do corpo é uma ordem de magnitude menor que o campo externo. [21].

Pelo fato dos campos eletromagnéticos interagirem de forma diferente com o corpo de acordo com a intensidade e frequência, é natural que os efeitos também se manifestem de forma diversa de acordo com esses parâmetros. Para poder correlacionar os efeitos de forma consistente entre os efeitos e a dose de energia absorvida relacionada com os campos eletromagnéticos incidentes foram estabelecidas métricas de exposição de acordo com a frequência. As quantidades

relacionadas a cada métrica são chamadas de quantidades dosimétricas e elas levam em conta diferentes frequências e formas de onda, por exemplo, as regulamentações do ICNIRP apresentam as quantidades dosimétricas listadas na tabela C2.

Tabela C2 – Quantidades dosimétricas

<i>Quantidade</i>	<i>Frequência de aplicação</i>
Densidade de corrente, \bar{J}	até 10 MHz
Corrente, I	até 110 MHz
Relação de absorção específica de energia, SAR	100 kHz até 10 GHz
Absorção específica de energia, SA	para campos pulsados na faixa de frequências entre 300 MHz e 10 GHz
Densidade de potência, S	10 – 300 GHz

Fonte: ICNIRP [41]

Um resumo dos campos eletromagnéticos e quantidades dosimétricas é dado na tabela C3.

Tabela C3 – Quantidades elétricas, magnéticas, eletromagnéticas e dosimétricas correspondente as unidades no Sistema Internacional

<i>Quantidade</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidade</i>
Condutividade	σ	siemens por metro (S/m)
Corrente	I	ampere (A)
Densidade de corrente	\bar{J}	ampere por metro quadrado (A/m ²)
Frequência	f	hertz (Hz)
Intensidade de campo elétrico	\bar{E}	volt por metro (V/m)
Intensidade de campo magnético	\bar{H}	ampere por metro (A/m)
Densidade de fluxo magnético	\bar{B}	tesla (T)
Permeabilidade magnética	μ	henry por metro (H/m)
Permissividade	ϵ	farad por metro (F/m)
Densidade de potência	S	watt por metro quadrado (W/m ²)
Absorção específica de energia	SA	joule por quilograma (J/kg)
Relação de absorção específica de energia	SAR	watt por quilograma (W/kg)

Fonte: ICNIRP [41]

MODELOS DE CÁLCULO DO SAR, DOSIMETRIA TEÓRICA.

Por causa das complexidades matemáticas envolvendo o cálculo do SAR, uma combinação de técnicas tem sido usada para obter o SAR como uma função de frequência para vários modelos. Cada técnica dá a informação sobre uma limitada faixa de parâmetros. A combinação da informação prove uma descrição

razoavelmente boa do SAR versus a frequência sobre uma grande faixa de frequências e para um bom número de modelos úteis.

Com modelos esferoidais usando um método chamado de aproximação de comprimentos de onda longos pode ser usado até 30 MHz. O método *condições de contorno entendido* (EBCM) vai até aproximadamente a ressonância (80 MHz) e uma extensão do EBCM até 400 MHz. Os modelos cilíndricos usando a solução clássica das Equações de Maxwell obtêm dados de SAR médios para polarização E entre (500 e 7 000) MHz e para polarização H entre (100 e 7000) MHz. Acima de 7 000 MHz são utilizadas aproximações baseadas em óptica geométrica.

Existem ainda métodos diversos que usam o método dos momentos baseadas na equação integral da função de Green em frequências até 400 MHz. Para a polarização K é usada uma técnica usando a equação integral de superfície em um modelo de cilindro truncado entre outros [40].

DOSIMETRIA EXPERIMENTAL

A dosimetria experimental é realizada tanto por medidas em seres vivos como em fantasmas.

Para que as medidas dosimétricas sejam feitas de forma controlada e repetível são necessários equipamentos de exposição apropriados. Normalmente são usados equipamentos que gerem ondas planas e equipamentos de campos próximos.

Para ondas planas as câmaras anecóicas são os equipamentos mais usados. Também são usadas câmaras de modo transversal elétrico magnético – câmaras de modo TEM.

Para campos próximos são utilizadas cavidades ressonantes e um dispositivo criado no *National Bureau of Standards* (hoje NIST) chamado sintetizador de campos próximos. As câmaras anecóicas podem ser utilizadas em campos próximos também.

A medição dos campos incidentes é realizada em campos distantes para densidade de potência. Para o campo próximo os campos E e H não estão necessariamente em fase, por isso são necessários métodos indiretos. As duas

técnicas principais utilizam termopares ou diodos. A primeira mede a variação de temperatura, que esta relacionada a energia absorvida e conseqüentemente a incidente. Os dispositivos que usam diodos que produzem uma corrente ou tensão relacionada com o campo eletromagnético incidente.

O SAR é medido através de 5 técnicas básicas

- Medida de potência diferencial em um sistema de exposição próximo;
- Medida da taxa de mudança de temperatura usando *probes* não interfententes;
- Técnicas calorimétricas;
- Técnicas termográficas;
- Sondas de campo elétrico implantados

As últimas quatro técnicas são adequadas para campos próximos também.

Devido a restrições éticas muitas vezes não é possível a implantação de sensores no corpo humano. Para contornar esse problema as medições podem ser feitas em cadáveres e em fantomas. Mas normalmente a medição em fantomas é mais adequada, repetitível e na maioria das vezes exata.

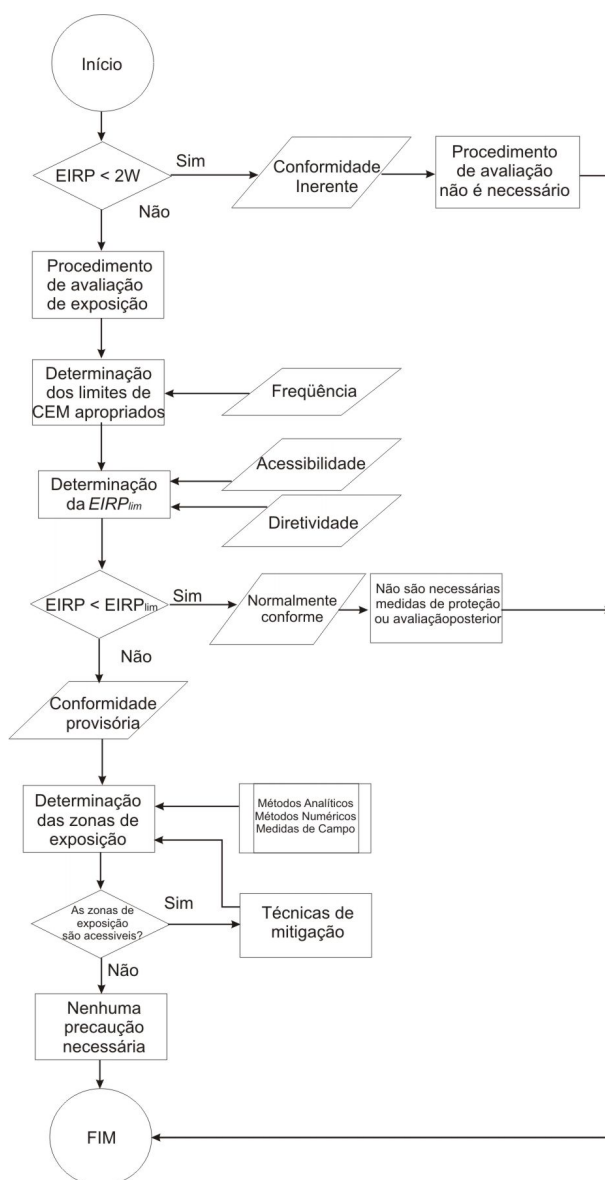
ANEXO D – TÉCNICAS DE MEDIDA E CÁLCULO DE INCERTEZAS

TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO E CONFORMIDADE DOS CAMPOS

Segundo a recomendação ITU K.52 12-04 [30] o fluxograma abaixo serve de guia para avaliação de estações de telecomunicações.

A figura D.1 Apresenta o organograma para avaliação dos campos eletromagnéticos.

Figura D.1 Organograma de avaliação de campos eletromagnéticos



As normas canadenses GL-01 [36] definem que deve ser observado um *checklist* das características das fontes a serem estudadas para a sua correta caracterização. Devem ser incluídas as seguintes características no *checklist*:

1. Tipo do gerador de RF e potência de saída;
2. Freqüências das portadoras;
3. Características das modulações (ex. valores médios e de pico, formas de onda, fator de trabalho, comprimento de pulso, freqüência de repetição de pulso, etc.);
4. Intermitência (ex. feixes de varredura, fatores de trabalho operacionais, etc.)
5. Número de fontes. Se mais de uma fonte é presente, são todos os sinais coerentes? São todos os sinais adicionados linearmente, existe a criação de padrões de interferência, e;
6. Distância da fonte ao local de teste;
7. O tipo das antenas, ganhos, feixes, diagramas de elevação e azimute, orientação, montagens, tamanho físico com relação a distância da área em estudo;
8. Polarização;
9. Freqüências espúrias, incluindo as harmônicas irradiadas;
10. Existência de materiais absorvedores ou espalhadores que possam influenciar a distribuição de campo.

A publicação *Manual for Measuring Occupational Electric and Magnetic Field Exposure* [34] pode ser consultada como referência extra para mais informações sobre abordagens no preparo de medidas de campo.

CÁLCULO DAS INCERTEZAS DAS MEDIDAS

Existem diversos motivos para estimar as incertezas em medições de intensidade de campo eletromagnético em sistemas de telecomunicações. Podem ser citados os seguintes motivos principais:

- Os instrumentos de medida não são ideais e tem suas limitações de funcionamento que resultam em incertezas de medição. A compreensão destes limites é fundamental para a realização da escolha dos equipamentos corretos para um determinado tipo de medição.
- A estimativa das incertezas permite a comparação significativa entre series diferentes de medidas tendo como base de comparação a rastreabilidade dos equipamentos utilizados.
- É necessário levar em consideração as incertezas na interpretação dos resultados. Por exemplo, na comparação dos níveis medidos com os limites é possível que o valor médio da medida não exceda o nível mas a consideração das incertezas exceda os níveis.
- Em alguns casos a incerteza de medida pode ser considerada pequena. Entretanto sem uma análise formal este tipo de consideração permanece intuitivo.
- A estimativa ou a consideração completa dos componentes que contribuem para a incerteza total proporciona um meio de garantir que os resultados obtidos são validos. Isto ajuda também a confirmar se as tolerâncias incluídas nas especificações de um conjunto de medidas atingem ou não estas especificações. Através da avaliação da contribuição dos componentes de incerteza é possível analisar os diversos aspectos do método de medida e aperfeiçoar a metodologia e a exatidão das medidas.

As incertezas foram calculadas segundo a publicação EA-04 [35]. Segundo esta publicação a incerteza de medição associada as estimativas de entrada é avaliada de acordo com os métodos de avaliação do Tipo A e do Tipo B.

A avaliação do Tipo A da incerteza padrão é o método de avaliação de incerteza pela análise estatística de uma série de observações. Pode ser realizada através do desvio experimental da média aritmética ou de uma análise de regressão adequada.

A avaliação do Tipo B da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza por outros meios que não a análise estatística de uma série de observações. Neste caso, a avaliação da incerteza padrão é baseada em algum outro conhecimento científico.

Para a avaliação do Tipo A da incerteza nos cálculos deste trabalho, foi adotado o desvio padrão experimental da média aritmética das leituras de campo elétrico. Para a avaliação do Tipo B da incerteza, foram adotados os dados constantes no certificado de calibração do instrumento e os valores de incerteza relacionados com as variações ambientais e tipos de modulação.

A incerteza de linearidade é devida aos desvios de leitura devidos a não linearidade dentro de uma mesma escala de medida.

A incerteza de isotropia é devida a não linearidade tridimensional em relação ao diagrama de irradiação da sonda.

A incerteza de resposta em frequência se refere aos desvios de ganho em relação à variação de frequência dentro da faixa de operação do instrumento.

A incerteza de resolução se refere ao número finito de dígitos apresentados no mostrador do instrumento.

A incerteza de temperatura se refere aos desvios apresentados pelo instrumento com relação à variação da temperatura ambiente.

Os passos do cálculo de incertezas é resumido da seguinte forma:

- Análise da natureza da medição e caracterização das componentes de incerteza pertinentes.
- Levantamento dos valores das incertezas, caracterização das suas distribuições de probabilidade, cálculo dos coeficientes de sensibilidade e cálculo da incerteza padrão.
- Cálculo da incerteza padrão combinada.
- Cálculo dos graus de liberdade associados as incertezas.
- Cálculo da incerteza expandida (incerteza final) de acordo com o nível de confiança estabelecido e com os graus de liberdade.

Seguindo as recomendações a publicação citada foi adotada a incerteza padrão expandida como resultado final para a incerteza. O fator de abrangência calculado corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95 %. A incerteza expandida em nenhum caso ultrapassou o limite de ± 3 dB, isso garante a qualidade

das medidas realizadas. Os valores dos limites da incerteza final em relação das normas devem ser calculados em relação ao valor da incerteza expandida.

A tabela D.1 apresenta as incertezas consideradas na utilização do medidor EMC-20.

Tabela D.1 – Orçamento preliminar de incertezas consideradas nas medidas de campo elétrico com o medidor EMC-20 com sonda Narda Tipo 8-2

<i>Incerteza</i>	<i>Tipo</i>	<i>Incerteza expandida declarada</i>	<i>Distribuição de Probabilidade</i>	<i>Incerteza padrão</i>
Repetitividade	A	Variável	Normal	Variável
Linearidade	B	± 0,5 dB	Retangular	0,163 dB
Isotropia	B	± 0,19 dB	k = 2*	0,05 dB
Resposta em frequência	B	± 0,8 dB	k = 2*	0,23 dB
Resolução	B	± 0,086 dB	Retangular	0,025 dB
Temperatura	B	± 0,22 dB	Retangular	0,07 dB
Soma vetorial das incertezas padrão tipo B				± 0,54 dB

* Valor de incerteza e divisor dados diretamente pelo certificado de calibração.

Devido à impossibilidade de se conseguir um sistema completamente calibrado, não foram feitos cálculos de campo eletromagnético usando os analisadores de espectro. Devido à complexidade destes instrumentos a sua incerteza expandida pode chegar até valores superiores a ± 5 dB dependendo da natureza da medida e do analisador utilizado. Além das componentes de incerteza os valores de campo elétrico são calculados indiretamente, através da formula [46]:

$$E_{dB} = L_{dB} + FA + Ca$$

Aonde:

$$E_{dB} = \text{Intensidade de campo em dB}\mu\text{V/m.}$$

$$L_{dB} = \text{Nível de Tensão em dB}\mu\text{V obtido na leitura do analisador.}$$

FA = É o fator de antena para a antena utilizada na medição. Este fator relaciona o campo incidente na antena e a tensão de saída.

Ca = É o fator de correção no cabo que liga a antena ao analisador de espectro.

Para converter o valor de campo em dB μ V/m para V/m é usada a formula:

$$E_{V/m} = 10^{(1/20) \cdot E_{dB}} \cdot 10^{-6}$$

A tabela D2, apresenta as componentes de incerteza típicas quando são utilizados analisadores de espectro para a medida de campos eletromagnéticos [43].

Tabela D.2 – Orçamento preliminar de incertezas consideradas nas medidas de campo elétrico com os medidores de espectro

<i>Incerteza</i>	<i>Tipo</i>	<i>Incerteza expandida declarada</i>	<i>Distribuição de Probabilidade</i>	<i>Incerteza padrão</i>
<i>Analisador de Espectro</i>				
Leitura do Analisador	A	± 0,1 dB	k = 1*	0,10 dB
Correção de forma de onda	B	± 1,0 dB	k = 2*	0,50 dB
Seletividade do receptor	B	- 0,5 dB	Retangular	0,28 dB
Fidelidade da escala do display	B	± 0,5 dB	Retangular	0,29 dB
Incerteza de mudança de escala	B	± 0,5 dB	Retangular	0,29 dB
Incerteza de uso do atenuador	B	± 0,3 dB	Retangular	0,17 dB
Resposta em frequência	B	± 1,0 dB	Retangular	0,56 dB
Proximidade do “chão” de ruído	B	± 0,5 dB	k = 2*	0,50 dB
Atenuação antena-receptor	B	± 0,1 dB	k = 1*	0,10 dB
Casamento da antena-receptor	B	+0.9/-1.0 dB	Em forma de U	0,67 dB
<i>Correções do fator de antena</i>				
Fator de Antena	B	± 2,0 dB	k = 2*	1,00 dB
Interpolação de frequência	B	± 0,3 dB	Retangular	0,17 dB
Variação de altura da antena	B	± 0,5 dB	Retangular	0,29 dB
Diferença de diretividade	B	± 0,5 dB	Retangular	0,29 dB
Balanço	B	± 0,3 dB	Retangular	0,17 dB
Polarização cruzada	B	± 0,9 dB	Retangular	0,52 dB
Sombreamento	B	± 1,0 dB	Retangular	0,56 dB
Reflexões	B	± 4,0 dB	Triangular	1,67 dB
Soma das incertezas padrão tipo B				± 6,63 dB

* Valor de incerteza e divisor dados diretamente pelo certificado de calibração.

Algumas destas incertezas poder ter contribuição pequena no cálculo da incerteza final, entretanto não é possível descartá-las sem analisar a sua aplicação em cada caso específico. As referências [32] e [43] apresentam considerações sobre a medida de campo e o cálculo de incertezas utilizando estes instrumentos.

ANEXO E – RESULTADO DAS MEDIÇÕES

As tabelas a seguir apresentam os valores medidos e as incertezas de medições para os diversos casos apresentados no capítulo 4.

Tabela E.1 – Medidas internas de campo eletromagnético, primeira série

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
2	5,76	0,72	5,04	6,47
3	7,14	0,89	6,25	8,02
5	11,54	1,46	10,08	13,00
6	12,86	1,59	11,26	14,45
7	17,49	2,17	15,32	19,66
8	15,54	1,93	13,62	17,47
9	18,02	2,23	15,78	20,25
10	11,54	1,43	10,11	12,97
11	13,40	1,66	11,74	15,06
12	12,87	1,59	11,23	14,41
13	14,52	1,80	12,72	16,32
14	14,91	1,85	13,06	16,76
15	14,17	1,76	12,41	15,92
16	11,54	1,43	10,11	12,97
17	14,59	1,82	12,77	16,41
18	10,75	1,33	9,42	12,08
19	13,18	1,64	11,55	14,82

Tabela E.2 – Medidas internas de campo eletromagnético, segunda série

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
1	4,76	0,59	4,08	5,44
2	5,52	0,68	4,84	6,20
3	6,40	0,79	5,61	7,19
4	1,60	0,20	1,40	1,80
5	6,02	0,75	5,27	6,77
6	13,17	1,63	11,54	14,80
7	10,89	1,35	9,54	12,24
8	11,22	1,39	9,83	12,61
9	12,04	1,49	10,55	13,53
10	6,50	0,81	5,69	7,31
11	8,16	1,01	7,15	9,17
12	8,00	0,99	7,01	8,99
13	12,06	1,49	10,57	13,55
14	9,94	1,23	8,71	11,17
15	9,47	1,17	8,30	10,64
16	10,45	1,29	9,16	11,74
17	12,50	1,55	10,95	14,05
18	8,95	1,11	7,84	10,06
19	14,65	1,82	12,83	16,47

Tabela E.3 – Medidas externas de campo elétrico, primeira série de medidas.

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
A	12,38	1,53	10,84	13,91
B	8,13	1,01	7,12	9,14
C	19,46	2,42	17,04	21,88
D	10,87	1,35	9,52	12,22
E	18,21	2,26	15,95	20,47
F	16,63	2,06	14,57	18,69
G	7,92	0,98	6,94	8,90
H	6,29	0,78	5,51	7,07
I	5,29	0,65	4,63	5,94
J	13,25	1,66	11,59	14,91
K	6,06	0,75	5,30	6,81
L	10,05	1,25	8,81	11,30
M	12,59	1,56	11,03	14,15
N	12,03	1,53	10,50	13,56

Tabela E.4 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 1.

<i>Ponto</i>	<i>Distância</i> [m]	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
1	0	18,31	2,27	16,04	20,58
2	4,16	25,41	3,15	22,26	28,56
3	8,32	22,24	2,76	19,48	25,00
4	12,48	20,49	2,54	17,95	23,03
5	16,64	14,50	1,80	12,70	16,30
6	20,8	17,28	2,14	15,14	19,42
7	24,96	13,62	1,69	11,93	15,31
8	29,12	14,23	1,76	12,47	15,99
9	33,28	15,51	1,92	13,59	17,43
10	37,44	12,60	1,56	11,04	14,16
11	41,6	9,27	1,15	8,12	10,42
12	45,76	7,63	0,95	6,68	8,58
13	49,92	7,87	0,98	6,89	8,85

Tabela E.5 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 2.

<i>Ponto</i>	<i>Distância</i> [m]	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
1		17,03	2,11	14,92	19,14
2		19,02	2,36	16,66	21,38
3		13,47	1,67	11,80	15,14
4		15,46	1,92	13,54	17,38

Tabela E.6 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 3.

<i>Ponto</i>	<i>Distância</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
1	0	11,46	1,42	10,04	12,88
2	5,7	18,71	2,32	16,39	21,03
3	11,4	23,95	2,97	20,98	26,92
4	17,1	20,08	2,49	17,59	22,57
5	22,8	25,08	3,11	21,97	28,19
6	28,5	16,71	2,07	14,64	18,78
7	34,2	16,96	2,10	14,86	19,06
8	39,9	12,30	1,52	10,78	13,82

Tabela E.7 – Medidas externas de campo elétrico, segunda série de medidas, seqüência 4.

<i>Ponto</i>	<i>Distâncias</i> [m]	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
1	0	18,31	2,27	16,04	20,58
2	4	25,08	3,11	21,97	28,19
3	8	20,40	2,53	17,87	22,93
4	12	28,68	3,55	25,13	32,23

Tabela E.8 – Medidas de campo elétrico na torre 1

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
A1	22,06	2,73	19,33	24,79
A2	7,12	0,88	6,24	8,00
A3	17,41	2,16	15,25	19,57
A4	23,80	2,95	20,85	26,57
A5	16,20	2,01	14,19	18,21
A6	13,04	1,62	11,42	14,66

Tabela E.9 – Medidas de campo elétrico na torre 2

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS</i> [V/m]	<i>Incerteza (\pm)</i> [V/m]	<i>Campo Mín.</i> [V/m]	<i>Campo Máx.</i> [V/m]
B1	18,28	2,27	16,01	20,55
B2	36,60	4,54	32,06	41,14
B3	19,00	2,35	16,65	21,35
B4	46,14	5,72	40,42	51,86
B5	8,18	1,01	7,17	9,19

Tabela E.10 – Medidas externas de campo elétrico. Variação Espacial.

<i>Ponto</i>	<i>Campo RMS [V/m]</i>	<i>Incerteza (\pm) [V/m]</i>	<i>Campo Mín. [V/m]</i>	<i>Campo Máx. [V/m]</i>
2,00 m	25,08	3,11	21,97	28,19
1,80 m	20,40	2,53	17,87	22,93
1,60 m	20,30	2,52	17,78	22,82
1,40 m	26,94	3,34	23,60	30,28
1,20 m	24,96	3,09	21,87	28,05
1,00 m	19,76	2,45	17,31	22,21
0,80 m	15,40	1,91	13,49	17,31
0,60 m	8,39	1,04	7,35	9,43
0,40 m	16,33	2,02	14,31	18,25

Tabela E.11 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto S1, Analisador AVCOM PSA 37D

<i>Número</i>	<i>Canal</i>	<i>Nível Relativo* [dB] ± 2 dB</i>	<i>Contribuição* [%]</i>
1	203	-37	0,8
2	211	-38	0,7
3	217	-34	1,1
4	222	-24	3,6
5	225	-37	0,8
6	230	-15	10,1
7	236	-14	11,3
8	242	-34	1,1
9	246	-19	6,4
10	249	-24	3,6
11	255	-18	7,2
12	258	-12	14,3
13	262	-18	7,2
14	268	-13	12,7
15	272	-31	1,6
16	280	-20	5,7
17	288	-31	1,6
18	293	-26	2,8
19	298	-	-
20	2+	-25	1,4
21	4-	-25	1,5
22	6+	-34	1,0
23	7-	-27	0,6
24	9-E	-29	0,5
25	12	-32	0,6
26	16+E	-37	0,2
27	19-	-34	0,3
29	26+	-41	0,1
30	29+	-37	0,2
31	32-	-37	0,2
32	46+	-41	0,1
34	57	-41	0,1
35	59	-37	0,2

*Valores arredondados

Tabela E.12 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto N,
Analisador HP 8558B

<i>Número</i>	<i>Canal</i>	<i>Nível Relativo* [dB] ±2 dB</i>	<i>Contribuição* [%]</i>
1	203	-7,0	7,9
2	211	-33,0	0,4
3	217	-13,0	4,0
4	222	-15,0	3,1
5	225	-18,0	2,2
6	230	-31,0	0,5
7	236	-4,0	11,1
8	242	-19,0	2,0
9	246	-13,0	4,0
10	249	-34,0	0,4
11	255	-25,0	1,0
12	258	-3,0	12,5
13	262	-11,0	5,0
14	268	-2,0	14,0
15	272	-40,0	0,2
16	280	0,0	17,6
17	288	-34,0	0,4
18	293	-16,0	2,8
19	298	-	-
20	2+	-18	1,3
21	4-	-19	1,1
22	6+	-10	5,3
23	7-	-15	3,2
24	9-E	-28	0,7
25	12	-46	0,1
26	16+E	-34	0,3
27	19-	-15	3,0
28	26+	-31	0,5
29	29+	-37	0,2
30	32-	-37	0,2
31	46+	< -48	0,0
32	57	-37	0,2
33	59	-37	0,2

*Valores arredondados

Tabela E.13 – Leituras Relativas e emissoras envolvidas ponto 9 V,
Analisador Agilent E7402A

<i>Número</i>	<i>Canal</i>	<i>Nível Relativo* [dB] ±2 dB</i>	<i>Contribuição* [%]</i>
1	203	-9	7,3
2	211	-31	0,6
3	217	-12	5,2
4	222	-17	2,9
5	225	-42	0,2
6	230	-48	0,1
7	236	-15	3,7
8	242	-21	1,8
9	246	-28	0,8
10	249	-39	0,2
11	255	-28	0,8
12	258	-6	10,4
13	262	-22	1,6
14	268	-2	16,4
15	272	-43	0,1
16	280	0	20,7
17	288	-39	0,2
18	293	-16	3,3
19	298	-	-
20	2+	-14	4,1
21	4-	-23	1,3
22	6+	-6	10,4
23	7-	-7	6,8
24	9-E	-28	0,8
25	12	-42	0,2

*Valores arredondados

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bren, Stephan P. Albert. *Historical introduction to EMF Health Effects*. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, jul. de 1996.
- [2] FCC, Office of Engineering & Technology. *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*, OET Bulletin 65, 1997
- [3] Official Journal of the European Communities, L 199/59 COUNCIL *RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*, publicado em 30. 7. 1999.
- [4] Anatel, Resolução Nº 303, de 2 de Julho de 2002, *Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Frequências entre 9 kHz e 300 GHz*. Brasília 2002
- [5] Hellemans, Alexander. *Sins of Transmission?* IEEE Spectrum, out. de 2005.
- [6] Regione Lazio, Osservatorio Epidemiologico. *Indagine epidemiologica tra i residenti in prossimità della stazione Radio Vaticana di Roma*. Draft 1999. Em italiano.
- [7] Regionale Lazio, Agenzia di Sanità Pública. *Mortalità per Leucemia nella popopazione adulta ed incidenza di leucemia infantile in un'area caratterizzata dalla presenza di un sito de emissioni di radio frequenze (Cesano, Olgiata, La Storta, Osteria Nuova, Santa Maria di Galeria, Anguillara e Formello)*. Draft, mar. 2001. Em italiano.
- [8] Anatel, *Diretriz para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz)*. Brasília, 1999.
- [9] Polk, C., Postow, E. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, CRC Press. 1986.
- [10] Osepchuk, J. M. *Biological Effects of Electromagnetic Radiation*, IEEE Press, 1983.

- [11] Mano, Reinaldo; *O ciclo cardíaco normal* [online] Disponível da Internet. <http://www.manuaisdecardiologia.med.br/Semiologia/ciclo1.htm>. Arquivo capturado em 7 de fevereiro de 2006.
- [12] Muller, Morton W.; *Extremely Low Frequency Electrical Fields: Experimental Work on Biological Effects*. In: Eleanor, R.; Polk, Charles; Postow, Elliot; CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986.
- [13] Tenford, T. S.; *Interaction of ELF Magnetic Fields with Living Matter*. In: , Eleanor R.; Polk, Charles; Postow, Elliot; CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986.
- [14] Cabanes, Jean; *Medical Control of Employees in the Electrical Industry Exposed to Low Frequency in the Low Frequency Electric Fields*. In: Grandolfo, M.; Michaelson, S. M.; Rindi, A.; Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields. New York. Plenum, 1985.
- [15] Lin, James C.; *The blood-brain barrier, cancer, cell phones, and microwave radiation*. IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 43, n. 3, jun. de 2001.
- [16] Lin, James C.; Hearing microwaves: *The microwave auditory phenomenon*. IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 43, n. 6, dez. de 2001.
- [17] Armed Forces Radiobiology Research Institute (AFRRI), Military Medical Operations Office, *Medical Management of Radiological Casualties - Handbook*, Bethesda, Maryland, 1999
- [18] International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Complete List of Agents Evaluated and Their Classification*. Disponível on-line em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>
- [19] Lin, James C.; *Can Cell Phones Promote Brain Tumors: The INTERPHONE Study?* IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 47, n. 2, abr. 2005
- [20] Foster, Kenneth R. *Exposure Limits for Radiofrequency Energy: Three Models*. International EMF Project Committee reports 2001. Disponível on-line em:

http://www.who.int/peh-emf/meetings/en/day2Varna_Foster.pdf. Arquivo capturado em 20 de fevereiro de 2006.

[21] Osepchuk, John H, Petersen, Ronald C. *Safety Standards for Exposure to RF Electromagnetic Fields*. IEEE Microwave Magazine, jun 2001.

[22] Foster, Kenneth R. *The precautionary principle-common sense or environment extremism? IEEE Technology Society Magazine, vol. 21 issue 4 2003*. Traduzido por Hamilton Moss. Disponível on-line em:

http://www.seas.upenn.edu/~kfoster/Foster_precautionary_Portugese.pdf. Arquivo capturado em 20 de fevereiro de 2006.

[23] Normas GOST 12.1.002-84, GOST 12.1.045-84 e GOST 12.1.006-84. (em russo). Disponíveis on-line em: http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Europe/Russia_files/table_rs.htm

[24] Normas SanPiN 2.2.4.1191-03, SanPiN 2.1.8/2.2.4.1190-03, SanPiN 2.2.4.1329-03, SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03, SanPiN 2.1.2.1002-00 (em russo). Disponíveis on-line em: http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Europe/Russia_files/table_rs.htm

[25] People's Republic of China National Standards. UDC 614.898.5 GB9175-88 *Environment Electric Wave Health Standard, Hygienic standard for environmental electromagnetic waves*. (em chinês) Disponível on-line em: <http://www.law110.com/lawserve/guihua/1800047.htm>.

[26] The Swiss Bundesrat, *Ordinance on Protection from Non-ionising Radiation (NISV)*, 23 December 1999, Genebra, Suíça

[27] The Council Of Ministers, *Establishment of exposure limits, attention values, and quality goals to protect the population against electric, magnetic, and electromagnetic fields generated at frequencies between 100 kHz and 300 GHz*, 8 JULY 2003. *Unofficial Translation by Paolo Vecchia*, Official Gazette of the Italian Republic on August 28, 2003

[28] Commission of The European Communities, COM(2000) 1 final - *Communication From The Commission On The Precautionary Principle*, Brussels, 2/2/2000.

- [29] Lin, James C.; *The Precautionary Principle: A Rose by Another Name* IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 43, n. 2, abr. 2001.
- [30] International Telecommunications Union, *Recommendation ITU-R Bs.1698 Evaluating fields from terrestrial broadcasting transmitting systems operating in any frequency band for assessing exposure to non-ionizing radiation*, Genebra, Suíça. 2005.
- [31] International Telecommunications Union, *Recommendation ITU-T K.52 Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields*, Genebra, Suíça. 2005.
- [32] International Telecommunications Union, *Recommendation ITU-T K.61 Guidance to measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations*, Genebra, Suíça. 2005.
- [33] IEEE. *IEEE Std C95.3-2000 Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz*. Nova York, EUA. 2000.
- [34] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US Department of Health and Human Services. *Manual for Measuring Occupational Electric and Magnetic Field Exposures*. Richland, Estados Unidos, out. 1998.
- [35] INMETRO/ABNT. *Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02 Expressão da Incerteza de Medição na Calibração*. Rio de Janeiro 1999.
- [36] Industry Canadá , *Spectrum Management and Telecommunications Guideline, Guidelines for the Measurement of Radio Frequency Fields at Frequencies from 3 kHz to 300 GHz* , GL-01 Issue 2, out 2005. Disponível em strategis.gc.ca.
- [37] DIN Deutsches Institut für Normung eV. Warning Symbols, DIN 4844-1 2002-11, (em alemão).
- [38] Ministério do Trabalho e Emprego (TEM), *NR-26 Sinalização de Segurança (126-000-6)*, disponível em:

<http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/conteudo/nr26/>

- [39] Federal Communications Commission (FCC), Office of Engineering and Technology– *47 CFR 1.1307 (b) Practice and Procedure*, 1996
- [40] Durney, Carl H. *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*. 4 edição. Report SAM-TR-85-73, USAF School of Aerospace Medicine. Brooks Air Force Base, Texas, 2002.
- [41] ICNIRP, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics Vol. 74, No 4, pp 494-522, 1998
- [42] Narda Safety Test Solutions. *Measuring RF Levels at Multisignal Sites*. Application Note 1, RF Applications. 2004.
- [43] Agilent Technologies. *Optimizing Spectrum Analyzer Amplitude Accuracy*. Application Note AN 1316.
- [44] ITU, Recommendation ITU-R SM.378-6 Field-Strenght Measurements at Monitoring Stations, Geneva, Switzerland. 1995.
- [45] BMTA, *Estimating Uncertainties in Testing, an Intermediaté Guide to Estimating and Reporting Uncertainty of Measurement in Testing*, Measurement Good Practice Guide N° 36. Teddington, Middlesex, United Kingdom, 2001.
- [46] Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética, *Avaliação dos Níveis de Radiação Não Ionizante Emitidas pelas Estações Rádio-Base do Sistema de Telefonia Celular* . São Paulo, 2003.