

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

JORGE VALLIM GUIMARÃES

**ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA EM COMPATIBILIDADE
ELETROMAGNÉTICA: PROGRAMA EXPLORATÓRIO DE
MEDIDAS DE EMISSÃO RADIADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: José Carlos Araujo dos Santos, Ph. D.

Co-orientador: Maj. Maurício Henrique Costa Dias, D.C.

Rio de Janeiro

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

c2008

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

G963e	Guimarães, Jorge Vallim
	Ensaio de proficiência em compatibilidade eletromagnética: Programa exploratório de medidas de emissão radiada / Jorge Vallim Guimarães. - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.
	120 f. : il., graf., tab.
	Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, 2008.
	1. Ensaio de Proficiência. 2. Comparação interlaboratorial. 3. Compatibilidade eletromagnética. 4. Emissão radiada.
	I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia
	CDD 621.38224

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

JORGE VALLIM GUIMARÃES

**ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA EM COMPATIBILIDADE
ELETROMAGNÉTICA: PROGRAMA EXPLORATÓRIO DE MEDIDAS DE
EMIÇÃO RADIADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. José Carlos Araujo dos Santos, Ph.D.

Co-orientador: Maj. Maurício Henrique Costa Dias, D.C.

Aprovada em 14 de maio de 2008 pela seguinte Banca Examinadora:

José Carlos Araujo dos Santos, Ph.D. do IME - Presidente

Maj. Maurício Henrique Costa Dias, D.C. do IME

Maj. Jorge Luís Rodrigues Pedreira de Cerqueira, D.C. do IME

Fernando da Rocha Pantoja, Ph.D. do CIAW

Rio de Janeiro

2008

Aos meus mestres, na escola e na vida

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que compartilharam deste projeto, desde que era sonho até se tornar realidade. Em especial, agradeço:

A Deus, por tornar possível.

Aos meus pais, Deodoro e Marly, pela vida.

À minha esposa, Regina Helena, e aos meus filhos Felipe, Gustavo e Rafael, pela paciência e torcida.

Aos (meus) mestres, Manoel Gibson Maria Diniz Navas e Paulo Félix da Silva Filho, por despertar a idéia de continuar os estudos, e ao Fábio Suim Chagas por reavivá-la.

Ao Samuel Castanõn Penha Valle e ao Carlos Augusto Tavares dos Reis, pela condução ao universo dos ensaios.

Aos parceiros Victor Vellano Neto, Fábio Tadeu Peggau Jacon, Fernando Graziani Barbarini, Jamilson Ramos Evangelista, Benjamim da Silva Medeiros Correia Galvão, Adroaldo Raizer, Leandro Nunes de Souza, Major Samuel Machado Leal da Silva e Tenente Anderson Rodrigues Ferreira, e às suas equipes, pela colaboração, além do nível profissional, para o nosso sucesso.

Ao Professor José Carlos Araujo dos Santos, por acreditar, apoiar e me estimular todo o tempo; pela sua competência e pela sua dedicação como orientador.

Ao Major Maurício Henrique Costa Dias, pela sua competência e pela sua dedicação como co-orientador.

Ao Tenente Danilo, ao Prof. Antônio Brandão, ao Téc. Daniel e à Maria de Lourdes Santarém Rodrigues do IME, pelo suporte sempre atencioso.

Ao José Ricardo Bardellini da Silva e ao Guilherme Andrade Campos Pedrosa pela torcida e o suporte ao seu alcance.

Ao Kleiber Tadeu Soletto e ao Felipe Nyland pela trilha aberta.

Ao Sandro Santos de Lima e ao Celso Pinto Saraiva pela ajuda teórico-prática.

Ao Instituto Militar de Engenharia, por ter me proporcionado a chance de estudar num centro de excelência.

“O difícil é um emaranhado de coisas fáceis.”

Enéas Ferreira Carneiro

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE SIGLAS.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Compatibilidade Eletromagnética.....	18
1.2 A regulamentação no Brasil e no mundo.....	20
1.3 Confiabilidade dos resultados.....	21
1.4 Objetivo da dissertação.....	22
1.5 Motivação e Justificativas para o trabalho.....	22
1.6 Organização da dissertação.....	24
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E NORMATIVOS.....	25
2.1 Aspectos Normativos em CEM.....	25
2.2 O Processo de Seleção e Adoção de uma Norma de CEM.....	26
2.3 O papel das Entidades Reguladoras Brasileiras em CEM.....	27
2.3.1 A ANATEL.....	27
2.4 O Papel do INMETRO.....	29
2.4.1 A Acreditação de Laboratórios.....	29
2.4.2 As comissões Técnicas.....	29
2.5 Ensaio de proficiência por comparação interlaboratorial.....	31
2.6 Métodos estatísticos aplicados a ensaios de proficiência.....	34
2.6.1 Determinação prévia da homogeneidade e da estabilidade do ESE.....	35
2.6.2 Determinação do valor designado.....	36
2.6.3 Cálculo da estatística de desempenho.....	37
2.6.4 Avaliação de desempenho.....	38
2.6.5 Análise de resultados extremos (outliers).....	39
2.6.5.1 Origem dos valores dispersos.....	40
2.6.5.2 Identificação e tratamento de valores dispersos.....	40
2.6.6 Cálculo de incertezas.....	41
2.7 A norma CISPR 22.....	42
2.8 Tipos de detectores de emissão radiada.....	44

2.8.1	Detector de pico.....	44
2.8.2	Detector de quase-pico	45
2.8.3	Detector de média.....	46
2.9	Ambientes para ensaios de emissão radiada.....	46
2.10	Configuração de teste para ensaios em emissão radiada	49
2.10.1	Em OATS, CA e CSA.....	49
2.10.2	Em célula GTEM.....	50
3.	PLANEJAMENTO DO PROGRAMA DE ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA EM	
	EMISSÃO RADIADA	51
3.1	Seleção do tipo de ensaio de proficiência	52
3.2	Definição do escopo dos ensaios.....	52
3.3	Definição do item de ensaio e do mensurando.....	52
3.3.1	Aquisição do ese.....	53
3.3.2	Empréstimo do ESE.....	54
3.3.3	Desenvolvimento do ESE	54
3.4	Definição dos Participantes.....	56
3.5	Definição da logística	57
3.6	Definição da documentação.....	57
3.7	Projeto Estatístico	57
3.7.1	Definição do valor de referência.....	58
3.7.2	Determinação da Incerteza de medição de referência (U_{ref}).....	58
3.7.3	Avaliação da Incerteza de medição do laboratório (U_{lab})	59
3.7.4	Confiabilidade do valor de referência	60
3.7.5	Análise de resultados extremos (outliers).....	60
3.7.6	Avaliação de desempenho dos laboratórios.....	61
4.	REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA	62
4.1	Histórico	62
4.2	Codificação dos laboratórios	62
4.3	Condições de realização dos ensaios	62
4.4	Resultados de medição dos ensaios de proficiência	63
4.4.1	Resultados do dispositivo comercial - CNE III.....	63
4.4.2	Pré-processamento dos Resultados da fonte desenvolvida	66
4.4.2.1	Critério de seleção de medidas	69
4.4.2.2	Determinação do Valor Verdadeiro Convencional (VVC)	72

4.4.2.3 Critério para a Avaliação do desempenho dos laboratórios.....	73
4.4.3 Análise dos resultados para a fonte desenvolvida.....	73
4.4.3.1 Classe 82 MHz.....	73
4.4.3.2 Classe 165 MHz.....	79
4.4.3.3 Classe 246 MHz.....	83
4.4.3.4 Classe 359 MHz.....	87
4.4.3.5 Classe 717 MHz.....	90
4.5 Avaliação dos resultados	94
5. CONCLUSÕES	98
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
7. ANEXOS	108
7.1 Técnicas estatísticas.....	108
7.1.1 Técnicas estatísticas para análise de outliers	108
7.1.1.1 Método de Estimação Robusta	108
7.1.2 Métodos de Estimação Não Robustos	109
7.1.2.1 Método de GRUBBS.....	110
7.2 Desenvolvimento do ítem de ensaio	113

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1. Formas de interferência eletromagnética (DIAS ET AL., 2006).....	19
FIG. 2.1. Organograma do IEC (IEC, 2008).	26
FIG. 2.2. Fluxograma do processo de acreditação adotado pelo INMETRO.	30
FIG. 2.3. Parâmetros de uma medição.	35
FIG. 2.4. Comparação dos limites de emissão radiada CISPR 22 versus FCC. ...	42
FIG. 2.5. Detectores de (a) pico e (b) quase-pico.	45
FIG. 2.6. Detector de média.	46
FIG. 2.7. Arranjo para medidas de emissões radiadas segundo a CISPR 22.	48
FIG. 2.8. Montagem do arranjo de ensaio sobre uma mesa.	49
FIG. 2.9. Montagem do arranjo de ensaio sobre o chão.	49
FIG. 2.10. Diagrama esquemático de uma célula GTEM.	50
FIG. 2.11. Posicionamentos típicos do item de ensaio.....	50
FIG. 3.1. Fonte geradora de ruído CNE III (YORK, 2008).....	53
FIG. 3.2. Fonte geradora de padrão tipo “pente” CGE01 (YORK, 2008).....	54
FIG. 3.3. Visão geral do dispositivo projetado.	55
FIG. 3.4. Visão interna do dispositivo projetado.	56
FIG. 3.5. Detalhe de montagem do dispositivo projetado.....	56
FIG. 4.1. Visões do ambiente de ensaio.	64
FIG. 4.2. Arranjo de ensaio GTEM (SCHAFFNER, 2008).....	65
FIG. 4.3. Emissões do CNE III registradas por um dos laboratórios.	65
FIG. 4.4. Emissões do ESE reportadas por um dos participantes.....	69
FIG. 4.5. Valores de quase-pico ao redor de 82 MHz.	71

FIG. 4.6. Resultado geral do campo elétrico para todas as classes selecionadas.	72
FIG. 4.7. Classe 82 MHz – Medidas e incertezas.	73
FIG. 4.8. Classe 82 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	74
FIG. 4.9. Classe 82 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score e (c) erro normalizado.	77
FIG. 4.10. Classe 165 MHz – Medidas e incertezas.	79
FIG. 4.11. Classe 165 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	80
FIG. 4.12. Classe 165 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score e (c) erro normalizado.	82
FIG. 4.13. Classe 246 MHz – Medidas e incertezas.	83
FIG. 4.14. Classe 246 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	84
FIG. 4.15. Classe 246 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	86
FIG. 4.16. Classe 359 MHz – Medidas e incertezas.	87
FIG. 4.17. Classe 359 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	88
FIG. 4.18. Classe 359 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score e (c) erro normalizado.	89
FIG. 4.19. Classe 717 MHz – Medidas e incertezas.	91
FIG. 4.20. Classe 717 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z- score, e (c) erro normalizado.	92

FIG. 4.21. Classe 717 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.	93
FIG. 7.1. Diagrama esquemático do oscilador de 100 MHz projetado.	114
FIG. 7.2. Diagrama esquemático do oscilador de 250 MHz projetado.	114
FIG. 7.3. Impedância de onda versus distância normalizada (KRAZ, 1995).	116
FIG. 7.4. Correlação da região de transição de campo próximo para campo distante com a frequência.	117
FIG. 7.5. Visão geral do dispositivo projetado.	118
FIG. 7.6. Visão interna do dispositivo projetado.	118
FIG. 7.7. Detalhe de montagem do dispositivo projetado.	118
FIG. 7.8. Espectro do sinal gerado pela fonte comercial CNE III.	119
FIG. 7.9 Espectro do sinal gerado pela fonte desenvolvida,	119
FIG. 7.10. Frequências geradas pelo ESE.	120

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1. Limites de emissão radiada para dispositivos classe A até 1 GHz.....	43
TAB. 2.2. Limites de emissão radiada para dispositivos classe B até 1 GHz.....	43
TAB. 2.3. Limites de emissão radiada para dispositivos classe A acima de 1GHz.	44
TAB. 2.4. Limites de emissão radiada para dispositivos classe B acima de 1GHz.	44
TAB. 2.5. Comparação dos ambientes de teste (LIN e HUANG, 1998).	47
TAB. 4.1. Resultados reportados pelos laboratórios 1 a 4.	67
TAB. 4.2. Resultados reportados pelos laboratórios 5 a 7.	68
TAB. 4.3. Emissões em torno de 82 MHz reportadas por um dos laboratórios.	70
TAB. 4.4. Resultados reportados pelos laboratórios para a Classe 82 MHz.....	71
TAB. 4.5. Classe 82 MHz – Análise não robusta.....	75
TAB. 4.6. Classe 82 MHz – Resultados das interações na análise robusta.	76
TAB. 4.7. Classe 82 MHz – Análise robusta.....	78
TAB. 4.8. Classe 165 MHz – Análise não robusta.....	79
TAB. 4.9. Classe 165 MHz – Resultados das interações na análise robusta.....	81
TAB. 4.10. Classe 165 MHz – Análise robusta.....	81
TAB. 4.11. Classe 246 MHz – Análise não robusta.....	83
TAB. 4.12. Classe 246 MHz – Resultados das interações na análise robusta.	85
TAB. 4.13. Classe 246 MHz – Análise robusta.....	85
TAB. 4.14. Classe 359 MHz – Análise não robusta.....	87
TAB. 4.15. Classe 359 MHz – Resultados das interações na análise robusta.	90
TAB. 4.16. Classe 359 MHz – Análise robusta.....	90
TAB. 4.17. Classe 717 MHz – Análise não robusta.....	91

TAB. 4.18. Classe 717 MHz – Resultados das interações na análise robusta.....	94
TAB. 4.19. Classe 717 MHz – Análise robusta.....	94
TAB. 4.20. Síntese das análises das medidas reportadas pelos laboratórios.....	95
TAB. 7.1. Valores críticos para o teste de Grubbs (ISO 5725-2, 1994).....	112

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards Institute (EUA)
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BIS	Bureau National Standards (Índia)
CFR	Code of Federal Regulations (EUA)
DOD	Departament of Defense (EUA)
FCC	Federal Communications Commission (EUA)
FDA	Food And Drug Agency (EUA)
IEC	International Eletrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

RESUMO

Este trabalho descreve os processos e os fundamentos relativos à condução de um ensaio de proficiência por comparação interlaboratorial de medidas em compatibilidade eletromagnética. Nele são apresentados os problemas relacionados à compatibilidade eletromagnética e ao papel dos ensaios de proficiência como ferramenta para demonstrar a competência técnica dos laboratórios de ensaio.

São revistos os fundamentos teóricos e normativos relacionados aos ensaios de proficiência, o papel das entidades regulamentadoras e as práticas adotadas para a condução dos ensaios de proficiência e para a análise dos resultados.

São apresentados os resultados de uma rodada de um programa exploratório de comparação interlaboratorial baseado no ensaio de emissão radiada, conforme a norma CISPR 22, e a análise destes resultados.

ABSTRACT

This work describes the foundations for proficiency testing on electromagnetic compatibility measurements by interlaboratory comparisons. It presents electromagnetic compatibility related problems, normative regulations, the role of regulators, common practices, and the role of proficiency testing as a tool to demonstrate the technical competence of testing laboratories.

The results of an exploratory round of a proficiency testing program by interlaboratory comparison based on CISPR 22 for EMC in Brazil are presented. The analysis of the reported data, based on ISO/IEC Guide 43 and ISO 13528, showed some interesting features about the Brazilian laboratories, with indications of preventive and corrective actions for a few of them.

1. INTRODUÇÃO

1.1 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

“O Brasil deve viver um novo ano de forte crescimento das vendas de computadores pessoais (PCs). Depois de fechar 2007 com um avanço de 21,4%, os fabricantes esperam outro aumento de dois dígitos. A IT Data, consultoria especializada no mercado de tecnologia e informática, projeta um incremento de 14%.”

Portal Exame - 30/1/2008

“A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) projeta para este ano a produção de 78 milhões de aparelhos celulares. O volume indica crescimento de 18% em relação a 2007. Do total a ser produzido, 48 milhões devem abastecer o mercado interno, com aumento de 7% em relação ao ano passado.”

Telecom Online - 10/01/08

Não é preciso muito esforço para se observar que a indústria eletroeletrônica tem papel fundamental em todos os campos da sociedade atual. Diariamente surgem novos dispositivos, enquanto antigos artefatos são modernizados ou simplesmente descartados por se tornarem obsoletos. O aumento da diversidade e da quantidade faz com que os dispositivos funcionem cada vez mais integrados e mais próximos uns dos outros, o que torna obrigatória a avaliação da interação eletromagnética entre eles.

Neste contexto, define-se *compatibilidade eletromagnética* (CEM¹) como a habilidade de um receptor funcionar satisfatoriamente no seu meio eletromagnético, sem introduzir distúrbios eletromagnéticos intoleráveis para si ou para qualquer outro sistema, equipamento, dispositivo ou seres vivos. Por “distúrbio eletromagnético” entende-se qualquer fenômeno eletromagnético que possa degradar o desempenho de um sistema, equipamento ou dispositivo. Esta degradação de desempenho caracteriza, por sua vez, a chamada *interferência eletromagnética* (IEM), que é também citada na literatura simplesmente como *emissão* (eletromagnética). Assim como existem agentes interferentes, há também dispositivos ou equipamentos interferidos. Com isso, da própria definição

¹ Iniciais do termo em inglês *Electromagnetic Compatibility (EMC)*.

de CEM extrai-se ainda a chamada *imunidade* ou *susceptibilidade eletromagnética* (SEM), que diz respeito à habilidade de um dispositivo eletrônico de funcionar satisfatoriamente em um ambiente sujeito a distúrbios eletromagnéticos (PAUL, 2006; MONTROSE e NAKAUCHI, 2004).

Um conceito fundamental em CEM diz respeito à forma pela qual a IEM se propaga. Se os distúrbios interferentes chegam por linhas de transmissão (cabos, trilhas, fios, etc.), a IEM é *conduzida*. Caso contrário, se a IEM é devida ao acoplamento de campos eletromagnéticos radiados com o dispositivo interferido, a IEM é *radiada* (PAUL, 2006; MONTROSE e NAKAUCHI, 2004). A FIG. 1.1 ilustra qualitativamente estas duas formas de IEM.

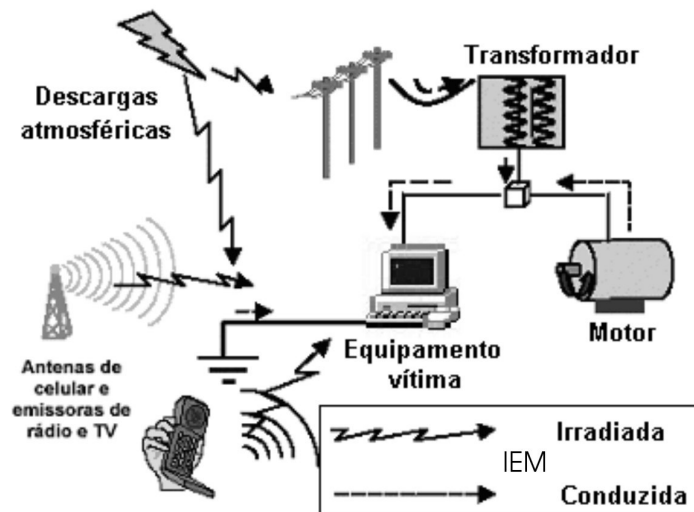


FIG. 1.1. Formas de interferência eletromagnética (DIAS ET AL., 2006).

As definições anteriores dão origem às quatro subdivisões principais de CEM: emissão radiada; emissão conduzida; susceptibilidade radiada; e susceptibilidade conduzida. Outros ramos de CEM envolvem, por exemplo, imunidade a descargas e surtos eletrostáticos, emissão de harmônicos e *flicker*.

Embora projetistas apliquem técnicas diversas para reduzir as emissões e a susceptibilidade eletromagnéticas, estas características são inerentes aos equipamentos eletrônicos. Cabem às entidades reguladoras, órgãos responsáveis pela aprovação para a comercialização de equipamentos, definir limites de emissão e susceptibilidade e verificar o atendimento a estes limites. A comercialização dos equipamentos somente é permitida após a comprovação, através de ensaios, de que os limites normativos de CEM são atendidos.

1.2 A REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

No Brasil as principais entidades reguladoras afetas à CEM são a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), para equipamentos de telecomunicações e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), para equipamentos eletromédicos.

Nos Estados Unidos da América a *Federal Communications Commission* (FCC) é responsável pelos equipamentos de telecomunicações, enquanto os relativos à saúde são de responsabilidade da *Food and Drug Agency* (FDA).

Os países membros da União Européia adotam as Diretivas, emitidas por seu Conselho, para a liberação de produtos. A evidência desta liberação é denominada Marcação CE (*Conformité Européenne*).

No Japão o responsável pela segurança dos produtos é o fornecedor. A lei DENAN estabelece a classificação dos produtos em especificados (SP) e não-especificados (NSP), oferecendo alternativa para a avaliação da conformidade. Os requisitos obrigatórios para os equipamentos de telecomunicações são definidos pela Legislação de Empresas de Telecomunicações, segundo a jurisdição do Ministério de Administração Pública, de Assuntos Domésticos e de Correios e Telecomunicações daquele país (UL, 2008).

Na Coréia do Sul as normas de certificação de segurança derivam da lei de segurança nacional. Segundo esta lei, os produtos elétricos se dividem em duas categorias: a primeira deve ter a marca de certificação obrigatória EK; e a segunda pode solicitar uma marca de certificação voluntária K. A marca EK é administrada pela Agência de Tecnologia e Normas – MOCIE (UL, 2008).

Na Índia o BIS (*Bureau of Indian Standards*), órgão oficial de Normas Técnicas, emite a marca de certificação *Indian Standards Institution* (ISI) para produtos qualificados (UL, 2008).

Na Austrália é requerida a conformidade tanto com os requisitos de segurança elétrica quanto com as normas de compatibilidade eletromagnética. O sistema de avaliação da conformidade para a segurança elétrica é de responsabilidade de cada estado/território, e cada agência reguladora administra um esquema de aprovação uniforme e recíproco, regido pelo *Electrical Safety Act* (lei de segurança elétrica). Através deste esquema, os equipamentos elétricos se classificam como declarados ou não-declarados (UL, 2008).

Ainda neste país, os requisitos de CEM são controlados por uma legislação de auto-regulamentação, baseada na legislação de radiocomunicação de 1991 (*The EMC Framework – Radio communications Act. 1992*). Os fabricantes dos produtos eletrônicos que se enquadram no escopo deste modelo devem solicitar a aprovação dos órgãos de comunicações australianos, que concedem a marca de certificação.

A marca regulatória de conformidade (RCM – *Regulatory Compliance Mark*) também está disponível para os produtos que provam sua conformidade de segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética. A Marca de Segurança australiana é também aceita na Nova Zelândia (UL, 2008).

Todas as entidades reguladoras estabelecem critérios para a seleção dos dispositivos como de certificação obrigatória ou voluntária, definem limites para as emissões, limiares para as susceptibilidades e estabelecem o critério para a concessão de certificados ou selos de conformidade. Estabelecem ainda os requisitos normativos a serem atendidos pelos dispositivos, e os requisitos a serem atendidos pelos laboratórios de ensaio. Em geral é exigido que o laboratório seja *acreditado*², quando avaliado pela entidade nacional de metrologia, ou designado, quando avaliado pela própria agência reguladora. No Brasil, a entidade nacional de metrologia é o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

1.3 CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS

A confiança nos resultados de um laboratório é obtida pela comprovação de sua proficiência na realização do ensaio considerado. Esta comprovação se dá através da participação do laboratório em processos denominados de *ensaios de proficiência* (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999; ABNT ISO/IEC Guia 43-2, 1999; NIT-DICLA-026, 2005). O método usual para demonstrar a proficiência é a comparação interlaboratorial. Nela os resultados fornecidos pelos laboratórios são comparados entre si, permitindo a determinação do desempenho de cada laboratório na medição de determinada grandeza (ISO 13528, 2005).

² Em 2005 o INMETRO passou a utilizar o termo *acreditação*, em substituição a *credenciamento*, para denominar o processo de reconhecimento da competência técnica dos laboratórios.

1.4 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo a realização de uma rodada de ensaio de proficiência em CEM, num programa exploratório de medidas de emissão radiada. Para se atingir este objetivo, foi necessário identificar os procedimentos, as normas e as recomendações atuais pertinentes e colocar em prática suas orientações técnicas e legais. Foi necessário ainda o desenvolvimento de um dispositivo específico para ensaio pelos laboratórios.

1.5 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVAS PARA O TRABALHO

Embora se apresente como uma ferramenta por excelência para a comprovação da competência técnica dos laboratórios, a realização de comparações interlaboratoriais não é ainda uma prática consolidada no Brasil, ao menos no contexto de CEM. As comparações anteriores, baseadas no ensaio de perda de inserção em seis laboratórios (SOLETTO, 2003) e de todos os ensaios relacionados a CEM em dois laboratórios (NYLAND, 2007), não obstante sua valiosa contribuição para o desenvolvimento de comparações interlaboratoriais, apresentaram uma abordagem tendendo para o ponto de vista do laboratório. No primeiro caso, em função do sigilo, não foi possível evidenciar a competência técnica dos laboratórios participantes. No segundo, a quantidade de participantes dificulta uma análise estatística.

Até o momento, o único programa nacional de ensaio de proficiência efetivamente voltado para a área de CEM, envolvendo todos os laboratórios no Brasil acreditados nesta área, foi promovido pela Subcomissão de CEM da Comissão Técnica de Eletroeletrônica do INMETRO (CT-08), para ensaios de emissão conduzida (GUIMARÃES ET AL., 2007a).

A ausência de programas nacionais de ensaios de proficiência voltados para CEM, envolvendo todos os laboratórios acreditados na área, sugeriu, conforme recomenda o Guia 43 (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999), a realização de uma rodada piloto de ensaios de proficiência em caráter exploratório.

Agrega valor ao trabalho o estabelecimento dos parâmetros para um ensaio de proficiência baseado em um produto de grande demanda, com o uso de uma norma de bastante utilização, que apresente alguma similaridade com outras normas congêneres.

Dado que o maior crescimento dos eletroeletrônicos ocorre na área de Tecnologia da Informação (TI), cujo ensaio crítico de CEM é de emissão radiada, a CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005) tornou-se a escolha lógica para a rodada de ensaios de proficiência no contexto do presente trabalho. Os limites da CISPR 22, norma adotada pela ANATEL para ensaios de equipamentos de TI no Brasil, apresenta bastante similaridade com os limites estabelecidos por outras normas, como a MIL-STD-461 (1999) e a CFR Title 47 (2008).

No contexto local, esta dissertação se encaixa como um trabalho pertinente ao projeto de pesquisa “Análise da compatibilidade eletromagnética de equipamentos, dispositivos e sistemas eletrônicos em ambientes de trabalho”, da Linha de Pesquisa de Eletromagnetismo Aplicado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do IME. Este projeto, iniciado em 2004, tem gerado algumas contribuições em sub-temas da CEM, tais como: IEM em sistemas de comunicações (DIAS e CHAVES, 2005); IEM em equipamentos eletromédicos (DIAS ET AL., 2006); sondas para medições de campo próximo (VALDMAN, 2006; VALDMAN ET AL., 2007 e 2008); e efeitos biológicos da exposição à RF (SAMARY e DIAS, 2007; CRUZ ET AL., 2005).

A CEM vem despertando interesse crescente em alguns trabalhos de pesquisa e desenvolvimento gerenciados pelo Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro (DCT), em particular no Grupo Finalístico de Guerra Eletrônica (GGE) do Plano Básico de Ciência e Tecnologia (PBCT). Uma demonstração deste interesse foi a inclusão da manutenção e reaparelhamento do laboratório de CEM do Centro Tecnológico do Exército (CTEx) como um dos objetivos do GGE no PBCT, desde 2007. As melhorias neste laboratório permitiram a sua inclusão no ensaio de proficiência desenvolvido para esta dissertação. Foi estabelecida assim uma correlação de seus resultados com os de todos os laboratórios acreditados no Brasil, atestando sua competência para o provimento de resultados válidos, passo fundamental a acreditação do laboratório.

Espera-se que os resultados deste trabalho facilitem o desenvolvimento de novos ensaios de proficiência e proporcionem aos participantes desta rodada dados relevantes para a avaliação de seu desempenho. Complementarmente, espera-se prover aos interessados informações que lhes permitam traçar um panorama da situação atual da CEM no Brasil.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 2 apresenta fundamentos gerais relacionados a ensaios de proficiência, tais como: o funcionamento das entidades reguladoras, do INMETRO e de suas comissões técnicas; a metodologia de ensaios de proficiência e as técnicas estatísticas associadas; as normas e as legislações relacionadas à CEM aplicáveis aos equipamentos eletroeletrônicos. O Capítulo 3 descreve o programa de ensaios de proficiência desenvolvido neste trabalho, cujo foco foi a avaliação exploratória de desempenho dos laboratórios brasileiros acreditados em medições de CEM (mais especificamente, em emissão radiada). O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados do ensaio realizado. E, por fim, o Capítulo 5 conclui a dissertação e identifica algumas oportunidades de trabalhos futuros correlatos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E NORMATIVOS

2.1 ASPECTOS NORMATIVOS EM CEM

As entidades reguladoras utilizam normas para a avaliação da CEM de novos dispositivos. As normas estabelecem os valores limites para emissões, os limiares para a susceptibilidade, o ambiente adequado para a realização do ensaio e a metodologia do ensaio.

Em geral, as normas são divididas de acordo com a abrangência, conforme a seguinte descrição:

- Normas Básicas – aquelas que apresentam as condições gerais para a obtenção da CEM, definindo termos e requisitos;
- Normas Genéricas – aquelas que apresentam os requisitos mínimos para um determinado ambiente, com os ensaios aplicáveis e outros itens correlacionados, em conformidade com as normas básicas (não é associada a produtos e sim ao local de aplicação);
- Normas de Produto – aquelas que apresentam os procedimentos de teste e os limites aceitáveis para um produto, sistema ou instalação específicos.

Para ser utilizada como referência, a norma deve ser oriunda de uma fonte confiável. Desta forma, as entidades reguladoras utilizam normas elaboradas por entidades relacionadas ao governo como, por exemplo, a Marcação CE na Europa (CE, 2008), ou normas desenvolvidas por entidades independentes, como a IEC (*International Electrotechnical Commission*).

As normas desenvolvidas pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), não obstante sua relevância no âmbito da CEM, não são usualmente adotadas pelas entidades regulamentadoras. No contexto global de CEM, as normas da IEC são as mais difundidas e acatadas.

A IEC é uma organização que congrega especialistas na área eletrotécnica, com o intuito de produzir normas que se tornem padrões mundiais. O *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques* (CISPR) é o comitê da IEC voltado para CEM. O organograma da FIG. 2.1 apresenta a estrutura organizacional da IEC e suas interfaces com outras organizações congêneres.

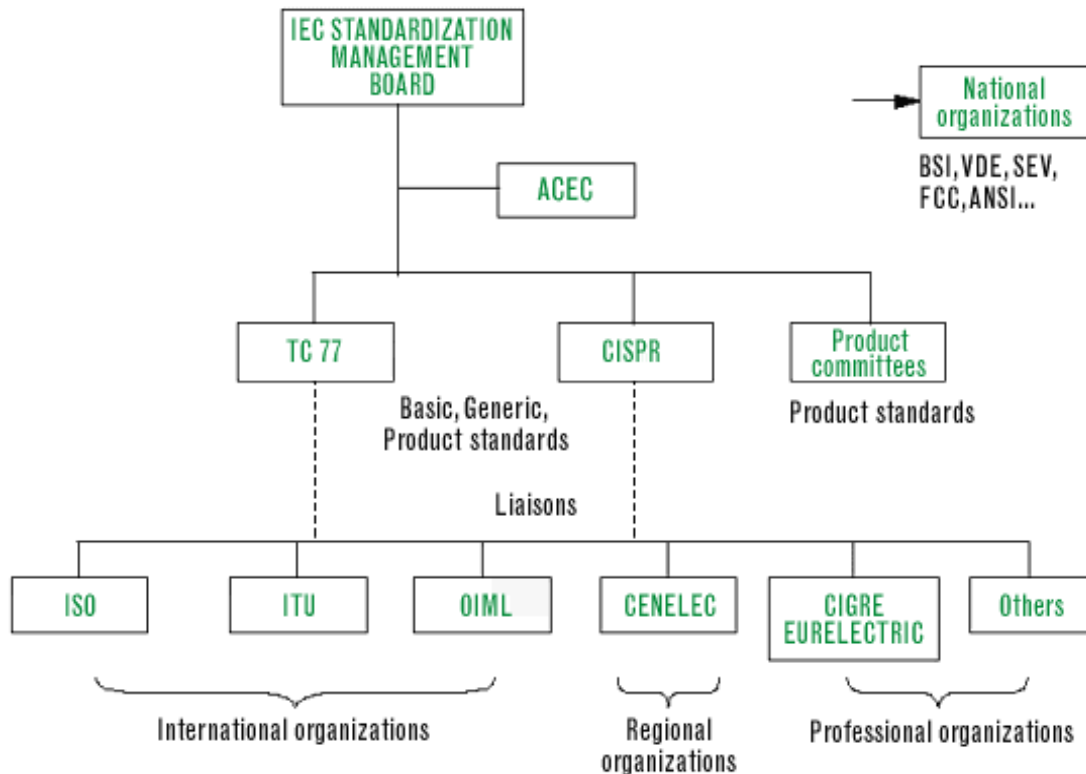


FIG. 2.1. Organograma do IEC (IEC, 2008).

O CISPR promove a normalização de CEM na parte superior do espectro, a partir de 9 kHz. As normas envolvem equipamentos e métodos para medir interferência, limites e requisitos de emissão e imunidade gerais em produtos específicos, e prescrevem métodos de medição em ligação com outros comitês técnicos da IEC. A IEC disponibiliza em sua página da *web* um guia para a seleção das normas relacionadas à CEM (CISPR Guide, 2004).

2.2 O PROCESSO DE SELEÇÃO E ADOÇÃO DE UMA NORMA DE CEM

A opção pelas normas de referência obedece a critérios diversos, que variam de país para país. Os EUA, por exemplo, optaram pelo desenvolvimento de normas próprias, aplicando para o uso civil o *Code of Federal Regulations*, com um capítulo para cada área. Por exemplo, o capítulo 47 (CFR *Title 47*, 2008) é aplicado a equipamentos de comunicações e o capítulo 21 (CFR *Title 21*, 2008) a equipamentos eletromédicos. Na área militar, são adotadas as normas do seu Departamento de Defesa (DoD), com destaque para a MIL-STD-461 (1999),

adotada também por diversos outros países. As normas adotadas pela FCC, pela FDA e pelo DoD remetem às normas do *American National Standards Institute* (ANSI), organização similar à IEC.

A Comunidade Européia, dispondo de conselhos para harmonizar as práticas adotadas pelos seus diversos integrantes, desenvolveu diretrizes próprias para a questão da CEM. Aqueles que atendem às diretrizes recebem a denominada Marcação CE (CE, 2008).

O Brasil, através de suas entidades reguladoras (ANATEL e ANVISA), estabelece os critérios para a aprovação de produtos eletroeletrônicos. Estes critérios remetem a normas internacionais, como as normas IEC, CISPR, ANSI, entre outras. Este processo é detalhado a seguir.

2.3 O PAPEL DAS ENTIDADES REGULADORAS BRASILEIRAS EM CEM

Como mencionado anteriormente, no Brasil, a regulamentação de produtos e serviços é feita através das chamadas agências nacionais, sendo que as agências relacionadas à CEM são a ANATEL, para produtos de telecomunicações, e a ANVISA, para eletromédicos. Cada uma destas entidades estabelece os requisitos a serem atendidos pelos produtos e serviços afetos à sua área de responsabilidade, assim como a metodologia a ser utilizada para avaliar o atendimento a estes requisitos. A ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, embora utilize dispositivos relevantes à CEM, como, por exemplo, os medidores de energia elétrica, não os regulamenta, sendo esta atividade atribuída ao INMETRO. Itens como reatores, por exemplo, não obstante sua relevância à CEM, não têm regulamentação estabelecida quanto a este aspecto.

A ANVISA adota uma estrutura similar à ANATEL. Como este trabalho versa sobre equipamentos associados à ANATEL, somente esta última agência terá seus processos descritos a seguir. Maiores detalhes sobre o funcionamento da ANVISA podem ser obtidos em sua página na *web*.

2.3.1 A ANATEL

“XVIII - Produtos para Telecomunicação da Categoria I: equipamentos terminais destinados ao uso do público em geral para acesso a serviço de telecomunicações de interesse coletivo;

XIX - Produtos para Telecomunicação da Categoria II: equipamentos não incluídos na definição da Categoria I, mas que fazem uso do

espectro radioelétrico para transmissão de sinais, incluindo-se antenas e aqueles caracterizados, em regulamento específico, como equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita; e
XX - Produtos para Telecomunicação da Categoria III: quaisquer produtos ou equipamentos não enquadrados nas definições das Categorias I e II, cuja regulamentação seja necessária:
a) à garantia da interoperabilidade das redes de suporte aos serviços de telecomunicações;
b) à confiabilidade das redes de suporte aos serviços de telecomunicações; ou
c) à garantia da compatibilidade eletromagnética e da segurança elétrica.”

Extrato do Anexo à Resolução N.º 242, de 30 de novembro de 2000, REGULAMENTO PARA CERTIFICAÇÃO E HOMOLOGAÇÃO DE PRODUTOS PARA TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL)

A ANATEL estabelece os requisitos para a certificação para cada tipo de produto, conforme sua categoria. O extrato do Anexo à Resolução 242 da ANATEL, mostrado em destaque no início deste tópico, apresenta o critério para o enquadramento do produto por categoria.

Os Organismos de Certificação Designados³ (OCDs) encaminham os equipamentos para laboratórios designados pela ANATEL ou acreditados pelo INMETRO. Com base nos resultados dos laboratórios, os OCDs emitem os Certificados de Conformidade e os submetem à ANATEL, que homologa o equipamento. Os processos de designação de organismo, avaliação de laboratório e homologação de produtos estão na página da *web* da ANATEL.

³ “Organismo de Certificação Designado (OCD) é a instituição técnica legalmente constituída que, por delegação da Anatel, conduz processos de avaliação da conformidade de produtos para telecomunicações, no âmbito da certificação compulsória, e expede os certificados de conformidade correspondentes. Os certificados de conformidade de produtos para telecomunicações expedidos pelos OCDs constituem pré-requisito necessário à obtenção da homologação, pela Anatel, para fins de comercialização e utilização legais destes produtos no Brasil.” (Wisotel, 2008)

2.4 O PAPEL DO INMETRO

2.4.1 A ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS

Para que sejam considerados válidos, os resultados dos ensaios devem ser emitidos por laboratórios acreditados pelo INMETRO. O processo de acreditação de laboratórios tem como objetivo atestar que o laboratório possui competência técnica para a realização de ensaios específicos. No Brasil, para ser acreditado, o laboratório deve comprovar o atendimento aos requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (2005) e de normas específicas do INMETRO. A FIG. 2.2 esquematiza o processo nacional de acreditação adotado pelo INMETRO (INMETRO, 2008b).

2.4.2 AS COMISSÕES TÉCNICAS

O INMETRO é o órgão responsável pela execução das políticas nacionais relacionadas à metrologia em geral. Uma de suas atribuições nesse contexto é o planejamento e a execução de atividades relacionadas à acreditação de laboratórios e organismos de certificação.

Para apoiar o INMETRO na atividade de acreditação de laboratórios, 12 Comissões Técnicas (CT) foram criadas (INMETRO, 2008a). Cabe a estas comissões a realização de ensaios de proficiência, como forma de atestar a eficácia do sistema de acreditação, entre outras atividades de apoio. A comissão que trata especificamente da área eletroeletrônica é a CT-08.



FIG. 2.2. Fluxograma do processo de acreditação adotado pelo INMETRO.

2.5 ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA POR COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL

Para demonstrar a competência técnica requerida para o fornecimento de resultados válidos é necessário que os laboratórios participem de ensaios de proficiência. A demonstração da proficiência de um laboratório se dá pela comparação dos resultados que ele fornece com padrões conhecidos ou com os resultados de outros laboratórios.

A ABNT NBR ISO/IEC 17025 (2005), referência para a acreditação de laboratórios, recomenda a realização de ensaios de proficiência para a garantia da qualidade dos resultados. O INMETRO estabelece como requisito para a acreditação de um laboratório a sua participação prévia em pelo menos uma rodada de ensaios de proficiência (NIT-DICLA-031, 2007). Além disso, deve-se destacar que a participação regular em programas de ensaio de proficiência permite ao laboratório e às demais partes interessadas identificar pontos a serem corrigidos e comprovar a melhoria contínua dos processos. Esta indicação de ensaios de proficiência como método de verificação continuada da qualidade foi incorporada à última revisão da NBR ISO/IEC 17025 (ABNT NBR ISO/IEC 17025, 2005).

O principal documento de orientação dirigido aos laboratórios que desejam realizar ensaios de proficiência é o Guia 43-1 da ISO (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999). Nele são indicados os seis tipos mais comuns de programas de ensaios de proficiência, a saber:

- De comparação de medições: o item ou equipamento de ensaio (ESE) a ser calibrado ou medido circula seqüencialmente entre os participantes e os resultados obtidos são comparados a um valor de referência (valor designado⁴), que pode ser fornecido por um laboratório de referência ou ser um valor de consenso entre os participantes.
- De ensaios interlaboratoriais: uma seleção aleatória de subamostras de um item é distribuída simultaneamente aos laboratórios participantes para ensaios em paralelo.

⁴ Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

- De ensaios de partidas de amostras: envolvem amostras de um produto ou material, divididas em duas ou mais partes, onde cada laboratório ensaia uma parte de cada amostra. O número de laboratórios envolvidos é muito limitado neste tipo de programa (freqüentemente dois). Em geral é utilizada por clientes de laboratórios ou organismos regulamentadores para avaliar pequenos grupos de laboratórios quanto a sua capacidade de fornecer resultados confiáveis.
- Qualitativos: consistem na verificação da capacitação do laboratório em realizar certo tipo de medida, como caracterizar entidades específicas, por exemplo, (tipo de amiantos, identidade de um organismo patogênico específico, etc.). Este tipo de avaliação de desempenho não envolve necessariamente comparações interlaboratoriais.
- De valor conhecido: consistem na avaliação da capacidade de um laboratório ensaiar individualmente um item e fornecer valores numéricos comparáveis a valores designados. Este é outro tipo de ensaio de proficiência que não envolve necessariamente a participação de múltiplos laboratórios.
- De processo parcial: consistem na avaliação da capacidade do laboratório em realizar partes do ensaio total ou do processo de medição.

O Guia 43-1 (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999) trata também da organização e planejamento (ou projeto) de ensaios de proficiência. Em linhas gerais, são destacadas características relacionadas: à estrutura do programa; ao pessoal envolvido; aos equipamentos de processamento de dados usados nos ensaios; ao projeto estatístico do programa; à preparação e ao gerenciamento do ESE; à escolha do método de ensaio; e à evolução dos programas de ensaios.

Um programa de ensaios de proficiência deve ser conduzido por um coordenador (individual ou institucional) com uma equipe que reúna conhecimentos na área técnica objeto do ensaio, conhecimentos estatísticos e conhecimentos de metrologia. A equipe deve documentar o programa e ter capacidade para responder a todos os questionamentos pertinentes, além de dispor de todos os recursos necessários para o desempenho de suas funções.

Deve ser elaborado um documento de orientação aos laboratórios participantes dos ensaios contemplando todos os aspectos do programa (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999). Em especial, devem ser destacados:

- Dados dos laboratórios participantes e o critério de inscrição;
- Dados sobre o coordenador do programa e sua equipe envolvida;
- Propósito do programa;
- Item a ser ensaiado;
- Logística aplicada;
- Informações preliminares a serem enviadas aos participantes;
- Informações que serão fornecidas ao fim do programa para os participantes e para o público-alvo interessado;
- Método de ensaio; e
- Critérios técnicos e estatísticos que serão aplicados.

O projeto estatístico deve ser tal que possa garantir a precisão⁵ e a veracidade⁶ dos resultados, com sensibilidade suficiente para a detecção de pequenas diferenças. Deve considerar o número de participantes, o número de itens de ensaio, a quantidade de medições e o número de rodadas de ensaios que serão realizadas. O projeto deve ainda definir os critérios para a determinação do valor designado e para o tratamento de valores dispersos extremos (*outliers*).

Mesmo considerando a ética das partes envolvidas, os programas de ensaios de proficiência devem ser conduzidos de forma a procurar identificar e impedir situações de quebra de confidencialidade dos registros, fraudes e falsificações de resultados.

⁵ Grau de concordância de resultados de ensaios independentes obtidos sob condições prescritas (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

⁶ Grau de concordância entre o valor médio obtido em uma grande série de resultados de ensaio e um valor de referência aceito (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

2.6 MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA

O resultado de uma medição é oriundo de um processo que utiliza diversos recursos que trazem consigo um grau de incerteza (INMETRO, 2003). Mesmo com o uso de pessoal qualificado, metodologia padronizada, instrumentos calibrados e ambiente adequado, é improvável que a repetição de um processo de medição produza exatamente o mesmo resultado.

Devido à reduzida probabilidade de se obter exatamente o mesmo resultado ao se repetir uma medição, é necessário estabelecer um critério para definir um valor como referência, o qual é denominado de *valor designado*⁴, *valor de referência* ou ainda *valor verdadeiro convencional* – VVC (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

Ao ser realizada uma série de medições, a proximidade das medidas entre si é denominada *precisão*⁵ e a proximidade das medidas com o VVC é denominada *veracidade*⁶ ou *exatidão* (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999). Assim, a exatidão está associada ao erro de medição: quanto menor o erro, mais exata a medida. A precisão, por sua vez, está associada à incerteza de medição: quanto menor a incerteza, mais precisa a medida. A incerteza de medição é um parâmetro estatístico relevante em metrologia, que pode ser estimado a partir de medidas e outras informações pertinentes sobre as condições de obtenção dos dados⁷. A incerteza de medição estimada deve ser informada em conjunto com as medidas (NIT-DICLA-021, 2007). De forma diferente, o erro é determinado, não é estimado e ainda, não tem a sua origem determinada. Se a origem do erro for determinada devem ser adotadas medidas para a sua eliminação. A FIG. 2.3 representa esquematicamente a relação entre os parâmetros de uma medição.

Em ensaios de proficiência, o projeto estatístico deve contemplar três etapas fundamentais: determinação do valor designado; cálculo da estatística de desempenho; e avaliação do desempenho. Em alguns casos, é necessário também realizar uma determinação preliminar da homogeneidade e estabilidade dos itens de ensaio (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

⁷ A incerteza de medição é calculada com base em duas componentes: a incerteza do tipo A, obtida pela análise estatística de séries de observações; e a incerteza do tipo B, obtida por outros métodos, como o histórico das medições e os componentes utilizados no ensaio. (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999)

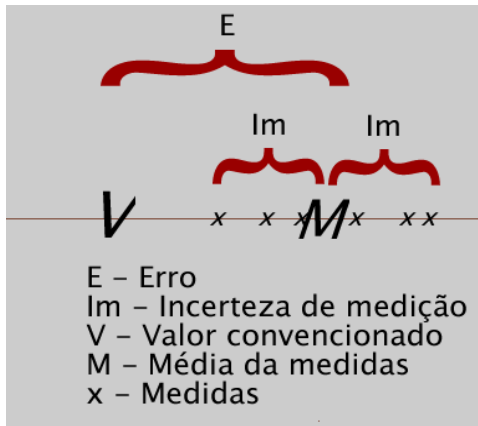


FIG. 2.3. Parâmetros de uma medição.

O projeto estatístico possui certa flexibilidade quanto à escolha dos métodos estatísticos para tratamento dos dados de ensaios de proficiência. O Guia 43-1 não é determinante, apenas exemplificando alguns métodos. Entretanto, indica a necessidade de um documento complementar. Este documento foi lançado alguns anos depois pela ISO (ISO 13528, 2005). A ISO 13528 esclarece, organiza e recomenda as práticas estatísticas referenciadas no Guia 43.

2.6.1 DETERMINAÇÃO PRÉVIA DA HOMOGENEIDADE E DA ESTABILIDADE DO ESE

Para ser confiável como padrão de referência, o ESE deve apresentar sempre os mesmos resultados. Em termos estatísticos isto significa que o ESE deve apresentar homogeneidade⁸ e estabilidade⁹. A homogeneidade está associada à reprodutibilidade¹⁰ do ensaio, enquanto a estabilidade está associada à repetitividade¹¹ dos resultados. A avaliação da reprodutibilidade e da repetitividade é realizada conforme a ISO 5725-2 (1994). Alternativamente, pode ser considerado homogêneo e estável o ESE que apresentar resultados equiparáveis durante a rodada do ensaio de proficiência.

⁸ Homogeneidade é a “condição de manutenção da composição ou da estrutura uniforme em relação a um ou mais propriedades específicas” (ISO Guide 30, 1992).

⁹ Estabilidade é a “habilidade de um material de referência, quando preservado nas condições especificadas, em manter o valor estabelecido para uma propriedade dentro de valores especificados, por um determinado intervalo de tempo” (ISO Guide 30, 1992).

¹⁰ Reprodutibilidade é o “grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição” (INMETRO, 2007a).

¹¹ Repetitividade é o “grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição” (INMETRO, 2007a).

2.6.2 DETERMINAÇÃO DO VALOR DESIGNADO

Existem diversos procedimentos para se estabelecer os valores designados. Os procedimentos mais comuns são listados a seguir, em ordem crescente quanto ao aumento da incerteza para o VVC (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999):

- Valores conhecidos – determinados pelo uso de um item que pode ser caracterizado pelos detalhes construtivos como, por exemplo, uma solução química;
- Valores de referência certificados – determinados por métodos definitivos (para ensaios quantitativos);
- Valores de referência – determinados por comparação a um padrão de referência, rastreável a um padrão nacional ou internacional;
- Valores de consenso de laboratórios especialistas – determinado por especialistas que tenham competência para tal, através de métodos validados¹²;
- Valores de consenso de laboratórios participantes – determinado por análise estatística dos valores medidos como, por exemplo:
 - o consenso de uma percentagem predeterminada, (qualitativo);
 - a média, a mediana ou outra medida consistente, (quantitativo).

A incerteza de medição associada ao valor designado deve ser determinada por um método como o estabelecido pelo Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (INMETRO, 2003), através de métodos robustos ou outros tecnicamente aceitáveis (ISO 13528, 2005).

Os valores utilizados para determinar o valor designado e a incerteza devem ser tratados de forma a serem minimizados os efeitos de valores dispersos (*outliers*). Podem ser considerados, por exemplo, métodos robustos (ISO 13528, 2005) ou métodos para a exclusão de valores dispersos (ISO 5725-2, 1994).

Convém que os valores de consenso sejam validados de alguma forma, e que exista um critério para a aceitação destes valores.

¹² A validação é a comprovação do atendimento ao fim que se destina. Método de ensaio validado é aquele sobre o qual existe evidência suficiente para demonstrar sua capacidade em fornecer resultados tecnicamente válidos.

2.6.3 CÁLCULO DA ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO

Para avaliar quantitativamente o desempenho do laboratório em ensaios com um único item, é necessário estabelecer uma relação do seu resultado com o VVC. As estatísticas usualmente adotadas para resultados quantitativos são as seguintes:

- a) Diferença ou tendência (*bias*) entre o valor designado (X) e o resultado do laboratório (x)

É a forma de apresentação mais facilmente compreendida, sendo denominada “estimativa da tendência do laboratório” (ISO 5725-2, 1994):

$$x - X \quad (2.1)$$

- b) Diferença percentual

$$\frac{(x - X)}{X} * 100 \quad (2.2)$$

- c) Percentil ou Classificação

Consiste na ordenação ou classificação dos laboratórios conforme sua proximidade do VVC. Esta abordagem torna-se mais significativa ao serem tratados resultados muito dispersos ou assimétricos, não devendo ser utilizada em ensaios de proficiência (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

- d) Índice z (*z-score*)

$$z = \frac{x - X}{s} \quad (2.3)$$

onde s é uma estimativa da variabilidade que é selecionada para atender aos requisitos do programa. O método consiste em utilizar a correlação entre a distribuição normal e o desvio-padrão para estabelecer um intervalo de confiança. Através de uma planilha Z (SPIEGEL, 1978), é estimado que 95,45% dos valores estão distribuídos em um intervalo de até dois desvios padrão e 99,73% estão em um intervalo de três desvios padrão da média, correspondendo a um intervalo de confiança de aproximadamente 95% no primeiro caso e 99% no segundo caso.

e) Erro normalizado ou número E_N

$$E_N = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (2.4)$$

onde U_{lab} é a incerteza expandida¹³ do resultado do participante e U_{ref} a incerteza expandida do valor de referência (VVC).

O uso de mais de um ESE, com as mesmas características, aumenta a confiabilidade do ensaio de proficiência, em função da repetição das medidas. Para a avaliação do desempenho combinado podem ser aplicados métodos gráficos, como o de Youden, e estatísticos, como o de Mandel (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

2.6.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para a avaliação do desempenho inicial de um programa, convém que os seguintes critérios sejam estabelecidos após levar em consideração se a medida de desempenho envolve as seguintes características (ISO 13528, 2005):

- a) Consenso de especialistas, onde o grupo consultor ou outros especialistas qualificados determinam diretamente se os resultados relatados são adequados aos propósitos. O consenso de especialistas é uma forma típica para avaliar os resultados de ensaios qualitativos.
- b) Adequação ao propósito, que considera, por exemplo, as especificações de desempenho do método e o nível operacional reconhecido dos participantes.
- c) Determinação estatística para valores, quando conveniente que os critérios sejam apropriados para cada valor. Exemplos comuns de aplicação de valores são:

– para índices z

$|z| \leq 2$ = satisfatório

$2 < |z| < 3$ = questionável

$|z| \geq 3$ = insatisfatório

¹³ A incerteza de medição expandida U é obtida pela multiplicação da incerteza padrão $u(y)$ da estimativa de saída y , por um fator de abrangência k (ISO/IEC Guide 98, 2003).

- para números E_N
 - $|E_N| \leq 1$ = satisfatório
 - $|E_N| > 1$ = insatisfatório

d) Consenso entre participantes, onde a faixa de valores ou resultados utilizados é definida por um percentual de participantes, ou grupo de referência, tais como:

- Percentagem central satisfatória (80%, 90% ou 95%), ou
- Percentagem unilateral satisfatória (no mínimo 90%).

Com relação à interpretação dos valores de *z-score* e de erro normalizado, em termos práticos, um índice *z* questionável é uma indicação da conveniência de ações preventivas por parte do laboratório correspondente (*warning signal*). Já um índice *z* ou um erro normalizado insatisfatório indica necessidade de ações corretivas (*action signal*) (ISO 13528, 2005).

Como o objetivo dos ensaios de proficiência é validar os laboratórios como provedores de resultados válidos, a apresentação gráfica dos resultados é a melhor forma de evidenciar este atendimento. Os gráficos apresentam as medidas e os limites, facilitando a rápida identificação do grau de proximidade dos valores apresentados pelo laboratório com o VVC. Algumas apresentações, como por exemplo o *z-score*, permitem ainda a visualização da necessidade de ação preventiva ou corretiva.

2.6.5 ANÁLISE DE RESULTADOS EXTREMOS (*OUTLIERS*)

Valor disperso (*outlier*) é uma parte de um grupo de valores que é inconsistente com as outras partes daquele grupo (ISO 5725-2, 1994). Equivalentemente, resultados extremos e outros valores que sejam muito inconsistentes com outras partes do grupo de dados são valores dispersos (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999). Em ensaios de proficiência por comparação interlaboratorial, tais valores extremos costumam indicar problemas ou falhas grosseiras nos procedimentos de medições.

A análise de *outliers* pode ser útil ao coordenador de um programa de ensaios em duas instâncias do projeto estatístico: na avaliação de desempenho do ensaio; e na determinação do valor designado e sua incerteza. Na primeira, valores elevados de erro normalizado ou de índice *z* podem estar associados a resultados

extremos; a identificação de *outliers* pode ajudar a reforçar a argumentação indicativa de ações corretivas para o laboratório que apresentar resultados insatisfatórios. Na segunda, a análise é de suma importância quando o VVC é determinado por consenso dos laboratórios participantes, através do estabelecimento da média ou da mediana dos resultados como valor designado; a análise de *outliers* permite reduzir a distorção produzida pelos valores extremos na estimação do VVC.

2.6.5.1 Origem dos valores dispersos

Em um sistema de medição onde os erros identificados foram minimizados e todos os fatores estão adequados, os valores dispersos têm origem, principalmente, nos erros de transcrição, nas falhas na condução do ensaio ou em fontes externas ao ensaio. Nesta última abordagem, pode-se considerar que os dados estão “contaminados” por uma fonte não pertencente ao sistema em questão.

A pesquisa de valores dispersos requer que as medidas tenham sido obtidas nas mesmas condições e que tenham sido eliminados os fatores que possam provocar distorções. Deve ser garantida a igualdade dos valores registrados com os obtidos e sua distribuição deve ser normal.

2.6.5.2 Identificação e tratamento de valores dispersos

Existem diversos métodos para a identificação de valores dispersos, como os de Grubbs (1950, 1969, 1973) e Dixon (1950, 1951, 1953), entre outros (ISO 5725-2, 1994). Alguns desses métodos se baseiam na definição de uma probabilidade de abrangência como base para identificar valores extremos. Outros estabelecem diretamente limiares de corte. A identificação de valores suspeitos pode ser feita analisando-se um a um os valores, como no método de Dixon. A análise, entretanto, pode ser feita aos pares, como proposto por Grubbs.

Existem três formas de se tratar os valores dispersos: eliminação, manutenção ou correção (ISO 5725-2, 1994). A eliminação do valor implica no conhecimento e na aceitação do fato de que o mesmo não pertence ao conjunto de medidas e/ou que a sua exclusão não vai afetar negativamente os resultados. A manutenção do valor, por sua vez, implica em aceitar o valor como pertencente ao conjunto de medidas, e que sua presença, mesmo gerando uma tendência, é

fundamental para a caracterização do resultado. A correção do valor representa uma medida intermediária entre excluir e aceitar incondicionalmente. Para tal, é necessário aplicar técnicas de adaptação aos resultados, para ajustar os valores extremos à tendência dos demais. A regressão e a técnica estatística robusta são exemplos de estratégias de ajuste.

A estratégia de correção de valores dispersos pela técnica robusta ganhou força recentemente, já que é a técnica recomendada pela norma ISO 13528 (2005) para o cálculo da média e do desvio-padrão dos resultados. Em particular, esta técnica é explicitamente recomendada para programas de ensaio por comparação de medições nos quais o VVC é determinado com base no consenso dos participantes. No Anexo 7.1 são reproduzidos alguns métodos de pesquisa de valores dispersos e o método robusto de cálculo de média e desvio-padrão.

2.6.6 CÁLCULO DE INCERTEZAS

A maior parte das incertezas consideradas em um projeto estatístico de um programa de ensaios de proficiência está associada aos procedimentos de medição dos laboratórios participantes. É atribuição de cada laboratório calcular ou estimar sua incerteza, pois ela deve ser informada junto com os resultados. O documento normativo mais importante nesta questão é o ISO/IEC Guide 98 – *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (INMETRO, 2003), também conhecido como ISO GUM. Sua versão traduzida contendo as atualizações mais recentes sobre o tema é editada pelo INMETRO (INMETRO, 2003). Trabalhos recentes sobre ensaios de proficiência em que o ponto de vista do laboratório foi privilegiado trazem algumas considerações sobre o tema, resumindo as principais orientações e fundamentos contidos no ISO GUM (SOLETTO, 2003; NYLAND, 2007). A avaliação da metodologia utilizada pelos laboratórios para estimar a incerteza de medição cabe ao avaliador técnico responsável pela acreditação do laboratório.

Outra incerteza pertinente a programas de ensaio é a incerteza do valor designado. Embora o ISO GUM (INMETRO, 2003) também seja uma referência que ajude na determinação dessa incerteza, a ISO 13528 (2005) traz orientações específicas para os diferentes tipos de ensaios e para as diferentes formas de determinação do VVC, em especial no caso da escolha de VVC por consenso dos

participantes, em programas por comparação de medições. O Anexo 7.1 apresenta a metodologia de estimativa da incerteza de medição.

2.7 A NORMA CISPR 22

Como mencionado na Introdução, a CISPR 22 foi selecionada como norma de referência neste trabalho em função de sua ampla utilização na área de TI, de sua adoção pela ANATEL e pela similaridade da sua metodologia com a da norma equivalente da FCC. A CISPR 22 trata dos limites e da metodologia para avaliar a emissão radiada por equipamentos de TI. A FIG. 2.4 apresenta uma correlação da CISPR22 com os requisitos da FCC (CFR Title 21, 2008).

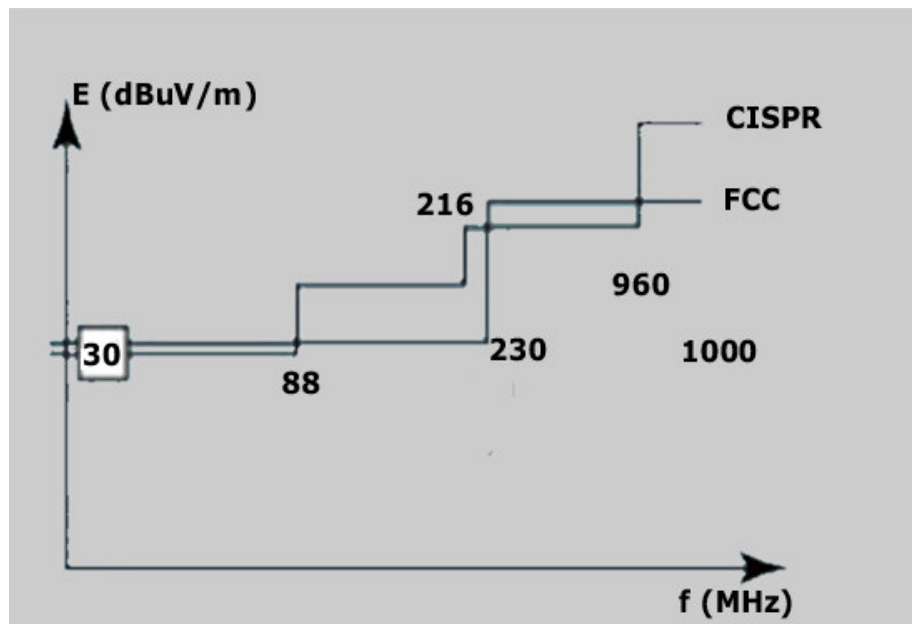


FIG. 2.4. Comparação dos limites de emissão radiada CISPR 22 versus FCC.

Os itens de ensaio são classificados em função de sua aplicação da seguinte forma:

- Classe B – quando o uso pretendido é doméstico; e
- Classe A – para outras aplicações.

Nos primeiros estudos de CEM a preocupação com a frequência radiada era associada aos serviços de comunicações, principalmente radiodifusão VHF/UHF. A título de informação, as TAB.s 2.1 e 2.2 expressam os limites de emissão radiada nas primeiras versões da CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2003). Observa-se,

de fato, que o limite superior de frequência era de 1 GHz, ou seja, pouco acima dos últimos canais de UHF de radiodifusão de TV, na distribuição espectral pré-telefonia celular. Com o advento dos celulares, a faixa acima de 800 MHz deixou de contemplar radiodifusão. Recentemente, em função da utilização de frequências cada vez mais altas, seja por equipamento-rádio (celulares, terminais de redes sem fio, etc.), seja por relógios de sistemas digitais (*clocks*), houve uma revisão dos critérios de avaliação de emissões (PAUL, 2006). Na última revisão da CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005), a faixa de frequências cobertas foi expandida até 6 GHz, como mostram as TAB.s 2.3 e 2.4. Outra novidade foi a incorporação de uma distância menor associada aos novos limites; em vez de 10 m a distância de referência passou a ser de 3 m.

TAB. 2.1. Limites de emissão radiada para dispositivos classe A até 1 GHz.

Faixa de frequências (MHz)	Limites Quase-Pico 10m (dB μ V/m)	Limites Quase-Pico 3m (dB μ V/m)
30 - 230	40	50,5
230 - 1000	47	57,5

TAB. 2.2. Limites de emissão radiada para dispositivos classe B até 1 GHz.

Faixa de frequências (MHz)	Limites Quase-Pico 10m (dB μ V/m)	Limites Quase-Pico 3m (dB μ V/m)
30 - 230	30	40,5
230 - 1000	37	47,5

A redução da distância entre a antena e o ESE provavelmente se deve ao fato de que as frequências incluídas na norma têm menor comprimento de onda, inferiores a 0,3 m, aproximando a região de transição para o campo próximo do ESE, facilitando a adoção da análise de campo distante a uma menor distância. Esta inclusão veio ao encontro de uma tendência de adoção de ambientes de ensaio cada vez menores. No Brasil, por exemplo, a maior parte das câmaras semi-aneecóicas somente comporta ensaios a 3 m.

TAB. 2.3. Limites de emissão radiada para dispositivos classe A para freqüências acima de 1GHz.

Faixa de freqüências (GHz)	Média 3m (dB μ V/m)	Pico 3m (dB μ V/m)
1 - 3	56	76
3 - 6	60	80

TAB. 2.4. Limites de emissão radiada para dispositivos classe B para freqüências acima de 1GHz.

Faixa de freqüências (GHz)	Média 3m (dB μ V/m)	Pico 3m (dB μ V/m)
1 - 3	50	70
3 - 6	54	74

A CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005) estabelece os limites para medições realizadas até 1 GHz à distância de 10 m. Acima desta freqüência são fornecidos também limites para ensaios a 3 m de distância. A norma admite que os limites para 10 m sejam corrigidos pelo fator de 10,5 dB (correspondente à correção da perda de espaço livre). Contudo, a correção matemática direta dos limites apontada é questionada, por sua inconsistência quando comparada a resultados práticos (GARN ET AL., 1993). Corroborando esta posição, a FCC não admite ensaios a 3 m para produtos classe A (CFR Title 21, 2008), não obstante a similaridade de seus ensaios com os previstos na CISPR 22.

2.8 TIPOS DE DETECTORES DE EMISSÃO RADIADA

A medição dos sinais para a comparação com os limites normativos de CEM é feita por detectores com funções específicas (PAUL, 2006). usualmente são detectores: de pico, de quase-pico; e de média.

2.8.1 DETECTOR DE PICO

O detector de pico é um detector de envoltória. O diodo conduz apenas uma polaridade do sinal e o capacitor se carrega, mantendo o nível máximo. O resistor compõe a base de tempo estabelecendo a freqüência de detecção. Desta forma o detector é capaz de captar todas as mudanças na envoltória do sinal. O princípio de funcionamento de um detector de pico típico está ilustrado na FIG. 2.5(a).

2.8.2 DETECTOR DE QUASE-PICO

Historicamente, a detecção quase-pico foi utilizada por apresentar uma boa resposta empírica, a partir das sensações auditivas à qualidade do som nos receptores AM (ANSI C63.12, 1999). Hoje a preferência pelo uso dos detectores de quase-pico, para as baixas frequências, se deve à incapacidade dos detectores de pico em perceber variações instantâneas, exatamente aquelas que afetam a qualidade do som em receptores. Os detectores de quase-pico funcionam de modo similar aos detectores de pico, mas são projetados para que o tempo de carregamento seja muito menor que o de descarga, de forma que quanto maior a taxa de repetição dos sinais, maior o nível detectado. O princípio de funcionamento de um detector de quase-pico típico está ilustrado na FIG. 2.5(b).

Os detectores de quase-pico apresentam o inconveniente de serem mais lentos na apresentação dos resultados do que os detectores de pico. A ANSI C63.4 (2001) estabelece que, salvo determinação em contrário, as medidas até 1 GHz devem ser realizadas com detectores de quase-pico. Para frequências maiores podem ser utilizados detectores de pico ou de médias. Esta prática é adotada pela CISPR 22 em sua última revisão, para as medições acima de 1 GHz (IEC CISPR 22, 2005).

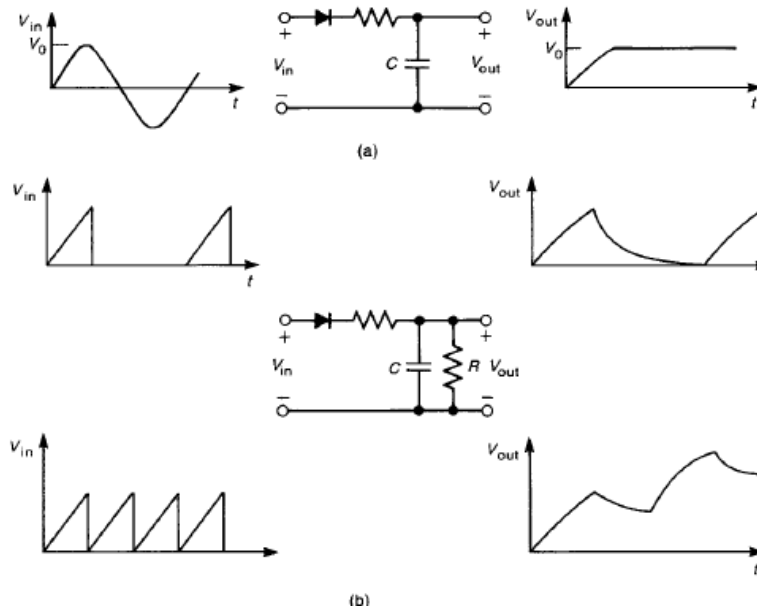


FIG. 2.5. Detectores de (a) pico e (b) quase-pico.

2.8.3 DETECTOR DE MÉDIA

O detector de média tem características similares ao detector de pico. É composto por um detector de envoltória seguido por um conjunto de filtros, usualmente passa-baixas. Os filtros têm banda muito menor que a banda do detector de envoltória. Assim, os filtros detectam a média, ou seja, integram as componentes de alta frequência. A FIG. 2.6 exemplifica este tipo de detector.

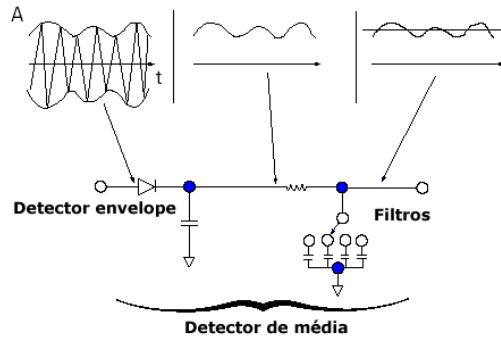


FIG. 2.6. Detector de média.

2.9 AMBIENTES PARA ENSAIOS DE EMISSÃO RADIADA

Para assegurar a exatidão dos resultados, os ensaios de emissão radiada devem ser realizados em ambientes onde não existam sinais oriundos de outras fontes que não aquelas previstas no método de ensaio. As principais incompatibilidades para ensaios de emissão radiada estão relacionadas a fontes de sinais que possam induzir a falsas respostas e a objetos que provoquem a reflexão dos sinais pertinentes ao ensaio.

Alem das interferências radiadas, existem interferências conduzidas, que podem ser eliminadas ou atenuadas com técnicas como aterramento e colocação de filtros nas linhas de transmissão (cabos) que entram no ambiente de ensaio.

Os efeitos de outras fontes de interferência nos ensaios de emissão radiada são controlados pela realização de ensaios em áreas onde os sinais interferentes são inexistentes ou suficientemente atenuados. A CISPR 22 orienta o uso de áreas de teste abertas (OATS - *Open Area Test Site*), mas admite genericamente o uso de ambientes alternativos, citando em suas referências apenas as câmaras anecóicas e semi-anecóicas (CA/CSA) como opção. Por extensão, consideradas as prescrições contidas na IEC 61000-4-20 (2007), podem ser utilizadas células

TEM. Embora seja um caso particular, para o uso na faixa de microondas, usualmente as células TEM são referenciadas como GTEM (*Gigahertz Transverse Electromagnetic*). A TAB. 2.5 apresenta a transcrição das conclusões de um estudo sobre os ambientes de ensaio (LIN e HUANG, 1998).

TAB. 2.5. Comparação dos ambientes de teste (LIN e HUANG, 1998).

CARACTERÍSTICA	OATS	CA/CSA	GTEM
Ambiente de teste	Aberto - Espaço livre com plano terra	Fechado – simulação de espaço livre com plano terra	Fechado – simulação de espaço livre
Cobertura	Limitada – Existem pontos cegos	Limitada – Existem pontos cegos	Total
Manuseio de cabos	Parte do procedimento	Parte do procedimento	Impraticável
Manuseio do ESE	Normal	Normal	Difícil
Tamanho do ESE	Ilimitado	Limitado pela zona de silêncio	Limitado
Influências externas	Alta	Nenhuma	Nenhuma

A auto-interferência, causada pela reflexão dos sinais emitidos pelo ESE (equipamento sob ensaio) ou pelos instrumentos utilizados no ensaio, é minimizada nas OATS pela ausência de obstáculos próximos e nas CA/CSA pelo uso de absorvedores de RF nas paredes e no teto. Obviamente, no ambiente de teste não devem existir objetos que propiciem a reflexão. Especial atenção deve ser dispensada aos cabos de alimentação do ESE e aos dispositivos de monitoramento.

A CISPR 22 estabelece que os locais de ensaio devam ser validados para as polarizações vertical e horizontal, para todas as frequências em que são realizadas medições. A metodologia para validação dos ambientes em testes em frequências até 1 GHz está na CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005). Para frequências superiores, está na família de normas CISPR 16 (IEC CISPR 16-4-1, 2005; IEC CISPR 16-4-2, 2003; IEC CISPR 16-4-4, 2003).

Além dos recursos para a proteção contra interferências e dos instrumentos de medição, ainda devem existir aparatos para facilitar a operação dos ensaios. Como a medida de campo elétrico deve ser realizada em azimute e elevação, os recursos usuais são uma mesa que permita rotação, uma haste que permita variação de altura e antenas para toda a banda a ser avaliada. A FIG. 2.7 destaca as características de distância e espaçamento entre o ESE e a antena de medida em um esquema típico de ensaio segundo a CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005).

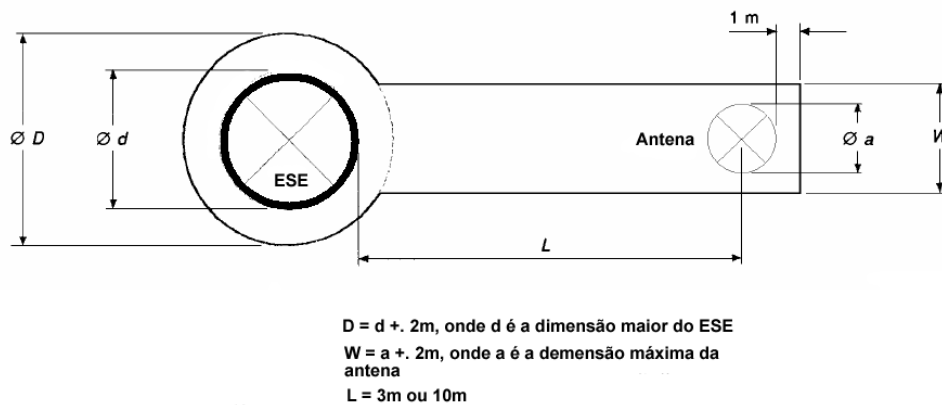


FIG. 2.7. Arranjo para medidas de emissões radiadas segundo a CISPR 22.

Em função de custos, do espaço disponível e da progressiva redução das dimensões dos ESE, está em expansão o uso de células GTEM para ensaios de emissão radiada. Em 2007 o INMETRO realizou a primeira acreditação de um laboratório que realiza ensaios de CEM com células GTEM (na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC).

Ainda não existe um procedimento CISPR que defina o modo de avaliar células GTEM como local de teste. As normas aplicáveis para este fim são a IEC 61000-4-20 (2007) e a ANSI C63-4 (2001). Ambas determinam que as validações devam ser realizadas para cada grupo de itens de ensaio de características similares. Assim, cada validação torna-se específica para o ensaio a ser realizado e para itens de ensaio com as mesmas características gerais, como, por exemplo, aparelhos celulares em uma família, e computadores pessoais em outra.

2.10 CONFIGURAÇÃO DE TESTE PARA ENSAIOS EM EMISSÃO RADIADA

2.10.1 EM OATS, CA E CSA

Nos ensaios de emissão radiada em OATS, CA e CSA, o ESE deve ser posicionado em uma mesa ou no chão, conforme ilustrado nas FIGs. 2.8 e 2.9, respectivamente. O ESE deve estar afastado 3 ou 10 m da antena receptora, conforme a capacidade do ambiente.

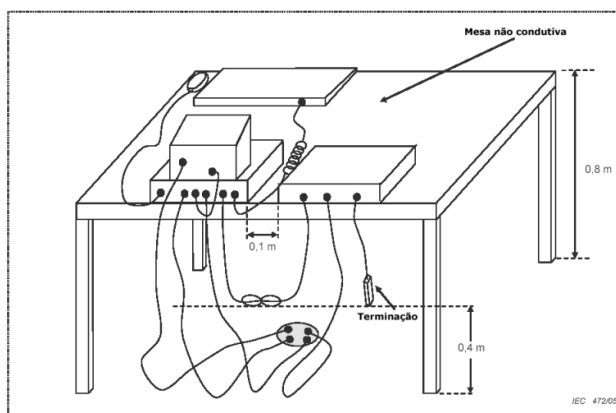


FIG. 2.8. Montagem do arranjo de ensaio sobre uma mesa.

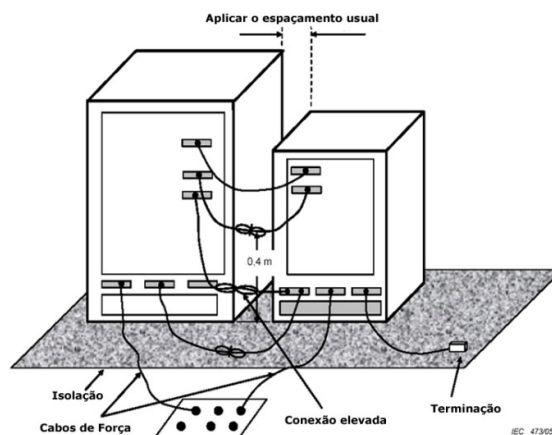


FIG. 2.9. Montagem do arranjo de ensaio sobre o chão.

O arranjo montado deve permitir que o ESE seja girado em até 360°, bem como que a altura da antena seja variada de 1 a 4 m. Com isso, o campo elétrico gerado pelo ESE pode ser medido em diferentes condições, de forma a se

identificar pontos que extrapolem os limites estabelecidos. Quando o ensaio aponta medições que ultrapassam aqueles limites, o item é reprovado no ensaio.

2.10.2 EM CÉLULA GTEM

Em células GTEM, o ESE é posicionado em um ponto pré-definido, como ilustrado na FIG. 2.10, e são realizados três conjuntos de medições, um para cada eixo, representados esquematicamente na FIG. 2.11. O resultado final é obtido por meio de cálculos realizados por um algoritmo, com base nos três conjuntos de medições. O resultado é comparado aos limites estabelecidos para OATS, seguindo o mesmo critério de reprovação que o anterior.

Os principais pontos críticos para a realização de ensaios em células GTEM são as dimensões do ESE e a posição de cabos e acessórios. Para a validação de uma célula GTEM é recomendado que seja realizada uma comparação de resultados entre pelo menos duas OATS, para que seja obtido um valor de referência, e depois os resultados de pelo menos uma destas OATS com os da GTEM (IEC 61000-4-20, 2007).

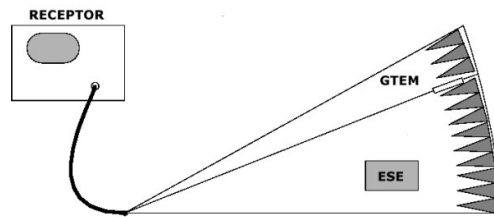


FIG. 2.10. Diagrama esquemático de uma célula GTEM.

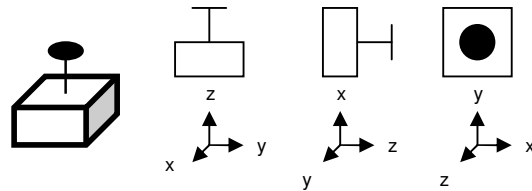


FIG. 2.11. Posicionamentos típicos do item de ensaio.

3. PLANEJAMENTO DO PROGRAMA DE ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA EM EMISSÃO RADIADA

Com o aumento do número das creditações na área eletroeletrônica a partir de 2000, houve maior integração entre as partes interessadas, resultando na criação da Comissão Técnica de Eletroeletrônica pelo INMETRO (CT-08). Esta comissão, através das subcomissões de EMC e de telecomunicações, iniciou as atividades de comparação interlaboratorial entre todos os laboratórios acreditados no Brasil, atividade inédita na área eletroeletrônica. Em EMC, ensaios de emissão conduzida em fontes chaveadas foram reportados por Guimarães et al. (2007a, 2007b). Paralelamente, alguns trabalhos acadêmicos em nível de pós-graduação foram realizados envolvendo comparações com um número limitado de laboratórios, como o ensaio de perda de inserção em filtros conduzido pela Escola Politécnica da USP (SOLETTO, 2003), e o de ensaios de EMC realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina (NYLAND, 2007).

O autor, na função de coordenador da subcomissão de EMC do CT-08, foi o coordenador da rodada de comparação baseada nos ensaios de emissão conduzida. Aproveitando esta experiência, atuou também como coordenador na comparação reportada neste trabalho. Ambas as rodadas tiveram caráter exploratório.

A opção pela realização de trabalhos exploratórios se dá em função da escassez de referências nacionais e na falta de experiência com a condução dos processos e de conhecimento de fatores como o comportamento matemático do ESE e as estatísticas aplicáveis em função do pequeno número de laboratórios acreditados.

Para a condução desta comparação, foram definidos: o tipo de ensaio de proficiência a ser conduzido; o escopo dos ensaios abordados; os itens de ensaio e o mensurando a ser avaliado; a forma de obtenção do ESE; a logística adotada; o pessoal envolvido; a documentação; e o projeto estatístico. Tais características são descritas a seguir.

3.1 SELEÇÃO DO TIPO DE ENSAIO DE PROFICIÊNCIA

Por eliminação, face não ser aplicável a realização de ensaios de proficiência nas demais modalidades listadas no capítulo anterior, o programa de ensaios exploratórios de proficiência deste trabalho foi baseado no método de comparação de medições. Nesta modalidade, o ESE é enviado a diversos laboratórios, que realizam o ensaio acordado e enviam o relatório para o coordenador. Este coordenador codifica os laboratórios, promove a avaliação dos resultados e emite um relatório com a avaliação final os resultados.

3.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DOS ENSAIOS

O programa contemplou ensaios de medições em CEM, mais especificamente em emissões radiadas. A norma base para a definição das características dos ensaios foi a CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005), conforme mencionado anteriormente. Embora os limites da norma sejam definidos para até 6 GHz, o programa limitou os ensaios a 1 GHz, em face da inexistência de laboratórios acreditados no Brasil para a faixa acima deste valor.

Cumprir acrescentar que, sendo um trabalho exploratório, não foram promovidas interferências nas metodologias de ensaio adotadas por cada laboratório. Esta estratégia foi acertada de comum acordo entre os participantes. A única imposição foi o atendimento à norma de referência.

3.3 DEFINIÇÃO DO ITEM DE ENSAIO E DO MENSURANDO

O objetivo de ensaios em emissão radiada é determinar se as emissões estão dentro dos limites normativos. Para os ensaios de proficiência, por sua vez, o objetivo é determinar a capacidade do laboratório em perceber a emissão e quantificá-la corretamente. Assim, o ESE deve ser repetitivo e estável em suas emissões, de forma que os resultados possam ser tratados estatisticamente. Um dispositivo de TI, por exemplo, pode apresentar emissões significativas, porém não existem garantias de que o nível do sinal e a frequência de aplicação ofereçam repetitividade suficiente para que se identifique seu padrão estatístico. Preferencialmente, o ESE deve ser um dispositivo que gere sinais específicos, com frequências e níveis de emissão bem definidos (GUIMARÃES ET AL., 2007a; OSABE ET AL., 2007).

3.3.1 AQUISIÇÃO DO ESE

Inicialmente, havia três possibilidades para a obtenção de um equipamento adequado para os ensaios: aquisição, empréstimo ou desenvolvimento.

Comercialmente existem dois tipos de produto para a verificação dos sistemas de medição de emissão radiada: um que gera e/ou amplifica o ruído de fundo; e outro que gera uma resposta espectral do tipo “pente” (*comb*). Tecnicamente, estes equipamentos apresentam alguns inconvenientes.

A FIG. 3.1 mostra o campo típico de uma fonte comercial geradora de ruído. Como observado, esta fonte apresenta uma distribuição espectral quase contínua, dificultando a identificação de pontos significativos. Este problema é relevante quando se considera que em alguns laboratórios o sistema de medição é automático, ou seja, faz varreduras e calcula pontos que o próprio sistema define como máximos (ou relevantes), independentemente do usuário.

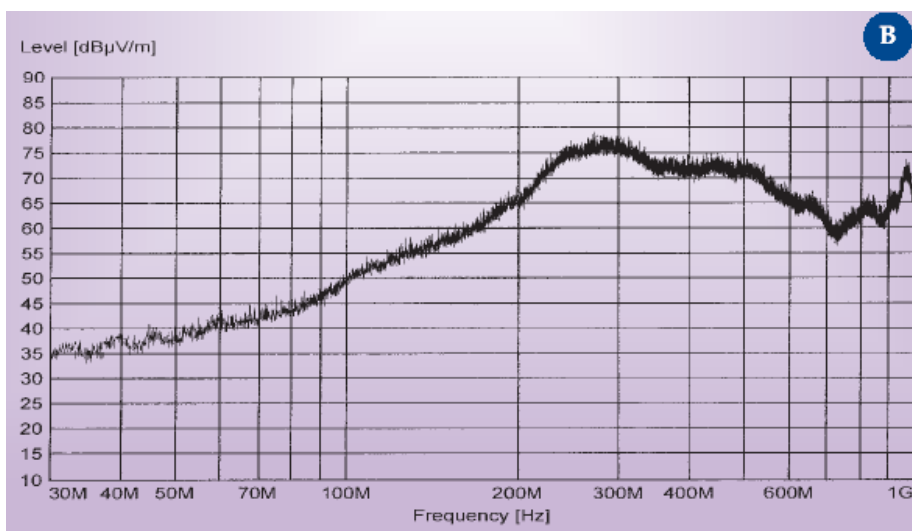


FIG. 3.1. Fonte geradora de ruído CNE III (YORK, 2008).

No gerador de resposta tipo “pente”, com espectro típico ilustrado na FIG. 3.2, a amplitude é bem determinada, mas o afastamento das frequências é eqüidistante, permitindo a identificação de desvios, o que pode ser usado para mascarar eventuais erros de medidas.

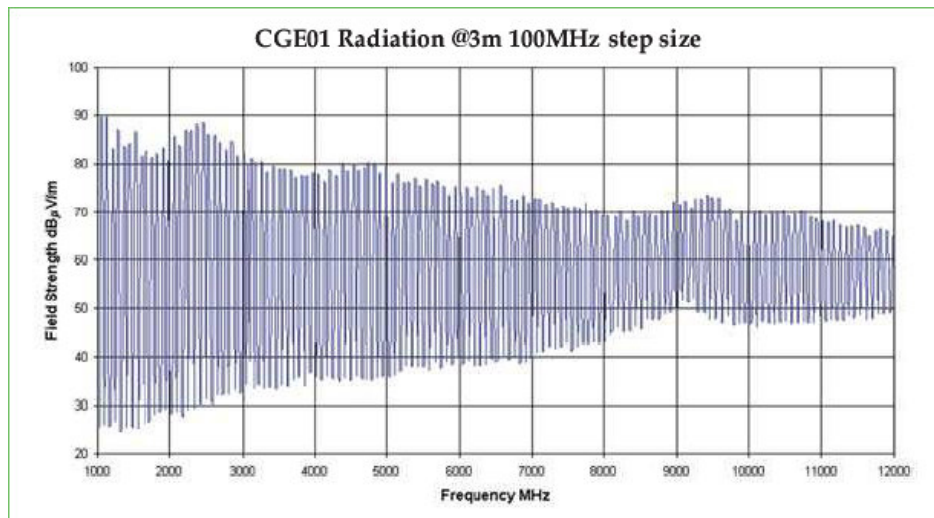


FIG. 3.2. Fonte geradora de padrão tipo “pente” CGE01 (YORK, 2008).

Para a aquisição foi solicitada a cotação de equipamentos congêneres em dois fabricantes. Entretanto, o custo do equipamento, as despesas de importação e o tempo associado para a sua obtenção tornaram inviável a opção de compra, que foi então descartada.

3.3.2 EMPRÉSTIMO DO ESE

Entre os laboratórios participantes, três possuíam fontes geradoras. A principal dificuldade foi a forma de garantir a integridade do dispositivo, ou a sua recuperação em caso de dano. Os custos de transporte mais a contratação de seguro mostraram-se elevados. Ainda assim, a opção por empréstimo foi efetivada através do Centro Tecnológico do Exército – CTEEx. A fonte emprestada foi uma CNE III, da York (YORK, 2008). Para garantir a integridade do dispositivo, a solução encontrada foi o transporte como bagagem de mão, realizado pelo coordenador, que utilizou esta oportunidade para também acompanhar os ensaios. O princípio de funcionamento da referida fonte, contudo, se baseia na amplificação do ruído, que produz as limitações indicadas no item anterior.

3.3.3 DESENVOLVIMENTO DO ESE

Além da fonte CNE III emprestada, um gerador de RF foi desenvolvido neste trabalho para a realização do ensaio de proficiência. O projeto baseou-se no princípio de que o ESE ideal deve emitir tons em amplitudes superiores aos

limites normativos em pontos cobrindo toda a faixa de 30 MHz a 1 GHz da norma CISPR 22. Mais ainda, as frequências dos tons devem ser preferencialmente descorrelacionadas entre si, diferentemente do observado nas fontes tipo “pente” comerciais (referidas no item 3.4.1), para evitar que uma regra possa ser criada para identificação dos espúrios.

O projeto para a realização do ESE foi desenvolvido pelo autor com base nas seguintes especificações: um gerador de impulsos, com características de amplitude e frequência não identificáveis facilmente, capaz de produzir um campo de aproximadamente 30 dB μ V/m a 3 m de distância, atendendo a toda a faixa de 30 MHz a 1 GHz. O campo e as frequências foram definidos em função da CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005) e a distância em função do tamanho limite das câmaras semi-aneecóicas disponíveis.

O projeto conceitual do circuito desenvolvido foi: associar osciladores, misturando seus sinais até cobrir toda a faixa requerida pela norma, utilizando-se componentes facilmente disponíveis no mercado e de custo reduzido. As FIGs. 3.3 a 3.5 ilustram o dispositivo desenvolvido, cujos detalhes de projeto estão registrados no Anexo 7.2.



FIG. 3.3. Visão geral do dispositivo projetado.

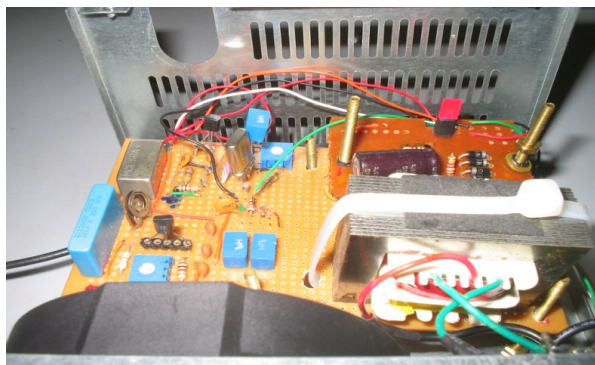


FIG. 3.4. Visão interna do dispositivo projetado.



FIG. 3.5. Detalhe de montagem do dispositivo projetado.

3.4 DEFINIÇÃO DOS PARTICIPANTES

Foram convidados para participar do programa de comparação interlaboratorial todos os laboratórios acreditados ou em fase de acreditação pelo INMETRO e também o laboratório do Centro Tecnológico do Exército, pelo seu vínculo ao IME.

Participaram da rodada os laboratórios de CEM das seguintes organizações:

- CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia
- CPqD – Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
- CTEEx – Centro Tecnológico do Exército
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPE – Instituto de Pesquisas Eldorado
- NMI – NMI Brasil
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

3.5 DEFINIÇÃO DA LOGÍSTICA

Dada a decisão de deslocar os ESE com um acompanhante, o cronograma para a realização dos ensaios para a comparação foi condicionado à disponibilidade do acompanhante e de recursos para cobrir as despesas de custeio correspondentes. Foi determinado apenas que os ensaios deveriam ocorrer dentro do ano de 2007, o que efetivamente aconteceu.

3.6 DEFINIÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO

Foi acordado com os participantes que a realização dos ensaios e a emissão do relatório final deveriam seguir os padrões de cada laboratório. Esta metodologia teve por objetivo evitar interferências do coordenador nos resultados dos laboratórios, que poderiam mascarar a real proficiência de cada um. Também ficou acertado que a validação dos métodos e dos locais de ensaio, a calibração dos instrumentos e a qualificação do pessoal seriam de responsabilidade de cada laboratório.

Os relatórios emitidos pelos laboratórios foram controlados pelo coordenador do ensaio de proficiência, não sendo permitida a distribuição de cópias sem autorização do emitente.

Os resultados podem ser tornados públicos, desde que a identidade do laboratório seja preservada pela associação aleatória a um número, e que esta informação seja de conhecimento um número mínimo de pessoas envolvidas na coordenação do programa e do próprio laboratório (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

Tendo em vista o caráter acadêmico do trabalho, o coordenador teve autorização de todos os participantes para uso dos resultados para a geração de documentos, desde que com a devida proteção da identidade dos laboratórios.

3.7 PROJETO ESTATÍSTICO

O projeto estatístico definido para este trabalho consistiu no atendimento os seguintes tópicos:

3.7.1 DEFINIÇÃO DO VALOR DE REFERÊNCIA

Todas as metodologias para a avaliação de desempenho dos laboratórios estão baseadas na comparação do resultado com o VVC, sendo então necessário que seja estabelecido o VVC e, em alguns casos, a incerteza de referência. Todos os laboratórios acreditados são capazes de emitir resultados válidos, mas, devido às diferentes incertezas de medição de cada laboratório, não é possível definir qual dos resultados pode ser utilizado como padrão. Foi estabelecido pelo autor, em consenso com os laboratórios, que para a análise não robusta o VVC é a média das medidas sem os valores dispersos (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999), e para análise robusta o VVC é calculado de acordo com a metodologia descrita no Anexo 7.1, conforme estabelecido pela ISO 13528 (2005).

3.7.2 DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE REFERÊNCIA (U_{REF})

Para o cálculo da incerteza de referência existem quatro alternativas, conforme apresentado a seguir:

- A média das incertezas reportadas, estabelecida como incerteza de referência por consenso entre o coordenador e os laboratórios participantes, não apresentando fundamentação teórica;
- As incertezas combinadas (raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas de cada laboratório), alternativa igualmente estabelecida por consenso, realizada nos moldes da combinação de componentes das incertezas (NIT-DICLA-021, 2007), embora também careça de fundamento técnico que suporte o critério;
- O valor normativo da CISPR 16-4-1 (2005) de 5,2 dB, estabelecido com base empírica;
- A incerteza calculada pela metodologia robusta (ISO 13528, 2005), obtida a partir do tratamento estatístico dos valores das medições apresentados, não considerando as componentes de incerteza do laboratório nem dos itens envolvidos com os ensaios (NIT-DICLA-021, 2007).

As duas últimas técnicas foram utilizadas neste trabalho para a avaliação não robusta e robusta, respectivamente.

3.7.3 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO (U_{LAB})

O cálculo da incerteza do valor apresentado por cada laboratório é de responsabilidade dos próprios laboratórios, não cabendo análises ao coordenador. Contudo, como auxílio aos gerentes de laboratórios para análise crítica dos valores apresentados, algumas considerações podem ser feitas.

A CISPR 16-4-1 (2005) estabelece para a incerteza de medição para os ensaios de emissão radiada o valor de 5,2 dB. Se a incerteza do laboratório é menor ou igual a este valor, o laboratório é considerado conforme se todas as suas medidas estiverem dentro do limite normativo. Caso alguma medida extrapole o limite, o laboratório é definido como não conforme. Se a incerteza do laboratório é maior que a da CISPR, o laboratório é considerado conforme se todas as medidas, acrescidas do módulo da diferença das incertezas, da CISPR e do laboratório, estiverem dentro do limite normativo. Caso alguma medida extrapole o limite, o laboratório é definido como não conforme.

Ainda, segundo a CISPR 16-4-1 (2005), os componentes do cálculo da incerteza a serem considerados são:

- A resolução do receptor
- A atenuação da conexão da antena com o receptor
- O Fator de Antena
- A precisão do receptor da tensão senoidal
- A resposta em amplitude pelo receptor de pulso
- A variação da resposta pelo receptor de pulso em função da repetição da frequência
- O ruído de fundo do receptor
- Os efeitos do descasamento entre a porta da antena e o receptor
- A frequência de interpolação do Fator de Antena
- A variação do Fator de Antena com a altura
- A diretividade da antena
- A fase central da antena
- A resposta da antena à polarização cruzada
- O balanceamento da antena
- O local do ensaio
- A distância entre o ESE e a antena do sistema de medição
- A altura da mesa onde é posicionado o ESE.

Ainda não foram definidas normativamente as componentes da incerteza para as células GTEM.

É importante observar que as normas não estabelecem limite inferior para a estimativa da incerteza, porém a lógica permite identificar como suspeitos os valores muito reduzidos.

3.7.4 CONFIABILIDADE DO VALOR DE REFERÊNCIA

A comprovação da homogeneidade do ESE para a presente aplicação não é necessária, dado que a grandeza a ser medida, o campo elétrico, não perde suas características. A comprovação da estabilidade, contudo, deve ser considerada.

Dado o alto custo financeiro e o tempo que seria despendido para a realização de um número razoável de medidas, conforme necessário para uso das técnicas estatísticas ou para a avaliação de variações, o autor decidiu utilizar os mesmos ensaios promovidos pelos laboratórios para a verificação da estabilidade do ESE.

Sendo o estudo exploratório e considerando que o projeto do ESE foi baseado em circuitos convencionais, de conhecida estabilidade, a comprovação da estabilidade foi feita *a posteriori*, através da verificação da dispersão dos resultados do ESE após o seu retorno de cada laboratório e ao final da rodada de ensaios.

3.7.5 ANÁLISE DE RESULTADOS EXTREMOS (*OUTLIERS*)

Para minimizar a influência negativa de valores dispersos na análise dos resultados, foram definidas duas metodologias. A primeira abordagem assumiu um método de eliminação de *outliers*. Mais especificamente, adotou-se o método de Grubbs (1950), descrito resumidamente no Anexo 7.1, para identificar e retirar valores dispersos do conjunto de dados considerado.

A outra forma de tratamento de resultados extremos foi a aplicação da metodologia robusta recomendada pela ISO 13528 (2005), também descrita no Anexo 7.1, para resultados de ensaios por comparação de medições com valor designado por consenso dos participantes. Neste método os *outliers* não são retirados. Sua influência no conjunto de dados é ajustada por um algoritmo de estimação de média e desvio-padrão.

3.7.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS LABORATÓRIOS

A metodologia para a avaliação do desempenho dos laboratórios foi definida com base nas recomendações abordadas no Capítulo 2 deste trabalho, contidas no Guia 43-1 (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999) e na ISO 13528 (2005). Os indicadores estatísticos calculados para permitir a análise quantitativa dos ensaios foram:

- Diferença percentual
- Índice z (z -score)
- Números E_N (erro normalizado)

Os três indicadores citados são calculados para cada uma das duas formas de tratamento de *outliers* previamente descritas (robusta e não robusta).

4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA

4.1 HISTÓRICO

As medições foram realizadas nas localidades dos laboratórios, conforme as suas agendas, na seguinte seqüência: Campinas, Porto Alegre, Florianópolis, São José dos Campos, Campinas e Rio de Janeiro. Os ensaios foram acompanhados pelo coordenador, sem interferência, com atividade limitada ao esclarecimento de dúvidas eventuais.

4.2 CODIFICAÇÃO DOS LABORATÓRIOS

Dada a necessidade da preservação da identidade dos laboratórios, os resultados apresentados foram associados a números de um a sete, correspondendo cada número a um laboratório. A correlação dos laboratórios com os resultados é conhecida apenas pelo autor deste trabalho, dada a sua função de coordenador do ensaio de proficiência.

4.3 CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Em todos os laboratórios existe um sistema de gestão implementado com base na ABNT NBR ISO/IEC 17025 (2005) e avaliado pelo INMETRO, à exceção do CTE^x¹⁴. Assim, os ambientes de ensaio foram considerados adequados para o fim proposto.

Dois laboratórios dispõem de câmaras anecóicas de 10 m. Um dos laboratórios realizou os ensaios à distância de 3 m. Os valores apresentados pelo laboratório que realizou o ensaio a 10 m foram acrescidos de 10,5 dB, conforme estabelecido na CISPR 22 (IEC CISPR 22, 2005), para a equiparação aos resultados dos laboratórios que realizaram seus ensaios à distância de 3 m. Embora tenha sido estabelecido na CISPR 22, o fator de correção pode ser questionado. Estudos comparativos dos resultados da medição dos campos a 3 m e a 10 m não comprovaram a correlação de 10,5 dB (GARN ET AL., 1993). As incertezas de medição reportadas pelos laboratórios não foram alteradas.

¹⁴ O CTE^x foi pré qualificado pelo seu relacionamento com o IME, tendo sido aceito posteriormente em função de seus resultados se situarem próximos aos dos demais laboratórios.

Quatro dos sete laboratórios utilizaram câmaras que somente permitem ensaios à distância de 3 m. Dois laboratórios utilizaram a mesma câmara semi-aneecóica. Um dos laboratórios não dispõe de mesa giratória no interior da câmara. Este laboratório realiza manualmente dentro da câmara a pesquisa de pontos significativos e, posteriormente, realiza as medições em mesa giratória localizada fora da câmara semi-aneecóica. Um laboratório realiza os ensaios em uma célula GTEM, correlacionando os resultados aos obtidos em OATS (a 10 m). Como estabelecido pela CISPR 22, as medidas foram corrigidas pelo fator de 10,5 dB.

A FIG. 4.1 apresenta em detalhes os componentes da câmara semi-aneecóica de um dos laboratórios participantes: (a) mesa giratória, (b) antena e haste, visões do arranjo de ensaio (c) do ESE para a antena e (d) vice versa, e (e) visão dos absorvedores (“cones” e ferrites) das paredes. A figura 4.2 apresenta um arranjo para o uso da célula GTEM, conforme apresentado no site do fabricante na *web* (SCHAFFNER, 2008). O arranjo para posicionamento do ESE em OATS ou câmaras anecóicas é apresentado na FIG. 2.7.

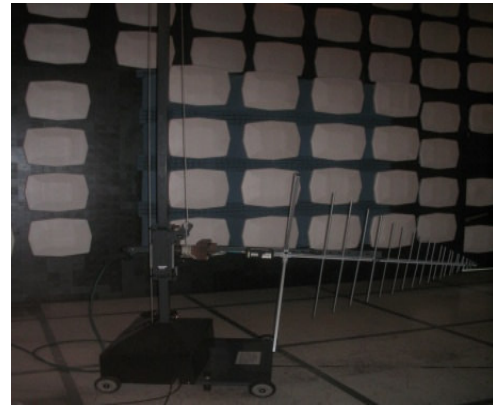
4.4 RESULTADOS DE MEDIÇÃO DOS ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA

4.4.1 RESULTADOS DO DISPOSITIVO COMERCIAL - CNE III

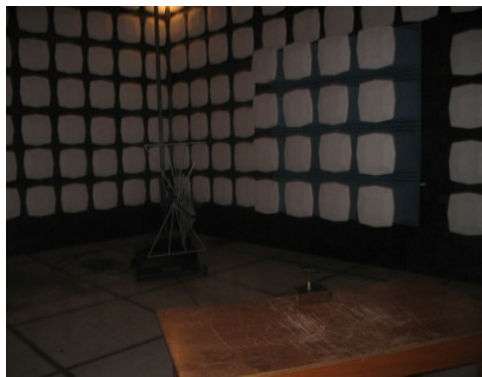
A fonte CNE III, conforme reportado no item 3.4.1, apresenta sinal contínuo, sem pontos em destaque como, por exemplo, pulsos ou impulsos que possam ser avaliados independentemente. A utilização deste dispositivo com o estabelecimento prévio das frequências para a medição é possível. Contudo, tal artifício é prejudicado pela diversidade dos sistemas de medição dos laboratórios. Nos sistemas automatizados, por exemplo, a seleção dos pontos de medição é realizada por *software*, automaticamente, de forma que nem sempre é possível realizar medições nos pontos solicitados. A FIG. 4.3 apresenta o resultado das medidas obtidas por um dos laboratórios.



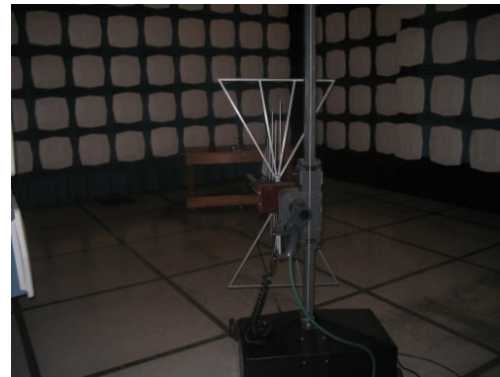
(a)



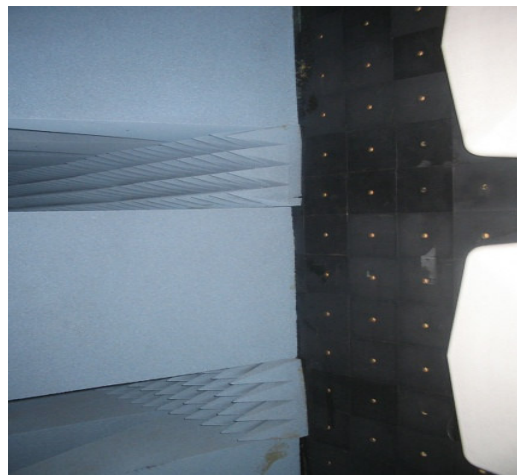
(b)



(c)



(d)



(e)

FIG. 4.1. Visões do ambiente de ensaio.

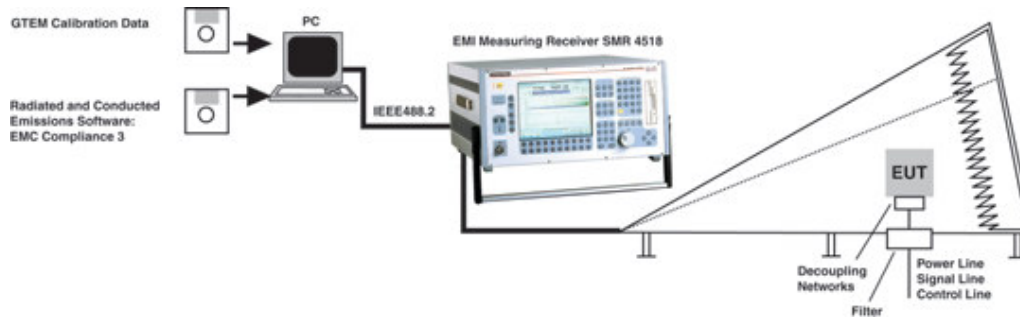


FIG. 4.2. Arranjo de ensaio GTEM (SCHAFFNER, 2008).

Foram realizadas medições com a fonte CNE III nos primeiros laboratórios participantes desta comparação interlaboratorial. Os resultados se mostraram inconsistentes, suscitando dúvidas quanto à sua exatidão, justamente por não ser possível estabelecer uma correlação entre o campo medido e uma dada frequência, ou faixa de frequências. Para a utilização dos resultados referentes ao CNE III seriam necessárias diversas concessões, que o autor julgou desnecessárias em um trabalho exploratório, acrescido do fato de haver outro gerador com características mais favoráveis. Assim, o uso do gerador de ruído CNE III não foi levado adiante para a comparação das medições.

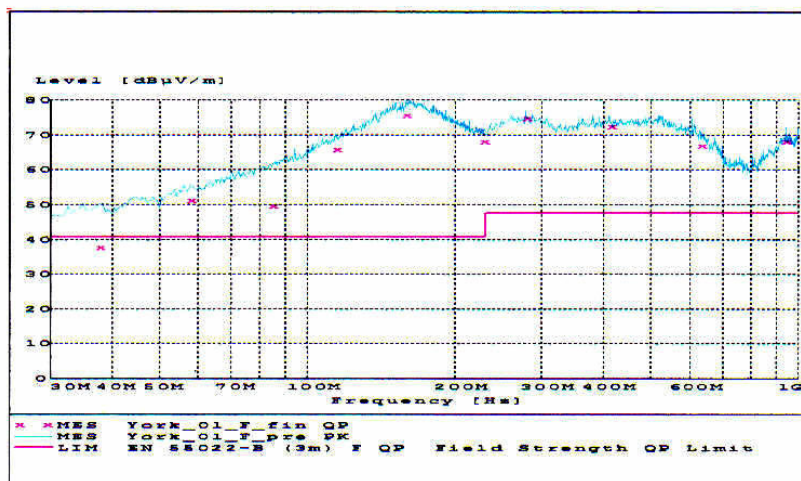


FIG. 4.3. Emissões do CNE III registradas por um dos laboratórios.

Cumprido destacar, entretanto, que o uso do dispositivo é válido para a monitoração do desempenho de um único laboratório, ou de laboratórios que disponham de recursos similares. Para o uso em sistemas distintos, é recomendável um estudo prévio para a seleção das frequências onde serão realizadas as medições e o estudo da sua vizinhança, similarmente ao apresentado no item 4.4.2.1 para a segunda fonte utilizada.

4.4.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DA FONTE DESENVOLVIDA

Os resultados produzidos por todos os laboratórios participantes são apresentados nas TABs 4.1 e 4.2. Em negrito estão os resultados nas frequências reportadas por todos os laboratórios, em itálico os reportados por mais da metade, e sombreados os resultados reportados por menos da metade dos laboratórios.

Conforme pode ser observado nas TABs 4.1 e 4.2, a quantidade de resultados reportados difere de laboratório para laboratório. Além disso, na análise dos gráficos apresentados nos relatórios fornecidos por cada laboratório, como o da FIG. 4.4, é possível identificar diversos outros valores significativos, não assinalados nas TAB.s fornecidas. Isto se deve a causas diversas, como a seleção automática de medidas, via *software*, ou ao critério aplicado pelo elaborador de cada relatório. Com isto, nem sempre os valores reportados estão referenciados à mesma frequência. A justificativa para esta prática é que os ensaios de emissão radiada, segundo a CISPR 22, têm como objetivo avaliar se um ESE gera um campo elétrico em nível superior ao limite estabelecido ou não. Assim, basta que alguns valores ultrapassem os limites para que o ESE seja reprovado. Desta forma, os laboratórios usualmente reportam alguns dos valores que reprovam o ESE, apenas para justificar a reprovação.

Em relação aos resultados das TABs 4.1 e 4.2, dado que na célula GTEM os resultados são reportados sem associação com polarizações, neste ensaio o coordenador decidiu, para todos os demais laboratórios, considerar o pior caso, independentemente da polarização da antena.

TAB. 4.1. Resultados reportados pelos laboratórios 1 a 4.

Laboratório 1 PV/H			Laboratório 2 PV/H			Laboratório 3 PV/H			Laboratório 4 PV/H		
f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)
81,80	54,50	2,00	82,56	72,30	4,24	82,56	58,00	4,90	82,56	51,00	4,48
82,50	45,53	2,00									
						112,74	46,30	4,90	111,98	42,80	4,48
152,50	64,13	2,00									
163,50	44,40	2,00	165,06	62,40	4,24	165,06	69,30	4,90	165,20	70,10	4,48
164,90	57,30	2,00									
165,00	62,13	2,00									
			194,70	55,40	4,24	195,24	54,60	4,90	194,77	54,90	4,48
			194,76	51,60	4,24						
			217,80	44,40	4,24	217,62	40,50	4,90	218,84	43,40	4,48
						225,12	34,00	4,90			
245,10	57,73	2,00	247,68	64,80	4,24	244,86	55,80	4,90	248,03	70,00	4,48
245,20	53,10	2,00				247,68	69,00	4,90			
247,40	70,00	2,00									
247,50	65,73	2,00									
						277,68	54,40	4,90	277,45	60,00	4,48
									280,38	55,80	4,48
329,80	48,67	2,00	330,06	54,60	4,24	330,06	57,30	4,90	330,56	50,50	4,48
356,20	55,67	2,00	360,00	74,40	4,24	360,00	70,30	4,90	359,55	75,30	4,48
356,50	73,57	2,00				360,18	81,50	4,90	364,63	70,80	4,48
358,90	61,60	2,00									
359,10	71,67	2,00									
412,30	46,27	2,00							413,64	53,80	4,48
523,80	50,47	2,00									
577,40	50,30	2,00	577,74	62,90	4,24	577,62	64,90	4,90	578,99	66,80	4,48
						577,68	63,50	4,90			
717,70	65,57	2,00	719,76	74,20	4,24	720,36	74,80	4,90	719,44	75,70	4,48
718,00	56,17	2,00				720,78	60,70	4,90			

TAB. 4.2. Resultados reportados pelos laboratórios 5 a 7.

Laboratório 5 PV/H			Laboratório 6 PV/H			Laboratório 7 PV/H		
f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)
82,45	59,80	2,90	82,48	59,80	5,2	82,50	56,500	1,39
82,50	62,40	2,90						
112,60	35,20	3,00				111,96	40,800	1,39
165,00	65,80	3,00	165,00	59,078	5,2	163,62	49,400	1,39
165,00	60,60	2,90	165,04	60,95	5,2			
			165,04	61,00				
217,30	41,70	2,90						
247,50	71,20	1,40	247,40	72,90	5,2	245,10	42,600	1,39
			247,52	66,375	5,2	247,56	63,100	1,39
			247,60	66,306	5,2			
			247,64	60,60	5,2			
277,60	60,10	2,80	276,44	53,60	5,2			
277,88	52,80	2,80						
329,80	48,30	2,80						
329,90	50,10	2,80						
360,10	75,50	2,80	358,88	75,00	5,2	359,76	66,900	1,39
360,30	76,80	2,80	358,96	72,389	5,2			
			359,00	69,065	5,2			
			359,16	55,189	5,2			
			359,32	58,034	5,2			
			359,36	60,70	5,2			
			359,76	54,975	5,2			
382,00	44,50	2,80						
412,40	43,80	2,80						
412,40	48,70	2,80						
						524,88	44,200	1,39
577,20	55,00	2,80						
720,00	59,50	2,90	717,64	71,969	5,2	719,58	64,800	1,39
720,80	66,20	2,80	717,76	60,80	5,2			
			717,80	72,911	5,2			
			717,84	72,088	5,2			
			718,12	47,675	5,2			
742,00	40,60	2,80						

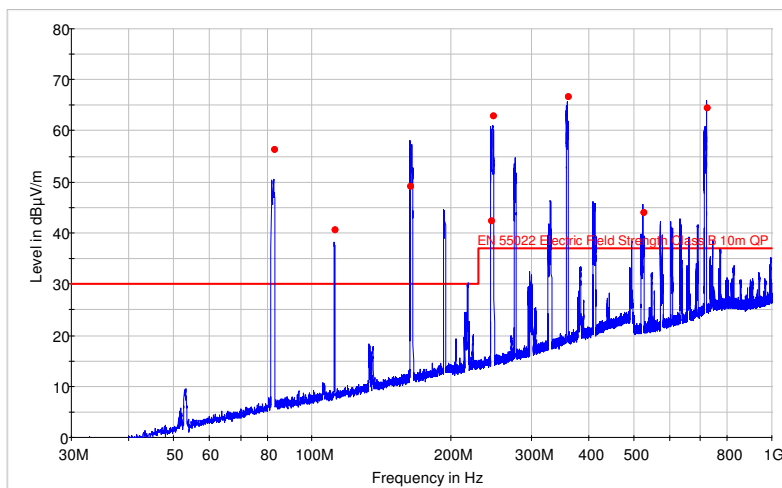


FIG. 4.4. Emissões do ESE reportadas por um dos participantes.

4.4.2.1 Critério de seleção de medidas

Para estabelecer um resultado geral confiável, foram considerados apenas os valores relativos às freqüências em que todos os laboratórios identificaram campos em níveis significativos. Entretanto, deve-se destacar que, de laboratório para laboratório, os resultados apresentaram pequenas variações nos valores das freqüências em que foram detectados os picos de emissão. Com isso, para não acrescentar mais um grau de dificuldade ao programa, de caráter exploratório, na escolha dos picos de emissão considerou-se uma *faixa* de freqüências ao invés de freqüências exatas e isoladas. Cada faixa observada é chamada neste trabalho de “Classe f MHz”, onde f é um valor inteiro de freqüência representativo da faixa (não necessariamente da freqüência central desta faixa). A largura da faixa não é igual para todas as classes, tendo sido definida neste trabalho como o intervalo de freqüências que cobre todos os valores acima de 20 dB μ V/m na região em torno de um valor reportado. Obviamente, a largura de faixa variava de pico para pico em um mesmo ensaio, e também entre resultados de diferentes laboratórios. O valor típico observado ficou em um intervalo em torno de 2 MHz.

Para exemplificar o procedimento adotado, a TAB. 4.3 apresenta os valores de pico para a Classe 82 MHz, medidos por um dos participantes. Nela podem ser observados dois pontos significativos, em torno de 82 MHz, correspondentes às

duas regiões de campo máximo, observadas na FIG. 4.5: um em torno de 81,85 MHz e outro em torno de 82,5 MHz.

TAB. 4.3. Emissões em torno de 82 MHz reportadas por um dos laboratórios.

f (MHz)	E (dB μ V/m)	f (MHz)	E (dB μ V/m)
81,42	14,90	82,32	45,70
81,48	24,10	82,38	46,10
81,54	28,90	82,44	47,50
81,60	37,00	82,50	50,60
81,66	46,40	82,56	50,30
81,72	46,80	82,62	49,80
81,78	50,20	82,68	48,00
81,84	49,50	82,74	47,00
81,90	50,40	82,80	47,50
81,96	46,60	82,86	48,00
82,02	46,70	82,92	46,70
82,08	46,00	82,98	41,80
82,14	45,90	83,04	29,60
82,20	45,70	83,10	18,90
82,26	45,50		

Analogamente, outros laboratórios reportaram um ou mais valores significativos numa mesma faixa de freqüências. Em cada uma das faixas o critério adotado foi considerar o valor máximo reportado pelo laboratório para a faixa. A TAB. 4.4 contém os valores de quase-pico relatados pelos participantes para a Classe 82 MHz. Os laboratórios 1 e 5 apresentaram mais de um valor para a mesma classe. Para a análise de desempenho dos ensaios, apenas os máximos foram selecionados, sendo os descartados “tachados” para identificação. Cumpre destacar que em ambos os casos do exemplo em questão, a diferença entre os valores considerados e descartados de cada laboratório foi menor que a incerteza expandida adotada como referência.

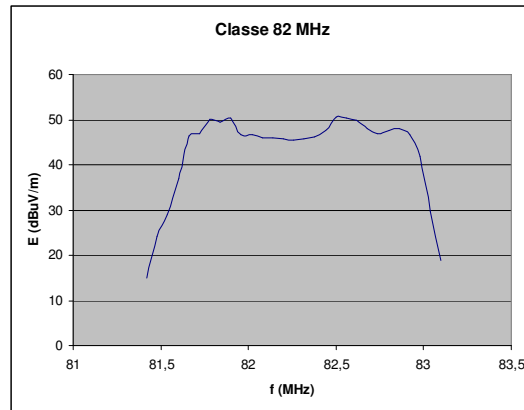


FIG. 4.5. Valores de quase-pico ao redor de 82 MHz.

TAB. 4.4. Resultados reportados pelos laboratórios para a Classe 82 MHz.

Laboratório	f (MHz)	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)
1	81,80	54,50	2,00
	82,50	45,53	2,00
2	82,56	72,30	4,24
3	82,56	58,00	4,90
4	82,56	51,00	4,48
5	82,45	59,80	2,90
	82,50	62,40	2,90
6	82,48	59,80	5,20
7	82,50	67,00	1,39

A mesma lógica exemplificada acima para a Classe 82 MHz permitiu identificar mais quatro classes no conjunto de resultados fornecidos pelos laboratórios: 165, 246, 359 e 717 MHz. Os resultados dos campos em todas as classes de todos os laboratórios são apresentados na FIG. 4.6.

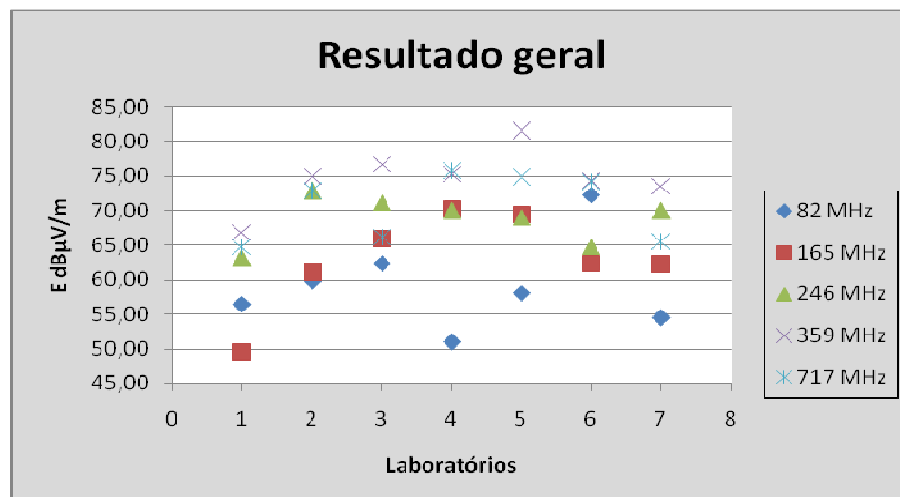


FIG. 4.6. Resultado geral do campo elétrico para todas as classes selecionadas.

4.4.2.2 Determinação do Valor Verdadeiro Convencional (VVC)

Foram calculados dois valores de referência para cada uma das classes: um pela metodologia robusta, e outro pela metodologia não-robusta. Foram adotados os mesmos processos de cálculo para todas as classes.

Na análise não-robusta, conforme descrita no Capítulo 3, após a exclusão dos *outliers* segundo um dos métodos apresentados no Anexo 7.1, o VVC é determinado pela média aritmética das medidas não descartadas. No presente trabalho, utilizou-se o método de Grubbs (GRUBBS, 1950) para este fim. A incerteza expandida do VVC, adotada com base na CISPR 16-4-1 (2005), foi de 5,2 dB.

No método robusto, o VVC e a incerteza de medição associada são determinados sem a exclusão dos valores dispersos, os quais são ajustados através de um processo iterativo até convergirem (ISO 13528, 2005). O VVC é então calculado como a média dos valores ajustados. A incerteza é calculada através da fórmula recomendada pela ISO 13528 (2005). Ambos os procedimentos de cálculo são apresentadas no Anexo 7.1.

Vale ressaltar que os métodos utilizados neste trabalho não são únicos dentro de suas categorias, de métodos robustos e não robustos. Eles são referidos como método robusto ou método não robusto¹⁵ por absoluta simplicidade. Neste

¹⁵ Os métodos estatísticos não robustos são também referenciados como métodos clássicos.

trabalho, sempre que houver referência ao termo robusto significa que foi aplicada a metodologia contida na ISO 13528 (2005).

4.4.2.3 Critério para a Avaliação do desempenho dos laboratórios

A análise de desempenho foi feita conforme o projeto estatístico definido com os participantes, cujas características foram destacadas no Capítulo 3, consideradas as recomendações apresentadas no capítulo anterior.

Os indicadores estatísticos, calculados com base nos valores de referência robustos e não robustos, utilizados para a avaliação dos resultados foram:

- Diferença percentual
- Índice z (*z-score*)
- Números E_N (erro normalizado)

4.4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A FONTE DESENVOLVIDA

4.4.3.1 Classe 82 MHz

A FIG. 4.7 apresenta graficamente as medidas, com suas incertezas, reportadas pelos laboratórios para a classe 82 MHz. A FIG. 4.8 apresenta os resultados de diferença percentual do campo elétrico, do *z-score* e do erro normalizado para o método não robusto. O resultado da avaliação não-robusta das medidas fornecidas pelos laboratórios para a classe 82 MHz é apresentado na TAB. 4.5.

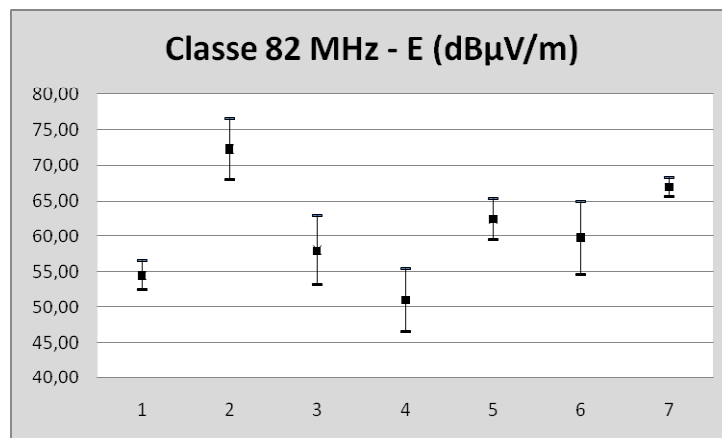
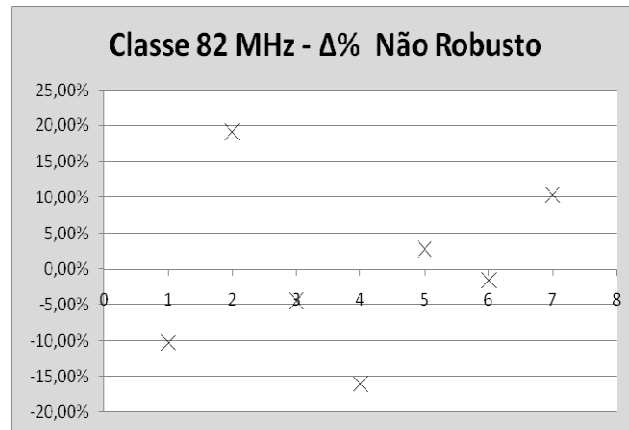
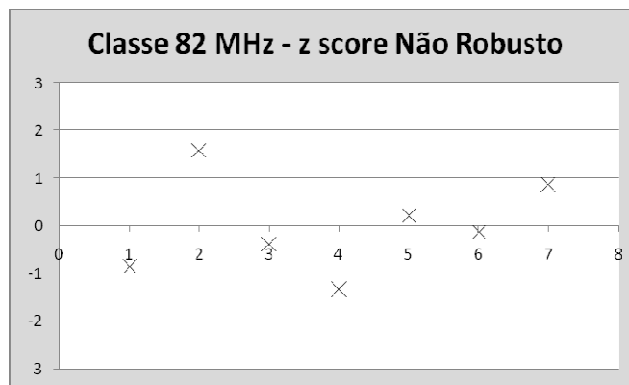


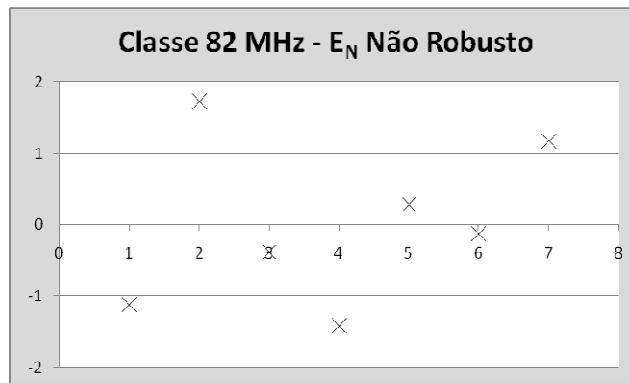
FIG. 4.7. Classe 82 MHz – Medidas e incertezas.



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.8. Classe 82 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.

A análise de Grubbs (GRUBBS, 1950) aplicada ao conjunto de dados em questão não levou à exclusão de nenhum resultado¹⁶. Assim, o VVC foi calculado com todos os valores considerados para a classe.

TAB. 4.5. Classe 82 MHz – Análise não robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	54,50	2,00	-10,23%	-0,85	-1,11
2	72,30	4,24	19,09%	1,59	1,73
3	58,00	4,90	-4,46%	-0,37	-0,38
4	51,00	4,48	-15,99%	-1,33	-1,41
5	62,40	2,90	2,78%	0,23	0,28
6	59,80	5,20	-1,50%	-0,13	-0,12
7	67,00	1,39	10,36%	0,86	1,17
Média	60,71				
Desvio Padrão	7,28				
Incerteza U_{ref}	5,2				

Conforme a TAB. 4.5 e a FIG. 4.8(b), todos os índices z foram menores que 2 desvios padrão além do VVC, ou seja, a análise por este indicador aponta que todos os resultados foram aceitáveis. A análise do erro normalizado, apresentada na TAB. 4.5 e visualizada na FIG. 4.8(c) indicou a necessidade de tratamento para os laboratórios 1, 2, 4 e 7. Por esta análise, são requeridas ações corretivas nestes laboratórios, dado que os resultados apresentados foram considerados insatisfatórios¹⁷ (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

A aparente incoerência entre as indicações do z -score e do erro normalizado pode ser explicada. As medidas apresentadas pelos laboratórios 2 e 4, embora dentro dos limites aceitáveis, apresentam significativo afastamento em relação ao valor de referência, em especial o laboratório 2, com mais de um desvio padrão e meio de afastamento da média, tendendo para o limite de alerta. A análise pelo erro normalizado reforça a tendência apresentada pelo z -score e indica a

¹⁶ A análise pelo método de Grubbs não indicou valor suspeito para nenhuma das classes, tanto para probabilidade de abrangência de 1% ou como para 5%. O teste foi realizado considerando apenas um valor suspeito por vez.

¹⁷ Os valores considerados insatisfatórios por qualquer critério na TAB. 4.5 e nas TAB.s seguintes são destacados em negrito para melhor visualização.

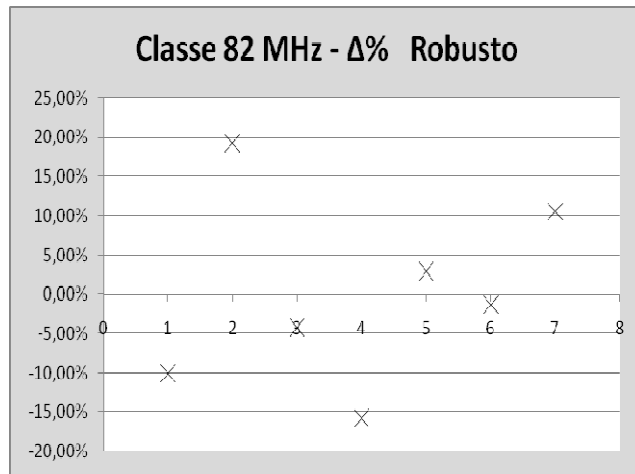
necessidade de atenção aos resultados dos laboratórios 2 e 4, mantendo inclusive a proporcionalidade, ao colocar o laboratório 2 como mais crítico. Em adendo, o erro normalizado indica os resultados dos laboratórios 1 e 7 como insatisfatórios. Não por coincidência, são os dois que apresentam uma incerteza muito baixa, inconsistente com o valor de referência e os valores dos demais laboratórios, introduzindo um viés para a análise, dado que a redução na incerteza implica aumento no erro normalizado (SOLETTO, 2003).

Ao outro indicador apresentado, o erro percentual, não foi associado um critério quantitativo de aceitação. A ISO 13528 (2005) sugere o uso da probabilidade de abrangência combinada com a análise dos desvios-padrão para a avaliação do erro percentual. Este critério é equivalente ao da análise por *z-score*, não representando um indicador independente. Uma análise comparativa do erro percentual ao *z-score* evidencia a correlação dos índices. Assim, o erro percentual é apresentado e sua aplicação fica a critério do leitor deste trabalho.

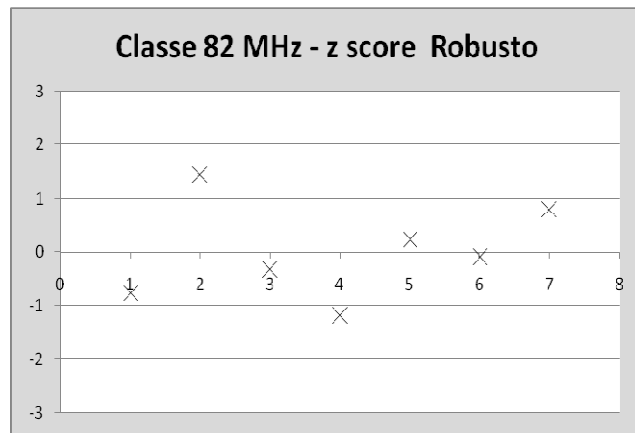
A TAB. 4.6 apresenta o resultado da aplicação do algoritmo de correção de valores críticos pelo método robusto, para a classe 82 MHz. É possível observar que apenas o resultado do laboratório 2 requereu correção pelo algoritmo, mas bastaram 3 iterações para demonstrar a convergência do valor. Os valores corrigidos são utilizados apenas para o cálculo da média e do desvio padrão sob a metodologia robusta. A análise pelo método robusto é apresentada na FIG. 4.9 e na TAB. 4.7.

TAB. 4.6. Classe 82 MHz – Resultados das interações na análise robusta.

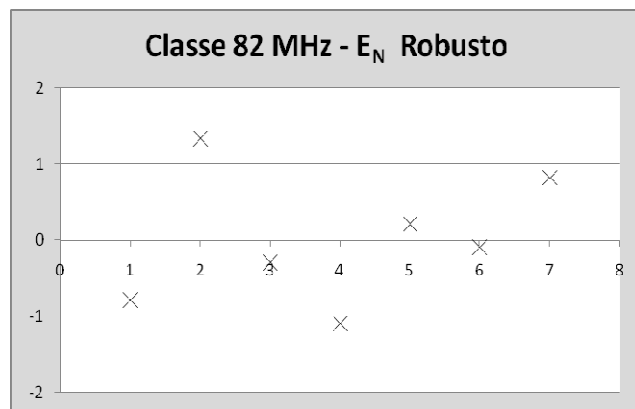
Laboratório	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
1	54,5000	54,5000	54,5000
2	72,3000	71,5898	71,5898
3	58,0000	58,0000	58,0000
4	51,0000	51,0000	51,0000
5	62,4000	62,4000	62,4000
6	59,8000	59,8000	59,8000
7	67,0000	67,0000	67,0000



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.9. Classe 82 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score e (c) erro normalizado.

A análise *z-score* da FIG. 4.9(b) indica que todas as medidas se encontram dentro da margem aceitável de dois desvios padrão do VVC. Quantitativamente esta afirmação é, obviamente, corroborada pela TAB. 4.7.

TAB. 4.7. Classe 82 MHz – Análise robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	54,50	2,00	-10,08%	-0,76	-0,78
2	72,30	4,24	19,28%	1,45	1,34
3	58,00	4,90	-4,31%	-0,32	-0,29
4	51,00	4,48	-15,86%	-1,20	-1,09
5	62,40	2,90	2,95%	0,22	0,22
6	59,80	5,20	-1,34%	-0,10	-0,09
7	67,00	1,39	10,54%	0,79	0,83
Média	60,61				
Desvio Padrão	8,04				
Incerteza U_{ref}	7,60				

Na análise considerando a incerteza de medição, destacam-se laboratórios 2 e 4, apresentando um erro normalizado acima dos valores aceitáveis. Ao contrário da metodologia não robusta, este método de avaliação aparentemente não foi afetado pelas variações na incerteza de medição. É possível observar que, o cálculo pelo método robusto reduziu significativamente o erro normalizado associado ao laboratório 4, tornando seu valor quase satisfatório. Os laboratórios 1 e 7 não aparecem com problemas na análise robusta.

4.4.3.2 Classe 165 MHz

A FIG. 4.10 apresenta graficamente as medidas, com suas incertezas, reportadas pelos laboratórios para a classe 165 MHz. Segundo a análise não robusta, tanto pelo z-score como pelo erro normalizado, todos os resultados para a classe 165 MHz foram considerados satisfatórios, conforme mostra a TAB. 4.8 e a FIG. 4.11.

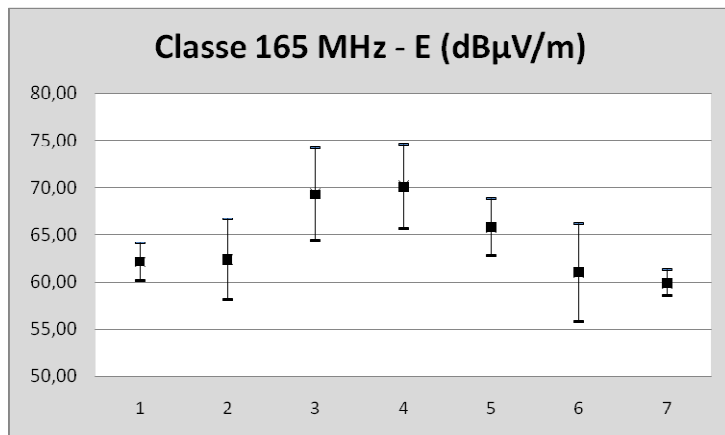
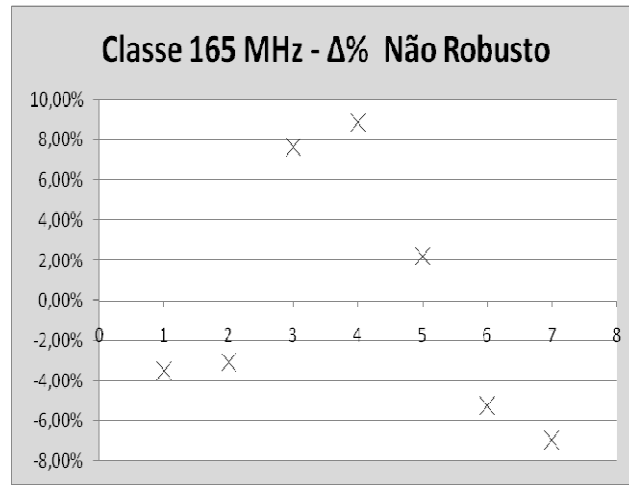


FIG. 4.10. Classe 165 MHz – Medidas e incertezas.

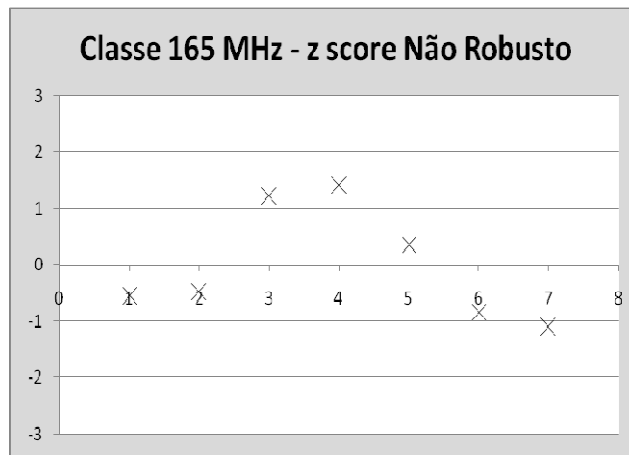
TAB. 4.8. Classe 165 MHz – Análise não robusta.

Laboratório	E (dBµV/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	62,13	2,0	-3,49%	-0,55	-0,40
2	62,40	4,24	-3,08%	-0,49	-0,30
3	69,30	4,9	7,64%	1,21	0,69
4	70,10	4,48	8,88%	1,41	0,83
5	65,80	3,0	2,21%	0,35	0,24
6	61,00	5,2	-5,25%	-0,83	-0,46
7	59,90	1,39	-6,96%	-1,10	-0,83

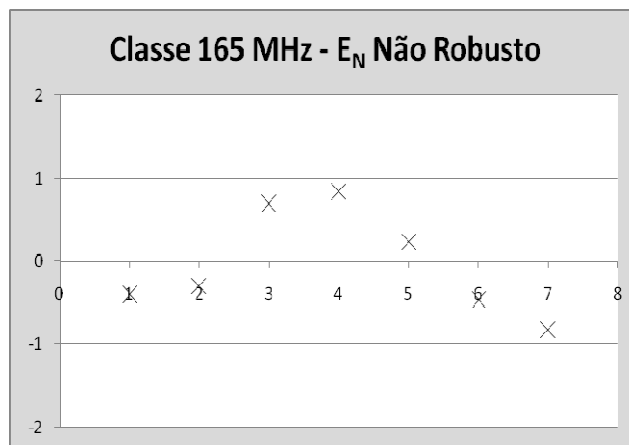
Média	64,38				
Desvio Padrão	4,07				
Incerteza U_{ref}	5,2 dB				



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.11. Classe 165 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.

Pela análise robusta, no método *z-score*, nenhuma das medidas necessitou correção. No erro normalizado apenas o laboratório 4 apresentou valor insatisfatório. A TAB. 4.9 apresenta a convergência do método robusto. A TAB. 4.10 e a FIG. 4.12 apresentam os resultados da análise.

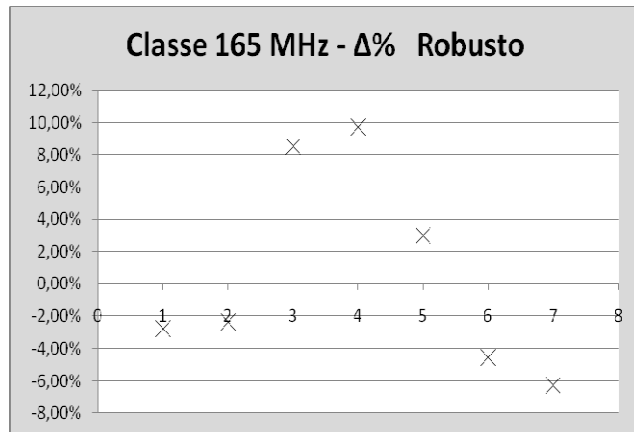
TAB. 4.9. Classe 165 MHz – Resultados das interações na análise robusta.

Laboratório	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
1	62,1300	62,1300	62,1300
2	62,4000	62,4000	62,4000
3	69,3000	67,9613	67,9613
4	70,1000	67,9613	67,9613
5	65,8000	65,8000	65,8000
6	59,8000	59,8000	59,8000
7	59,9000	59,9000	59,9000

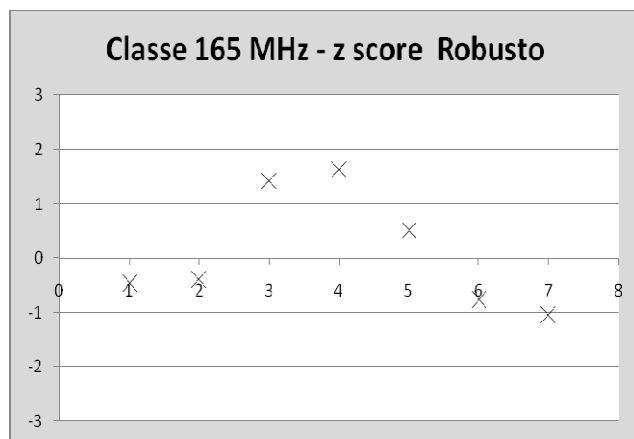
TAB. 4.10. Classe 165 MHz – Análise robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	62,13	2,00	-2,73%	-0,46	-0,43
2	62,40	4,24	-2,31%	-0,39	-0,26
3	69,30	4,90	8,48%	1,44	0,87
4	70,10	4,48	9,73%	1,65	1,05
5	65,80	3,00	3,00%	0,51	0,39
6	61,00	5,20	-4,50%	-0,76	-0,44
7	59,90	1,39	-6,22%	-1,06	-0,97

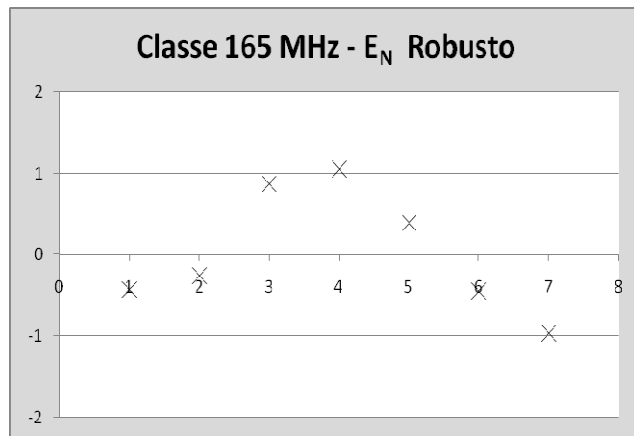
Média	63,8789				
Desvio Padrão	3,7721				
Incerteza U_{ref}	3,5643				



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.12. Classe 165 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score e (c) erro normalizado.

4.4.3.3 Classe 246 MHz

A FIG. 4.13 apresenta graficamente as medidas reportadas pelos laboratórios para a classe 246 MHz. Segundo a análise não robusta, tanto pelo z-score quanto pelo erro normalizado, todos os resultados foram considerados satisfatórios. Pela análise robusta, o método *z-score* indicou que o laboratório 2 requer ação preventiva, enquanto no erro normalizado os laboratórios 2 e 7 apresentaram valores insatisfatórios. A TAB. 4.11 apresenta a análise do método não robusto. A visualização dos resultados é apresentada na FIG. 4.14.

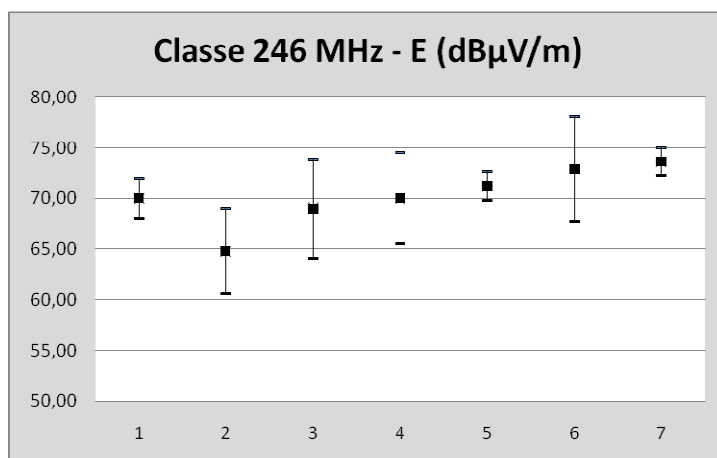
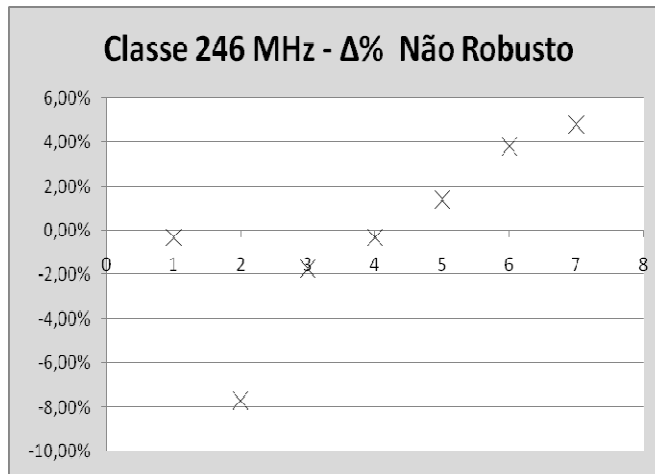


FIG. 4.13. Classe 246 MHz – Medidas e incertezas.

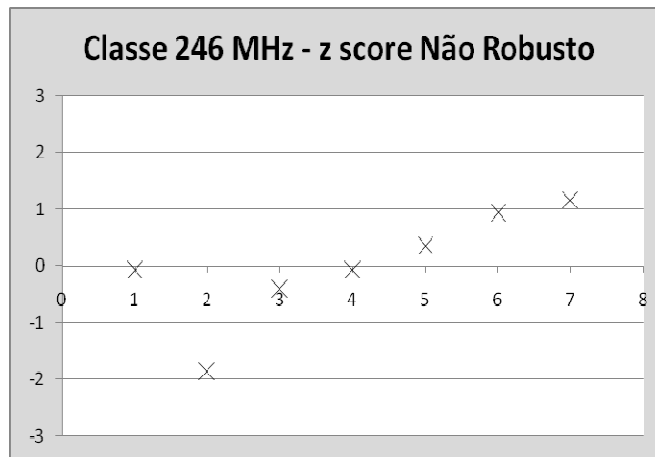
TAB. 4.11. Classe 246 MHz – Análise não robusta.

Laboratório	E (dBµV/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	70,00	2,00	-0,30%	-0,07	-0,04
2	64,80	4,24	-7,71%	-1,87	-0,81
3	69,00	4,90	-1,72%	-0,42	-0,17
4	70,00	4,48	-0,30%	-0,07	-0,03
5	71,20	1,40	1,41%	0,34	0,18
6	72,90	5,20	3,83%	0,93	0,37
7	73,60	1,39	4,83%	1,17	0,63

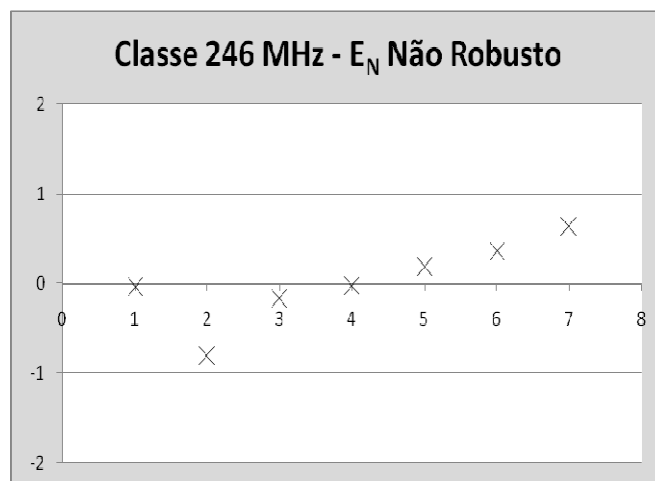
Média	70,21				
Desvio Padrão	2,90				
Incerteza U_{ref}	5,2 dB				



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.14. Classe 246 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.

A convergência dos resultados para o método robusto da classe 246 MHz é apresentada na TAB. 4.12. A TAB. 4.13 apresenta a análise do método, cujos resultados são apresentados na FIG. 4.15.

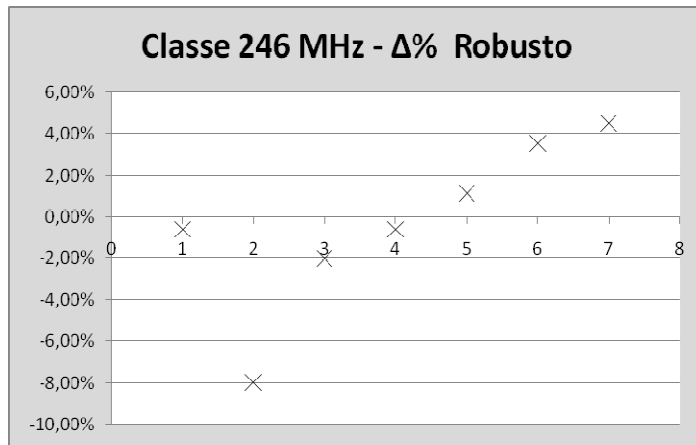
TAB. 4.12. Classe 246 MHz – Resultados das interações na análise robusta.

Laboratório	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
1	70,0000	70,0000	70,0000
2	64,8000	67,3306	67,3306
3	69,0000	69,0000	69,0000
4	70,0000	70,0000	70,0000
5	71,2000	71,2000	71,2000
6	72,9000	72,6694	72,6694
7	73,6000	72,6694	72,6694

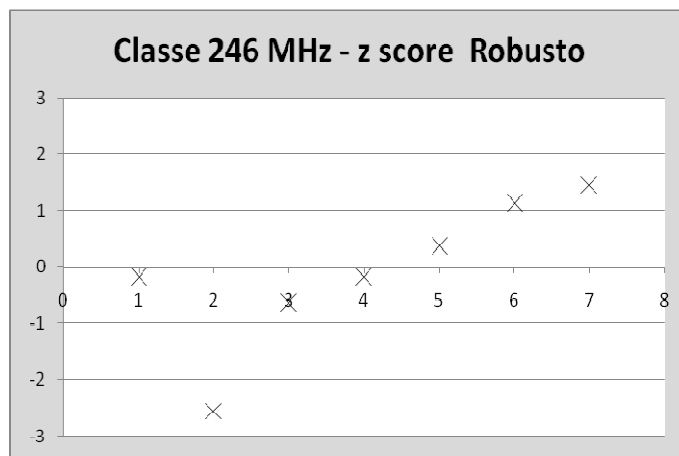
TAB. 4.13. Classe 246 MHz – Análise robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	70,00	2,00	-0,58%	-0,19	-0,14
2	64,80	4,24	-7,97%	-2,55	-1,19
3	69,00	4,90	-2,00%	-0,64	-0,26
4	70,00	4,48	-0,58%	-0,19	-0,08
5	71,20	1,40	1,12%	0,36	0,31
6	72,90	5,20	3,54%	1,13	0,44
7	73,60	1,39	4,53%	1,45	1,27

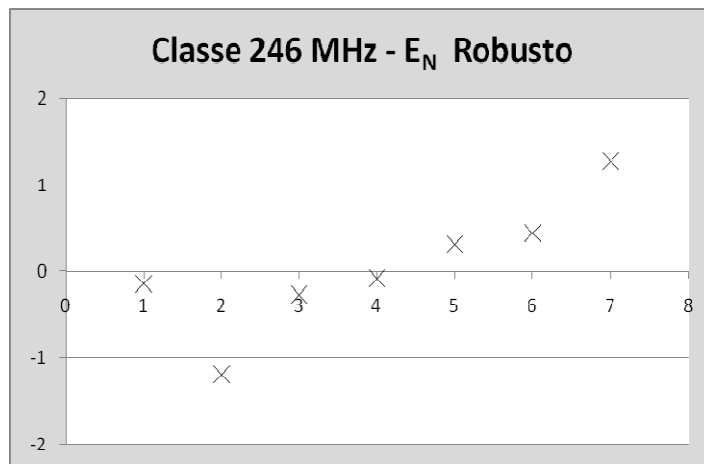
Média	70,41				
Desvio Padrão	2,20				
Incerteza U_{ref}	2,08				



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.15. Classe 246 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.

4.4.3.4 Classe 359 MHz

A FIG. 4.16 apresenta graficamente as medidas, e as incertezas, reportadas pelos laboratórios para a classe 359 MHz. Segundo a análise não robusta, pelo *z-score* todos os laboratórios apresentaram valores dentro dos limites aceitáveis, enquanto a análise pelo erro normalizado indicou como insatisfatório apenas o resultado do laboratório 7. Pela análise robusta, o laboratório 3 apresentou nível para o *z-score* que recomenda a adoção de ações preventivas, e para o laboratório 7 é recomendada a adoção de ações corretivas. O laboratório 7 apresenta também valor insatisfatório para o erro normalizado. A TAB. 4.14 apresenta a análise do método não robusto. A visualização dos resultados é apresentada na FIG. 4.17.

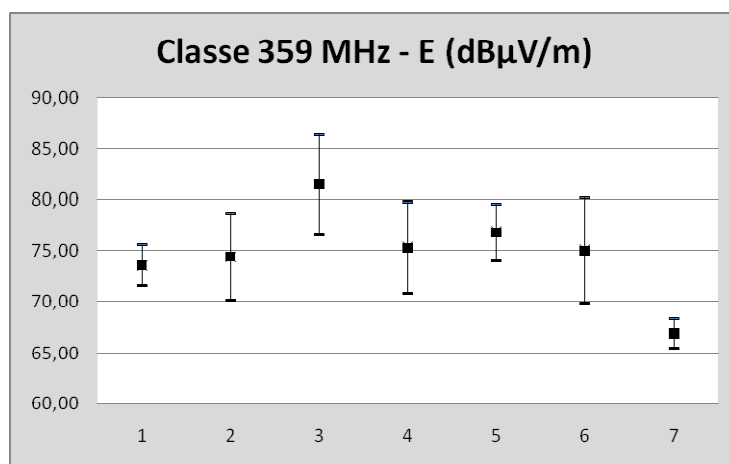
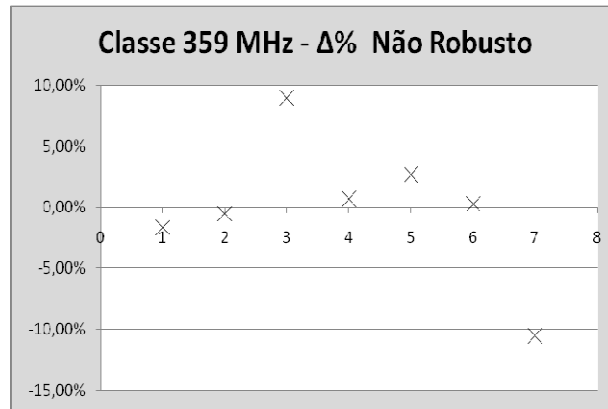


FIG. 4.16. Classe 359 MHz – Medidas e incertezas.

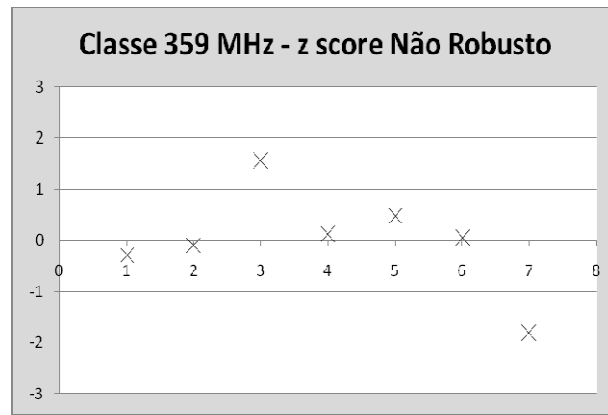
TAB. 4.14. Classe 359 MHz – Análise não robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U _{lab} (dB)	$\Delta\%$	Z	E _N
1	73,57	2	-1,62%	-0,28	-0,22
2	74,40	4,24	-0,51%	-0,09	-0,06
3	81,50	4,9	8,99%	1,55	0,94
4	75,30	4,48	0,70%	0,12	0,08
5	76,80	2,8	2,70%	0,47	0,34
6	75,00	5,2	0,29%	0,05	0,03
7	66,90	1,39	-10,54%	-1,82	-1,46

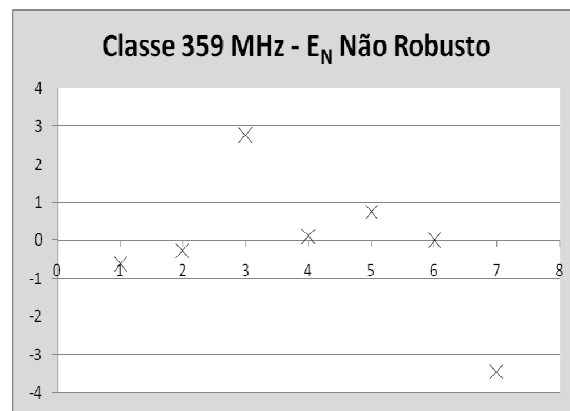
Média	74,78				
Desvio Padrão	4,34				
Incerteza U _{ref}	5,2 dB				



(a)



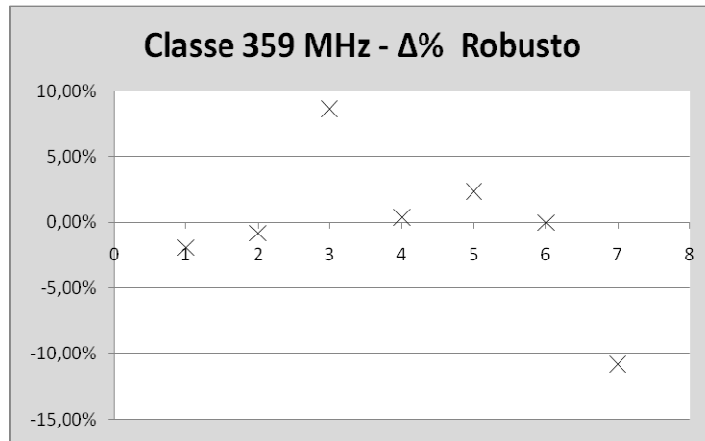
(b)



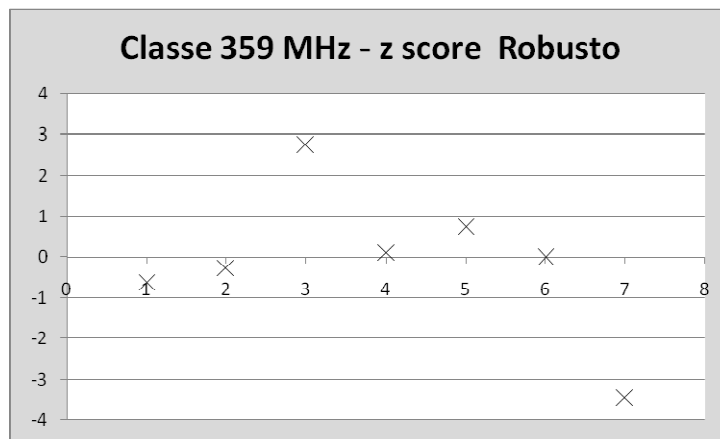
(c)

FIG. 4.17. Classe 359 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) *z-score*, e (c) erro normalizado.

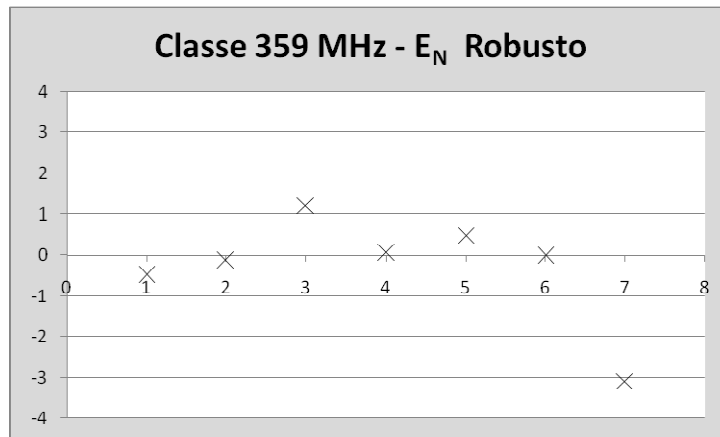
A visualização dos resultados do método robusto é apresenta na FIG. 4.18. A TAB. 4.16 apresenta a análise deste método, com a convergência dos resultados apresentada na TAB. 4.15.



(a)



(b)



(c)

FIG. 4.18. Classe 359 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score e (c) erro normalizado.

TAB. 4.15. Classe 359 MHz – Resultados das interações na análise robusta.

Laboratório	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
1	73,5700	73,5700	73,5700
2	74,4000	74,4000	74,4000
3	81,5000	78,1810	78,1810
4	75,3000	75,3000	75,3000
5	76,8000	76,8000	76,8000
6	75,0000	75,0000	75,0000
7	66,9000	71,8190	71,8190

TAB. 4.16. Classe 359 MHz – Análise robusta.

Laboratório	E (dB μ V/ m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	73,57	2,00	-1,92%	-0,61	-0,48
2	74,40	4,24	-0,81%	-0,26	-0,13
3	81,50	4,90	8,65%	2,75	1,21
4	75,30	4,48	0,39%	0,12	0,06
5	76,80	2,80	2,39%	0,76	0,50
6	75,00	5,20	-0,01%	0,00	0,00
7	66,90	1,39	-10,81%	-3,44	-3,09

Média	75,01				
Desvio Padrão	2,36				
Incerteza U_{ref}	2,23				

4.4.3.5 Classe 717 MHz

A FIG. 4.19 apresenta graficamente as medidas, com as incertezas, reportadas pelos laboratórios para a classe 717 MHz. Na análise não robusta, o z -score não indicou a necessidade de ações preventivas nem corretivas, enquanto o erro normalizado indicou como insatisfatório apenas o resultado do laboratório 7. Pela análise robusta, o z -score não indicou a necessidade de ações preventivas nem corretivas. Os laboratórios 1 e 7 apresentam valores insatisfatórios para o erro normalizado. As TAB.s 4.17 e 4.19 apresentam as

análises dos métodos não robusto e robusto, respectivamente. A visualização destes resultados é apresentada nas FIGs. 4.20 e 4.21, com a convergência dos resultados para o método robusto apresentada na TAB. 4.18.

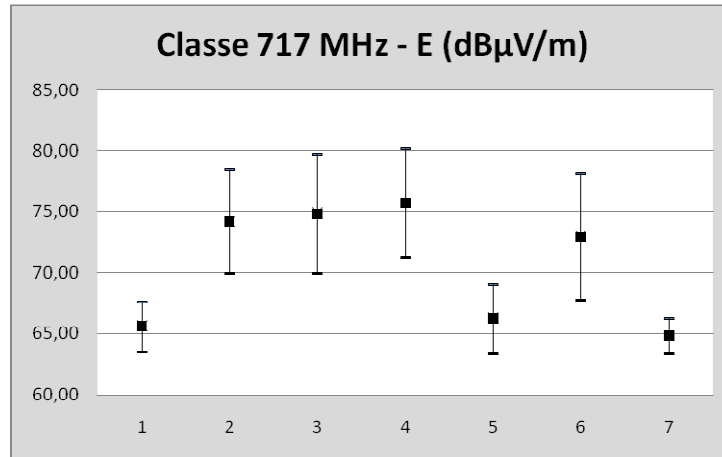
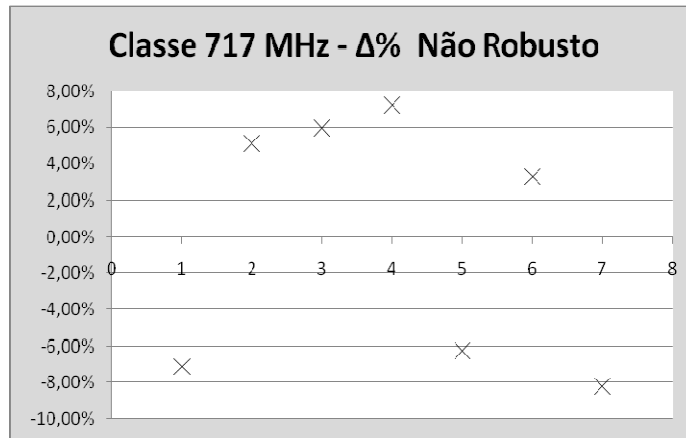


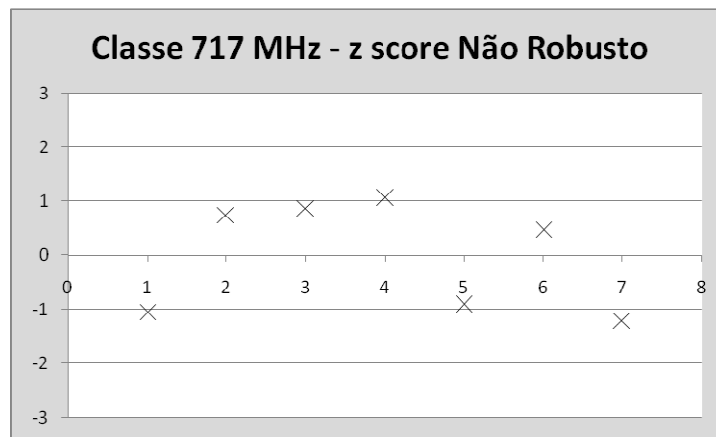
FIG. 4.19. Classe 717 MHz – Medidas e incertezas.

TAB. 4.17. Classe 717 MHz – Análise não robusta.

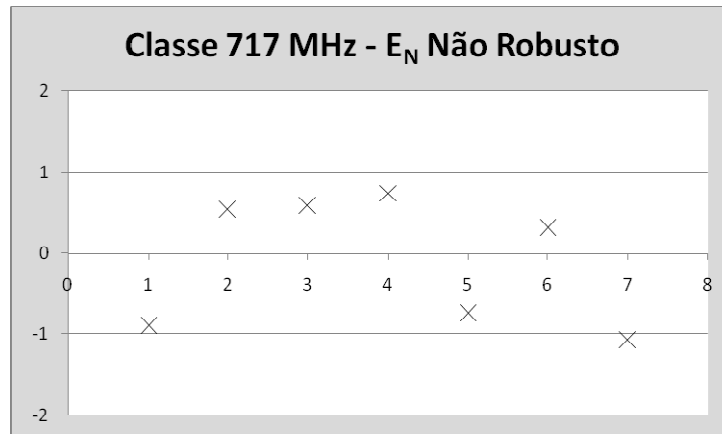
Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	65,57	2,00	-7,12%	-1,04	-0,90
2	74,20	4,24	5,10%	0,75	0,54
3	74,80	4,90	5,95%	0,87	0,59
4	75,70	4,48	7,22%	1,06	0,74
5	66,20	2,80	-6,23%	-0,91	-0,75
6	72,91	5,2	3,27%	0,48	0,31
7	64,80	1,39	-8,22%	-1,20	-1,08
Média	70,60				
Desvio Padrão	4,83				
Incerteza U_{ref}	5,2				



(a)

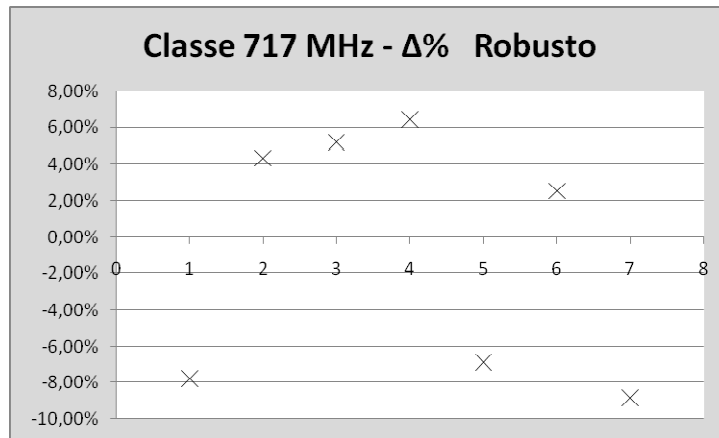


(b)

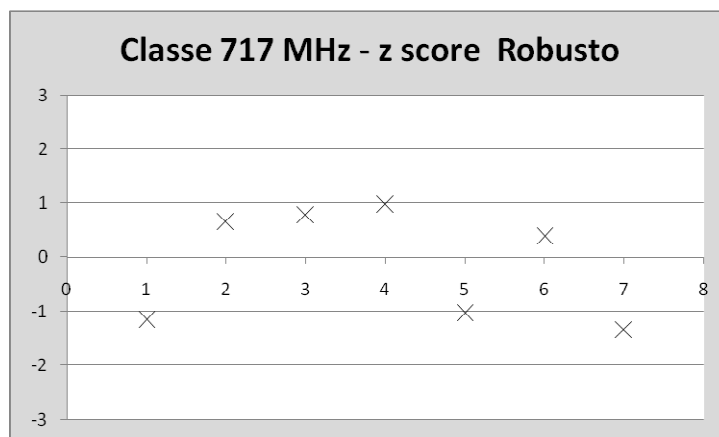


(c)

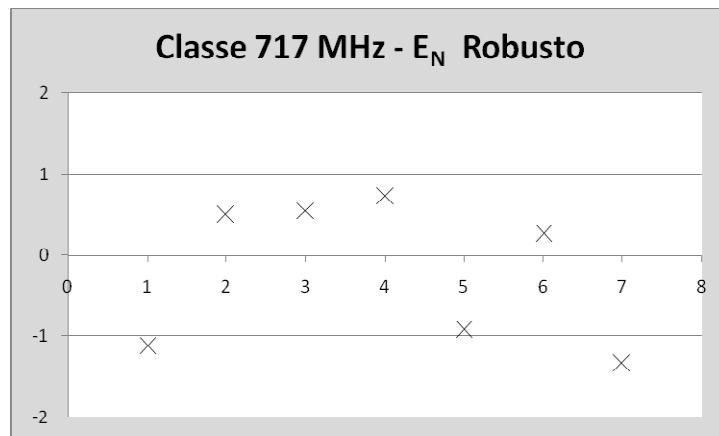
FIG. 4.20. Classe 717 MHz – Análise não robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.



(a)



(a)



(b)

FIG. 4.21. Classe 717 MHz – Análise robusta: (a) diferença percentual, (b) z-score, e (c) erro normalizado.

TAB. 4.18. Classe 717 MHz – Resultados das interações na análise robusta.

Laboratório	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
1	65,5700	66,7036	66,7036
2	74,2000	74,2000	74,2000
3	74,8000	74,8000	74,8000
4	75,7000	75,7000	75,7000
5	66,2000	66,7036	66,7036
6	72,9100	72,9100	72,9100
7	64,8000	66,7036	66,7036

TAB. 4.19. Classe 717 MHz – Análise robusta.

Laboratório	E (dB μ V/m)	U_{lab} (dB)	$\Delta\%$	z	E_N
1	65,57	2,00	-7,78%	-1,16	-1,12
2	74,20	4,24	4,36%	0,65	0,50
3	74,80	4,90	5,20%	0,78	0,56
4	75,70	4,48	6,47%	0,97	0,72
5	66,20	2,80	-6,90%	-1,03	-0,93
6	72,91	5,20	2,54%	0,38	0,26
7	64,80	1,39	-8,86%	-1,32	-1,34
Média	71,10				
Desvio Padrão	4,76				
Incerteza U_{Ref}	4,50				

4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Como reportado anteriormente, a fonte de testes utilizada como padrão de referência apresentava um espectro raiado. Para a análise de desempenho, foram escolhidas cinco faixas de frequências em regiões em que o campo elétrico medido era mais intenso e havia dados de todos os laboratórios: 82, 165, 246, 359 e 717 MHz. A TAB. 4.20 apresenta uma síntese das análises das medidas reportadas. Nela os laboratórios são identificados por seus números e as classes pelos seus valores de referência. Os resultados estão representados para cada uma das avaliações por conjuntos de letras: Z indica a análise por *z-score*; E_N indica o resultado para a análise do erro normalizado. O complemento dado pelo sufixo R é uma indicação de que a abordagem para análise foi baseada na metodologia robusta. A cor amarela na TAB. aponta para um resultado com

indicação de ações preventivas, enquanto que a cor vermelha indica a necessidade de ações corretivas.

TAB. 4.20. Síntese das análises das medidas reportadas pelos laboratórios.

Classe	Laboratório													
	1		2		3		4		5		6		7	
82	Z	E_N	Z	E_N	Z	E _N	Z	E_N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E_N
	Z R	E _N R	Z R	E_N R	Z R	E _N R	Z R	E_N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R
165	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E_N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N
	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R
246	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N
	Z R	E _N R	Z R	E_N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E_N R
359	Z	E _N	Z	E _N	Z	E_N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E_N
	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E_N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E_N R
717	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E _N	Z	E_N
	Z R	E_N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E _N R	Z R	E_N R

Ainda que a aplicação da estatística robusta tenda a reduzir os efeitos de pequenas variações, o erro normalizado, que considera a contribuição da incerteza de medição, foi o método de análise que mais indicou resultados insatisfatórios, notadamente para os laboratórios 1 e 7, justamente os que apresentaram as menores incertezas.

O desempenho geral dos laboratórios foi considerado bom, dado que em nenhum caso as quatro avaliações foram negativas numa mesma classe. Somente os laboratórios 5 e 6 apresentaram todos os resultados satisfatórios, sem recomendações de ações preventivas ou corretivas.

O laboratório 3 apresentou resultado negativo em apenas uma das classes. Os laboratórios 1, 2 e 4 apresentaram resultados negativos em duas classes, com indício de que o resultado insatisfatório não é um problema isolado.

O laboratório 7 apresentou-se como o mais crítico, tendo resultados tidos como insatisfatórios em quase todas as classes, sendo o único com indicação de necessidade de ação corretiva pela análise do z-score

No global, na análise por *z-score*, a maioria dos resultados foi considerada satisfatória. Apenas 2 valores caíram na faixa de ações preventivas ($2 < |z| < 3$), e um único valor na de ações corretivas ($|z| > 3$).

O erro normalizado indicou resultados mais pessimistas, com 16 valores na faixa insatisfatória ($|E_M| > 1$). O cálculo do erro normalizado é afetado diretamente pela variação no valor da incerteza de medição reportado (SOLETTO, 2003). Os valores informados pelos laboratórios das suas estimativas da incerteza de medição variaram de tal forma que sugerem que, a despeito da normalização existente (IEC CISPR 16-4-1, 2005), é necessário promover a harmonização da prática entre os laboratórios. Além das variações nas incertezas reportadas pelos laboratórios, a adoção de um único valor conservativo para a incerteza de referência pode ter influenciado na quantidade de maus desempenhos identificados pelo erro normalizado.

O uso de métodos diversos para a avaliação do desempenho dos laboratórios se mostra útil na medida em que os resultados se complementam, permitindo o estabelecimento de uma correlação. O uso de métodos robustos tende a tornar a avaliação estatisticamente mais consistente, com o aproveitamento, corrigido, de resultados rejeitados ou considerados suspeitos, para o cálculo do VVC e da incerteza de medição.

É necessário também fazer uma recomendação sobre a avaliação dos critérios para a informação dos resultados dos ensaios. A automação dos resultados pode mascarar informações relevantes, haja vista que, se o objetivo da avaliação com detectores de quase-pico é permitir a identificação de transitórios rápidos, conforme o tópico 2.8, a omissão de pontos significativos sem um critério conhecido pode mascarar esta informação

Nas células GTEM as medidas reportadas são o resultado de um algoritmo que calcula o campo a partir da medição realizada em três eixos. Não existe consenso sobre o algoritmo, sendo este, em alguns casos, desenvolvido pelo próprio fabricante da célula, sem base para comparações.

Existe a carência normativa de um critério para a estimativa da incerteza de medição nos ensaios utilizando células GTEM. Neste caso, além das componentes normais, deve ser considerada a incerteza introduzida pelo algoritmo e pela seleção do posicionamento do ESE, dado que, considerada uma

relação frente-costas, existem pelo menos duas possibilidades de se posicionar o ESE em cada um dos eixos medidos.

Durante o acompanhamento dos ensaios, foram identificados pontos de preocupação como:

- Não consideração da estimativa do tipo A, ou seja, devido à repetição do ensaio em questão;
- Falha no conceito de repetição do ensaio para o cálculo da incerteza do tipo A. Laboratórios com testes automatizados muitas vezes se limitam a “apertar botões” no sistema montado, repetindo apenas a leitura do instrumento de medição já conectado, ignorando a contribuição de componentes como a remontagem do *setup*, conexões, etc.; e
- Dependência plena do processo automatizado, sem possibilidade de interferência do operador.

5. CONCLUSÕES

Pela primeira vez no Brasil foi realizada uma comparação interlaboratorial, em nível experimental, envolvendo todos os laboratórios da área de CEM acreditados no país. Foi adotado como base o ensaio de emissão radiada segundo a norma IEC CISPR 22 (2005). Os resultados permitiram a obtenção de parâmetros metrologicamente confiáveis, com utilidade para o meio acadêmico e também para as áreas industriais e governamentais. Além disto, foram identificadas as peculiaridades inerentes aos ensaios de proficiência por comparação interlaboratorial relacionados à compatibilidade eletromagnética. Foi conhecido o estado atual do sistema de medições de emissão radiada e foram obtidas informações que contribuirão para o desenvolvimento de novos programas de comparação interlaboratorial.

Durante o trabalho foram identificadas as práticas e os padrões que permitiram justificar as decisões tomadas. Foram descritos os processos para a aprovação de dispositivos eletroeletrônicos, os papéis das entidades reguladoras e provedoras de normas, os fenômenos associados à compatibilidade eletromagnética, os métodos para a realização de comparações interlaboratoriais e a metodologia para a análise de resultados.

Foi realizada, de acordo com o Guia 43 (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999), uma rodada exploratória de uma comparação interlaboratorial do ensaio de emissão radiada, baseado na norma CISPR 22. Foi utilizado como padrão um gerador de RF, projetado especificamente para ser usado com norma de referência. Além de todos os laboratórios acreditados no Brasil para este ensaio, o laboratório do CTEEx também foi avaliado.

Os laboratórios foram orientados para realizar os ensaios de acordo com seu procedimento usual, sem a interferência do coordenador do ensaio de proficiência, que apenas acompanhou as medições. Os resultados apresentados foram avaliados com base no Guia 43 (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999) e na ISO 13528 (2005).

Como contribuição destaca-se:

- A integração, ao utilizar uma abordagem acadêmica nos ensaios de proficiência, usualmente relacionados à área industrial e a de serviços;

- O pioneirismo, ao envolver todos os laboratórios nacionais em um ensaio de emissão radiada e por associar os resultados a novas tecnologias, como as células GTEM, recentemente incorporadas ao cenário de acreditação nacional;
- O questionamento, ao comparar os resultados através de metodologias diversas, inclusive utilizando metodologia robusta, não usual na área de CEM;
- A obtenção de informações sobre o desempenho dos laboratórios nacionais, identificando diferenças, como instalações, ambiente, arranjo de ensaio e cálculo da incerteza;
- O estabelecimento de correlações, que permitem aos laboratórios determinarem a qualidade dos resultados que fornecem;
- A identificação de requisitos relevantes a serem considerados em futuras comparações, como os resultados dos ensaios, que devem ser relacionados a um limite pré definido de 3 ou 10 m, e a metodologia de cálculo da incerteza de medição dos laboratórios, que deve ser harmonizada; e
- A identificação da carência normativa de um critério para a estimativa da incerteza de medição nos ensaios utilizando células GTEM, onde, além das componentes normais, deve ser considerada a incerteza introduzida pelo algoritmo e pela seleção do posicionamento do ESE, dado que, considerada uma relação frente-costas, existem pelo menos duas possibilidades de se posicionar o ESE em cada um dos eixos medidos.

Como o pressuposto básico deste programa foi preservar a liberdade dos laboratórios, algumas preocupações surgiram com o acompanhamento dos ensaios, conforme descritos a seguir:

- No processo automatizado utilizado por alguns laboratórios com câmaras semi-aneecóicas, o *software* de automação definiu quantos e quais os pontos seriam reportados, apresentando muito menos resultados que os laboratórios não-automatizados, ou mesmo de outros automatizados, onde cabia o questionamento do critério de exclusão de ponto reportado.

- Nas células GTEM as medidas reportadas são o resultado de um algoritmo que calcula o campo a partir da medição realizada em três eixos. Não existe consenso sobre o algoritmo, sendo este, em alguns casos, desenvolvido pelo próprio fabricante da célula, sem base para comparações.
- Os resultados reportados pelos laboratórios demonstraram que, não obstante a existência de documentos normativos (IEC CISPR 16-4-1, 2005), provavelmente os laboratórios não utilizam os mesmos critérios para a estimativa da incerteza de medição. O efeito das discrepâncias entre os valores afeta diretamente a avaliação através do erro normalizado (E_N), quando os laboratórios reprovados apresentam incerteza muito baixa.
- Foram identificados problemas como a não consideração da estimativa do tipo A, ou seja, devido à repetição do ensaio em questão. Outro problema evidenciado neste quesito foi a falha no conceito de repetição do ensaio para o cálculo da incerteza. Laboratórios muitas vezes se limitam a “apertar botões”, repetindo apenas a leitura do instrumento de medição, ignorando a contribuição de componentes como a montagem do *setup*, conexões, etc.

Mesmo sendo um instrumento eficaz para a comparação de resultados, os ensaios de proficiência não são absolutos, não podendo servir como a única referência para a avaliação da competência técnica de um laboratório (ABNT ISO/IEC Guia 43-1, 1999).

Este trabalho foi conduzido utilizando o mínimo de recursos necessários, o que não prejudicou seu objetivo exploratório. Para uma próxima etapa é recomendável que seja construído um ESE com as seguintes características:

- Resposta mais impulsiva, de forma a estreitar a amplitude das classes;
- Alimentação por baterias, para eliminar as incertezas devido aos cabos;
- Inclusão de uma ou mais antenas que cubram toda a faixa do ensaio, como forma de garantir nível de sinal equivalente em toda a faixa
- Consideração da possibilidade de extensão de ensaios até 6 GHz, prevendo as extensões na acreditação dos laboratórios.

São sugestões para futuros trabalhos:

- Execução de novos programas com múltiplas rodadas, incluindo outros ensaios relacionados à CEM e com maior número de participantes, mesmo não acreditados;
- Comparação do efeito dos diversos métodos de análise de valores dispersos;
- Avaliação comparativa das células TEM em relação à OATS e às câmaras anecóicas e semi-anecóicas;
- Análise crítica da aplicação das estimativas de incerteza em CEM;
- Realização de uma pesquisa comparativa dos diversos métodos de avaliação dos resultados visando identificar qual o melhor deles; e
- Comprovação da exatidão da correção de 10,5 dB ao realizar o ensaio em 10 ou 3 m de distância da antena ao ESE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT ISO/IEC Guia 43-1, **Ensaio de Proficiência por Comparações Interlaboratoriais – Parte 1: Desenvolvimento e Operação de Programas de Ensaio de Proficiência**, 17p. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro – Brasil, 1999.
- ABNT ISO/IEC Guia 43-2, **Ensaio de Proficiência por Comparações Interlaboratoriais – Parte 2: Seleção e Uso de Programas de Ensaio de Proficiência por Organismos de Credenciamento de Laboratórios**, 4p. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro – Brasil, 1999.
- ABNT NBR ISO/IEC 17025, **Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração**, 29p. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro – Brasil, 2005.
- ANSI C63.12, **American National Standard Recommended Practice for Electromagnetic Compatibility Limits**, ANSI – *American National Standards Institute*. New York - NY, USA 1999.
- ANSI C63.4, **American National Standard for Methods of Measurement of Radio- Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz**, ANSI – *American National Standards Institute*. New York - NY, USA, 2001.
- CE - Conformité Européenne – **Marcação CE** Disponível em 02/05/2008 no *website* <<http://www.cemarking.net/ce-marking>>, 2008.
- CFR *Title 21 - Food and drugs* Disponível em 02/05/2008 no *website* <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=1000>>, CFR - *Code of Federal Regulations*, 2008.
- CFR *Title 47 - Telecommunication* Disponível em 02/05/2008 no *website* <http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_04/47cfr15_04.html>, CFR - *Code of Federal Regulations*, 2008.
- CISPR 16-4-1, **Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainties in standardized EMC tests**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, ed 1.1 fev 2005.
- CISPR 16-4-2, **Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainty in EMC measurements**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, ed 1 2003.
- CISPR 16-4-4, **Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, 1 ed 2003.

- CISPR Guide **A Guidance for users of the CISPR Standards** Disponível em 02/05/2008 no website <http://www.iec.ch/zone/emc/cispr_guide_2004.pdf> 2004.
- CRUZ, S. C.; DIAS, M. H. C.; SIQUEIRA, G. L. **Selective RF power density measurements radiated by mobile telephony RBS in Rio de Janeiro city.** Proc. of the 35th European Microwave Conference, Paris – França, 3:1671-1674, Out 2005.
- DIAS, M. H. C.; CHAVES, G. M. M. **A simple approach to assess EMI problems due to misplacement of transmitter and receiver antennas for HF ionospheric communications systems operating in the same site.** Proc. of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility (ISEMC), Petrópolis – RJ, Nov 2005.
- DIAS, M. H. C.; SILVA, D. S.; SILVA, E. F.; QUEIROS, C. A. K. **Considerações sobre a interferência eletromagnética irradiada em equipamentos eletromédicos.** Revista Militar de Ciência e Tecnologia, XXIII: 67-76, 2006.
- DIXON, W. J. **Analysis of Extreme Values.** *Annals of Mathematical Statistics*, 21(4):488-506, 1950.
- DIXON, W. J. **Processing Data for Outliers** *Biometrics*, V 9, N 1 (Mar., 1953), p. 74-89, 1953.
- DIXON, W. J. **Ratios Involving Extreme Values** *The Annals of Mathematical Statistics*, V 22, N 1 (1951), p 68-78, 1951.
- DOLUKHANOV, M. Propagation of Radio Waves, pg 23 Mir Publishers. Moscow: 1971.
- FRERKING M. E. **Crystal oscillator design and temperature compensation** 1 ed. 240p, New York – Van Nostrand, 1978.
- GARN H. F. ZINK E. KREMSER R. **Problems with Radiated-Emission Testing at 3 m Distance According to CISPR11 and CISPR22.** , p. 216-221 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1993.
- GRUBBS, F.E. **Errors of Measurement, Precision, Accuracy and the Statistical Comparison of Measuring Instruments** *Technometrics*, V 15, N 1 (1973), p 53-66, 1973.
- GRUBBS, F.E. **Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples** *Technometrics*, V 11, N 1 (1969), p 1-21, 1969.
- GRUBBS, F.E. **Sample Criteria for Testing Outlying Observations** *The Annals of Mathematical Statistics*, V 21, N 1 (1950), p 27-58, 1950.
- GUIMARÃES, J. V., SANTOS, J. C. A. e SARAIVA, C. P. **Ensaio de Proficiência por Comparação de Medições do Ensaio de Emissão Conduzida Segundo a CISPR22**, 4 p ENQUALAB´2007, São Paulo – SP, Jun 2007a.
- GUIMARÃES, J. V., Santos, J. C. A., Dias, M. H. C. **Ensaio de Proficiência por Comparação de Medições para Emissões Conduzidas e Radiadas.** In: VII SEMETRO - Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, Belo Horizonte - MG. Anais do VII SEMETRO - Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, 2007. 6p. 2007b.

- IEC – International Electrotechnical Commission, **How IEC is organized for EMC**
Disponível em 02/05/2008 no website
<<http://www.iec.ch/zone/emc/iecorg.htm>> 2008.
- IEC 61000-4-20, **Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-20 – Testing and measurement techniques – Emission and Immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, 1.1 ed, 131p, jan 2007.
- IEC CISPR 22, **Information Technology Equipment – Radio Disturbance Characteristics – Limits and Methods of Measurement**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, 5 ed abr 2005.
- IEC CISPR 22, **Information Technology Equipment – Radio Disturbance Characteristics – Limits and Methods of Measurement**, IEC - International Electrotechnical Commission, Genebra – Suíça, 4 ed abr 2003.
- INMETRO, **Comissões Técnicas**, INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em 02/05/2008 no website
<<http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/comissoesTec.asp>> 2008a.
- INMETRO, **Fluxograma Básico do Processo de Acreditação**, INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em 02/05/2008 no website
<<http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/fluxograma.asp>> 2008b.
- INMETRO, **Guia para a expressão da Incerteza de Medição**; 3 ed., 120p. INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Rio de Janeiro – Brasil, 2003.
- INMETRO, **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia**: Portaria INMETRO nº 029 de 1995 / INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, SENAI - Departamento Nacional. 5. ed. 72p.; ISBN 978-85-99002-18-6 - Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007a.
- ISO 13528, **Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison**, 66p, ISO – International Organization for Standardization, Genebra, Suíça, 2005.
- ISO 5725-2, **Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method**, 42p. ISO – International Organization for Standardization, Genebra – Suíça, 1994.
- ISO 5725-5, **Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method**, 56p, ISO – International Organization for Standardization, Genebra – Suíça, 1998.
- ISO Guide 30, **Terms and definitions used in connection with reference materials**. ISO – International Organization for Standardization, Genebra – Suíça, 1992.
- ISO/IEC Guide 98, **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements**. ISO – International Organization for Standardization. 1995.

- KRAZ, V. **Near-Field Methods of Locating EMI Sources**, Compliance Engineering Magazine p. 1-7, Mai/Jun 1995.
- LIN M.S., HUANG G.F. **Evaluation for test competence of EMC laboratories**, 1998 IEEE international symposium on EMC, Vol. 2, pp. 724-728, Denver, CO, USA, 1998.
- MIL-STD-461 **Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment** Departamento de Defesa - EUA, Revisão E, 253p, ago 1999.
- MONTROSE M. I. NAKAUCHI E. M. **Testing for EMC Compliance, Approaches and Techniques**. 1. ed. 460p, ISBN 0-471-43308-X (cloth) Piscataway New Jersey – EUA: IEEE Press, John Wiley & Sons, 2004.
- NIT-DICLA-021, **Expressão da Incerteza de Medição** Revisão 03 – 30p. INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2007.
- NIT-DICLA-026, **Requisitos sobre a participação dos laboratórios de ensaio e de calibração em atividades de ensaio de proficiência** Revisão 03, INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2005.
- NIT-DICLA-031 **Regulamento da Acreditação de laboratórios** Revisão 05 – 11p INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial 2007c
- NYLAND, F. **Contribuição ao ensaio de proficiência em compatibilidade eletromagnética**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). 172p, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2007.
- OSABE, K.; WATANABE, R.; MAEDA, A.; YAMAGUCHI, M. **Inter-laboratory Comparison Result as the Proficiency Testing Program of EMI Test Sites in Japan**. Proc. of the 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Honolulu - EUA, vol. 1, pp. 1-6, Jul. 2007.
- PAUL, Clayton R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. 2nd Ed. 1013p ISBN-13: 978-0-471-75500-5 (alk. paper), ISBN-10: 0-471-75500-1 (alk. paper) Piscataway - New Jersey (EUA): Wiley-Interscience, 2006.
- Resolução Nº 442, de 21 de julho de 2006, **Regulamento para a certificação de equipamentos de telecomunicações quanto aos aspectos de compatibilidade eletromagnética**. ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. Publicada no Diário Oficial da União de 01/08/2006, 2006.
- SAMARY, A. H. G.; DIAS, M. H. C. **Avaliação Numérica da Exposição à Irradiação Eletromagnética em HF por Operadores de Rádios para Comunicações Táticas**. Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT'07), Recife – PE, Set. 2007.
- SCHAFFNER, Homepage Disponível em 02/05/2008 no website <<http://www.schaffner.com>>, 2008.
- SOBRINHO J. P. F. CARVALHO J. A. D. **Osciladores**. 1. ed. São Paulo – Livros Érica Editora Ltda, 329p. 1992.

- SOLETTI, K.T. **Comparações interlaboratoriais para laboratórios de compatibilidade eletromagnética**. 220p Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2003.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**, Coleção Schaum 1 ed, São Paulo, Editora McGraw-Hill 580p, 1978.
- UL - Underwriters Laboratories **Homepage** Disponível em 02/05/2008 no website <http://www.ul-brasil.com/worldwide/br_ulla_worldwide_Asia.aspx>, 2008.
- VALDMAN, C. **Desenvolvimento e Teste de uma Sonda de Campo Elétrico para a Faixa de 2,45 GHz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ, Maio de 2006.
- VALDMAN, C.; DIAS, M. H. C.; SANTOS, J. C. A. **Desenvolvimento e Calibração de Sonda de Campo Elétrico para Faixa de 2 a 3 GHz**. IEEE Latin America Transactions (artigo aceito para publicação), 2008.
- VALDMAN, C.; DIAS, M. H. C.; SANTOS, J. C. A. **Design and Calibration of a UHF Electric Field Probe**. Proceedings of the International Workshop on Telecommunications - IWT/07, Santa Rita do Sapucaí – MG, 1:252-255, Fev. 2007.
- WISETEL, **Organismos de Certificação Designados – OCD**, Disponível em 02/05/2008 no website <http://www.wisetel.com.br/fornecedores_para_telecomunicacoes/organismos_de_certifica%C3%A7%C3%A3o_designados.htm>, 2008.
- YORK, **EMC Test Equipment Portfolio** Disponível em 02/05/2008 no website <www.yorkemc.co.uk/instrumentation/>, York EMC Services Ltd., UK, 2008.

7. ANEXOS

7.1 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

7.1.1 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS PARA ANÁLISE DE *OUTLIERS*

7.1.1.1 Método de Estimação Robusta

O método de estimação robusta é um processo alternativo para a determinação da média (VVC) e do desvio padrão. Os valores assim determinados são menos sensíveis a pequenas variações. Embora a robustez seja uma característica do método, e não de seu produto, a média e o desvio padrão calculados por este método são denominados usualmente de média robusta e desvio padrão robusto, respectivamente.

Neste método as estimativas da média e do desvio padrão são obtidas por um algoritmo iterativo. A convergência acontece quando o conjunto de dados deixa de ser modificado pelo algoritmo em uma dada iteração, segundo determinada tolerância.

A ISO 13528 (2005) apresenta em seu Anexo C um algoritmo para a estimação de valores robustos para a média das medidas, utilizada como VVC e desvio-padrão robustos. Esta metodologia também é apresentada pela ISO 5725-5 (1998).

As etapas de cálculo são as seguintes:

a) Ordenar as medidas em ordem crescente, como, por exemplo:

$$x_1, x_2, \dots, x_p$$

b) Calcular o valor inicial para a média robusta x^* e o desvio-padrão robusto s^* por:

$$x^* = \text{mediana de } x_i \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (7.1)$$

$$s^* = 1,483 \text{ mediana de } |x_i - x^*| \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (7.2)$$

c) Calcular o desvio utilizando:

$$\bar{\delta} = 1,5 s^* \quad (7.3)$$

d) Para cada x_i ($i = 1, 2, \dots, p$), calcular x_i^* , onde:

$$x_i^* = x^* - \delta \quad \text{se } x_i < x^* - \delta \quad (7.4)$$

$$x_i^* = x^* + \delta \quad \text{se } x_i > x^* + \delta \quad (7.5)$$

$$x_i^* = x^* \quad \text{outros casos} \quad (7.6)$$

e) Recalcular x^* e s^* através de:

$$x^* = \sum \frac{x_i^*}{p} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (7.7)$$

$$s^* = 1,134 \sqrt{\frac{\sum (x_i^* - x^*)^2}{(p-1)}} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (7.8)$$

f) Voltar ao passo c) e repetir a seqüência de c) a e) até se obter convergência na média e no desvio-padrão.

A incerteza robusta padrão, calculada conforme a ISO 13528 (2005), é dada por:

$$u_x = \frac{1,25 s^*}{\sqrt{p}} \quad (7.9)$$

A incerteza expandida¹⁸ é obtida pelo produto da incerteza padrão por um fator de abrangência k . Em geral é estipulado um nível de 95% para intervalo de confiança dos resultados, o que corresponde a um fator de abrangência igual a $k = 2$. Sendo considerados infinitos graus de incerteza (INMETRO, 2003), a incerteza expandida é dada por:

$$U_x = k \cdot u_x = 2 \cdot u_x \quad (7.10)$$

7.1.2 MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO NÃO ROBUSTOS

Os métodos não robustos são baseados na distância linear entre a medida reportada pelo laboratório e o valor de referência. Os principais métodos são o z-score, o método de Grubbs e o método de Cochran, estabelecidos pela ISO

¹⁸ A incerteza expandida é a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que possam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (INMETRO, 2003)

13528 (2005). Usualmente os laboratórios utilizam o método de Dixon (DIXON, 1950) pela sua simplicidade. A seguir o método de Grubbs é detalhado, sendo este o método utilizado neste trabalho. Os demais são similares e podem ser consultados nas referências.

7.1.2.1 Método de GRUBBS

O teste de Grubbs (GRUBBS, 1950; 1969; 1973) baseia-se no cálculo da distância linear entre o valor suspeito e a média dos valores, apresentando a vantagem de poder ser utilizado para a avaliação de mais de um valor suspeito simultaneamente. O método avalia a relação das distâncias entre os valores suspeitos e a média com o chamado “nível de significância” ou a probabilidade de abrangência, que é o limite a partir do qual o valor é considerado *outlier*. O método é relativamente simples e não possui limitação em relação à quantidade de valores amostrados, porém não considera os efeitos da média e da mediana.

Não há regra para a seleção da quantidade de valores suspeitos que serão pesquisados de cada vez. Uma simples suspeita sobre os valores considerados pode ser suficiente para indicar a realização do teste.

A seleção sobre a quantidade de valores suspeitos que serão pesquisados de cada vez não tem regra, podendo ser definido em função de uma simples suspeita ou de métodos como o z-score.

Procedimento de cálculo:

- 1) Ordenar os valores reportados em ordem ascendente
- 2) Calcular o valor da estatística de Grubbs, G , conforme a quantidade de valores suspeitos e sua posição de acordo com a fórmula abaixo.

2.1) Para um valor suspeito

$$G_p = \frac{(x_p - \bar{x})}{s} \quad \text{para o maior valor} \quad (7.11)$$

$$G_1 = \frac{(\bar{x} - x_1)}{s} \quad \text{para o menor valor,} \quad (7.12)$$

sendo

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i \quad \text{e} \quad s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.13)$$

onde p é o número de laboratórios participantes da rodada.

2.2) Para dois valores suspeitos

2.2.1) Para os dois maiores valores

$$G = \frac{s_{p-1,p}^2}{s_0^2}, \quad (7.14)$$

onde

$$s_0^2 = \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2 \quad (7.15)$$

$$s_{p-1,p}^2 = \sum_{i=1}^{p-2} (x_i - \bar{x}_{p-1,p})^2 \quad (7.16)$$

$$\bar{x}_{p-1,p} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=1}^{p-2} x_i \quad (7.17)$$

2.2.2) Para os dois menores valores

$$G = \frac{s_{1,2}^2}{s_0^2}, \quad (7.18)$$

onde

$$s_{1,2}^2 = \sum_{i=3}^p (x_i - \bar{x}_{1,2})^2 \quad (7.19)$$

$$\bar{x}_{1,2} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=3}^p x_i \quad (7.20)$$

3) Comparar G com os valores críticos, conforme transcritos na TAB. A.1, em função da probabilidade de abrangência desejada.

3.1) Para um valor suspeito, se o valor de G é menor ou igual ao seu valor crítico para 5%, o valor suspeito é aceito como correto; se o valor de G é maior do que o seu valor crítico para 5% e menor ou igual ao seu valor crítico para 1%, o valor suspeito é tratado como suspeito, requerendo análise mais aprofundada; e se o valor de G é maior do que o seu valor crítico para 1%, o valor suspeito é rejeitado como valor disperso.

3.2) Para dois valores suspeitos, se o valor de G é maior ou igual ao seu valor crítico para 5%, ambos os valores são aceitos como corretos; se o valor de G é menor do que o seu valor crítico para 5% e maior ou igual ao seu valor crítico para 1%, os valores são tratados como suspeitos, requerendo análise mais aprofundada; e se o valor de G é menor do que o seu valor crítico para 1%, os valores são rejeitados como valores dispersos.

TAB. 7.1. Valores críticos para o teste de Grubbs (ISO 5725-2, 1994).

P	Um valor extremo.		Dois valores extremos.	
	Acima ou abaixo da média		Acima ou abaixo da média	
	Superior a 1%	Superior a 5%	Inferior a 1%	Inferior a 5%
3	1,155	1,155	-	-
4	1,496	1,481	0,000 0	0,000 2
5	1,764	1,715	0,001 8	0,009 0
6	1,973	1,887	0,011 6	0,034 9
7	2,139	2,020	0,030 8	0,070 8
8	2,274	2,126	0,056 3	0,110 1
9	2,387	2,215	0,085 1	0,149 2
10	2,482	2,290	0,115 0	0,186 4
11	2,564	2,355	0,144 8	0,221 3
12	2,636	2,412	0,173 8	0,253 7
13	2,699	2,462	0,201 6	0,283 6
14	2,755	2,507	0,228 0	0,311 2
15	2,806	2,549	0,253 0	0,336 7
16	2,852	2,585	0,276 7	0,360 3
17	2,894	2,620	0,299 0	0,382 2
18	2,932	2,651	0,320 0	0,402 5
19	2,968	2,681	0,339 8	0,421 4
20	3,001	2,709	0,358 5	0,439 1
21	3,031	2,733	0,376 1	0,455 6
22	3,060	2,758	0,392 7	0,471 1
23	3,087	2,781	0,408 5	0,485 7
24	3,112	2,802	0,423 4	0,499 4
25	3,135	2,822	0,437 6	0,512 3
26	3,157	2,841	0,451 0	0,524 5
27	3,178	2,859	0,463 8	0,536 0
28	3,199	2,876	0,475 9	0,547 0
29	3,218	2,893	0,487 5	0,557 4
30	3,236	2,908	0,498 5	0,567 2
31	3,253	2,924	0,509 1	0,576 6
32	3,270	2,938	0,519 2	0,585 6
33	3,286	2,952	0,528 8	0,594 1
34	3,301	2,965	0,538 1	0,602 3
35	3,316	2,979	0,546 9	0,610 1
36	3,330	2,991	0,555 4	0,617 5
37	3,343	3,003	0,563 6	0,624 7
38	3,356	3,014	0,571 4	0,631 6
39	3,369	3,025	0,578 9	0,638 2
40	3,381	3,036	0,586 2	0,644 5

P – Número de laboratórios participantes

7.2 DESENVOLVIMENTO DO ITEM DE ENSAIO

O projeto para a o desenvolvimento do ESE teve como base as seguintes especificações: um gerador de impulsos, com características de amplitude e frequência não identificáveis facilmente, capaz de produzir um campo de aproximadamente 30 dB μ V/m a 3 metros de distância, cobrindo toda a faixa de 30 MHz a 1 GHz. O campo e as frequências foram definidos em função da CISPR 22 e a distância em função do tamanho limite das câmaras semi-anecóicas disponíveis.

O projeto conceitual do circuito desenvolvido foi: associar osciladores, misturando seus sinais até cobrir toda a faixa requerida pela norma, utilizando-se componentes facilmente disponíveis no mercado e de custo reduzido.

Para atender o objetivo foi considerada a solução de criar dois osciladores e, em um misturador, aplicar um oscilador como RF e outro como oscilador local, gerando o sinal misturado em FI. Como não são necessários muitos picos, foi estimado que 250 MHz, associados a 100 MHz produziram a quantidade necessária de picos. Assim, foram implementados os circuitos apresentados nas FIGs. 7.1 e 7.2 (SOBRINHO E CARVALHO, 1992; FRERKING, 1978).

Provavelmente em função da faixa de interesse ser dedicada principalmente à radiodifusão, a disponibilidade de componentes no Rio de Janeiro e em São Paulo é pequena. Mesmo tendo sido contatados os representantes de fabricantes, não foi obtida resposta satisfatória para a aquisição dos componentes principais especificados. Assim, foi necessária a aplicação de uma série de alternativas para a obtenção do resultado desejado.

Uma solução de projeto foi fazer a mistura de sinais, aproveitando as não linearidades dos transistores, inserindo o sinal do oscilador de 100 MHz (do ponto indicado como OL) na base do transistor do oscilador de 250 MHz, através do capacitor C1 da FIG. 7.2.

Para sintonizar os osciladores na banda entre 30 MHz e 1 GHz são necessários indutores na faixa de nH e capacitores menores que 1 pF. Os valores limites disponíveis comercialmente são 1 μ H e 1 pF. Desta forma, foi necessário o uso de combinações série e paralelo até a obtenção dos valores desejados.

Transistores que operam na banda de interesse não são de fácil obtenção. A pesquisa por atributos na Internet seguida pela busca em lojas não surtiu efeito,

tendo sido necessário "garimpar" com vendedores de lojas de componentes eletrônicos, pesquisando nos seus estoques até encontrar dispositivos compatíveis.

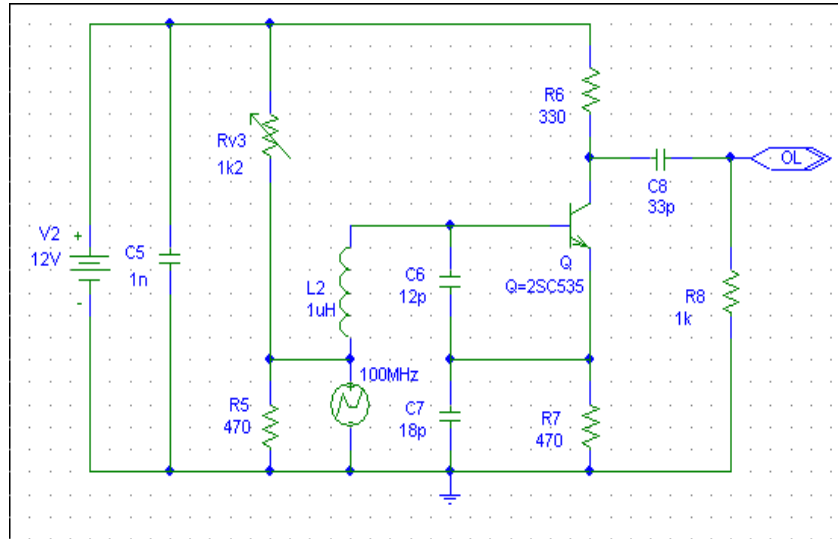


FIG. 7.1. Diagrama esquemático do oscilador de 100 MHz projetado.

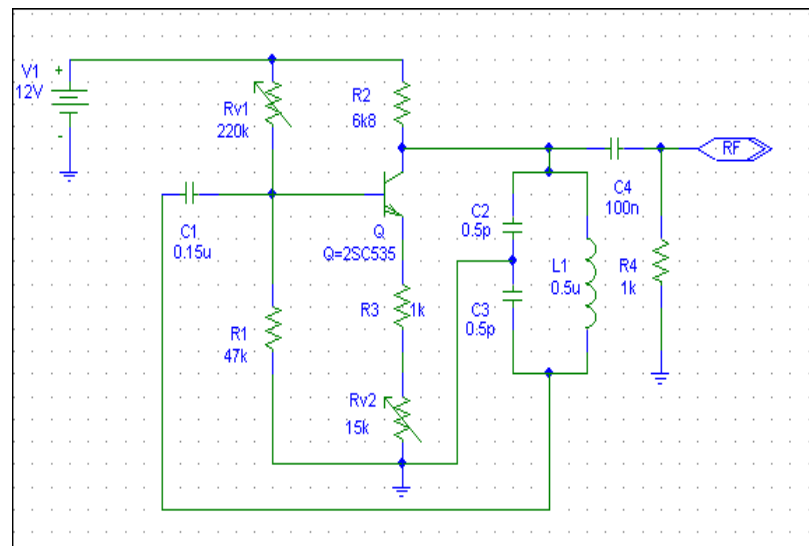


FIG. 7.2. Diagrama esquemático do oscilador de 250 MHz projetado.

Uma vez que os componentes principais foram ajustados para atender as necessidades do projeto, não houve preocupação com cálculos de componentes

de polarização, sendo utilizados *trimpots* e *trimmers* para se obter as melhores respostas.

Para o sistema irradiante também houve dificuldade em se encontrar antenas para toda a faixa e com dimensões adequadas à célula GTEM. A solução encontrada foi utilizar uma antena veicular para aparelho celular, para a faixa de 900 MHz, mesmo considerando seu mau desempenho para frequências mais baixas.

Para a proteção do circuito, foi utilizada a caixa de uma fonte de PC, da qual foi mantida a ventoinha, para refrigeração, a chave liga-desliga e a entrada para o cabo de alimentação.

Para a alimentação do circuito foi utilizado um conversor comercial ($110 V_{ac} - 12 V_{dc}$), sendo necessário apenas acrescentar um circuito para a regulação da tensão. A tensão de alimentação foi mantida em $110 V_{ac}$ para evitar as variações decorrentes das formas de obtenção da tensão de $220 V_{ac}$ pelos laboratórios.

Para o cálculo da potência de transmissão, foi necessário primeiramente que se definisse a condição de proximidade do campo, pois, o comprimento de onda varia de 0,3 a 10 m e a antena receptora estava prevista para ficar a 3 m da fonte.

Conforme ilustrado na FIG. 7.3. (MONTROSE, 2004), a impedância de onda decresce com a distância para fontes predominantemente elétricas, como no caso da antena da fonte em questão, até atingir assintoticamente o valor de $Z_0 = 377 \Omega$. Este ponto de equilíbrio é obtido, para antenas dipolo curtas, em $\lambda/2\pi$ (λ = comprimento de onda), que no projeto se situa entre 0,05 e 1,59 m, para 1 GHz e 30 MHz, respectivamente.

Conforme apresentado na FIG. 8.4 (KRAZ, 1995), no pior caso para o projeto, a região de transição entre os campos próximo e distante está situada a 1,4 m. Assim, no que diz respeito às condições de estimação da perda de propagação entre a fonte e um receptor a 3 m, considerou-se a aproximação de campo distante.

O campo distante no espaço livre (DOLUKHANOV, 1971) é dado por:

$$E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = 104,77 + P_{\text{tx}}(\text{dBm}) - A_c(\text{dB}) + G_t(\text{dBi}) - 20 \times \log_{10}(d(\text{m})) \quad (8.1)$$

onde: $E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})$ é o campo elétrico à distância na condição de espaço livre (onda plana) em dB acima de microvolt por metro; $P_{\text{tx}}(\text{dBm})$ é a potência do transmissor, em dBm, que se deseja estimar; $A_c(\text{dB})$ as perdas por cabos,

conectores e descasamento entre a saída do transmissor e a entrada da antena, em dB, desconhecido, arbitrado igual a zero; $G_t(\text{dBi})$ o ganho da antena transmissora, na direção considerada, em dB em relação à isotrópica (7 dBi); e $d(\text{m})$ a distância entre a antena transmissora e o ESE, em metros. Rearranjando:

$$P_{tx} = 30 - 104,77 + 0 + 20 \log 3 - 7 = -72,23 \text{ dBm}$$

Assim, para gerar um campo de $30 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à distância de 3 m, a potência mínima de transmissão estimada deve ser $-72,23 \text{ dBm}$.

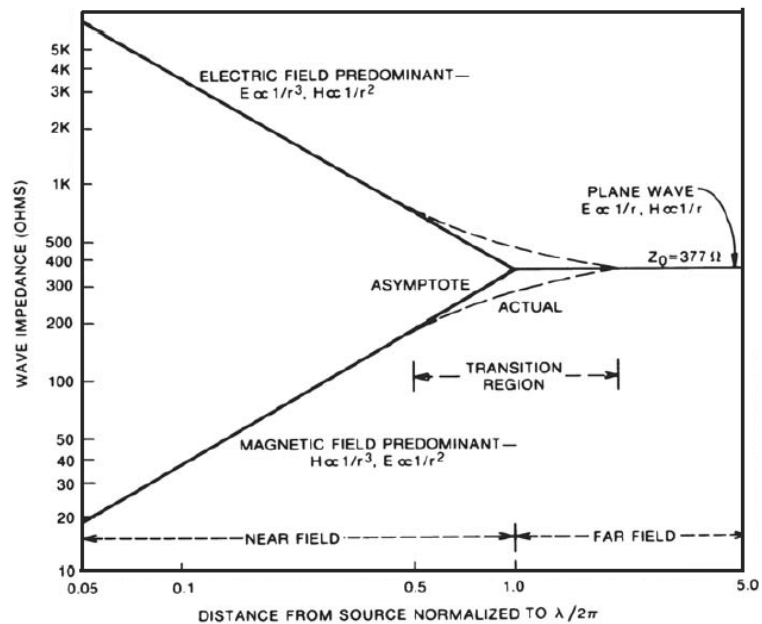


FIG. 7.3. Impedância de onda versus distância normalizada (KRAZ, 1995).

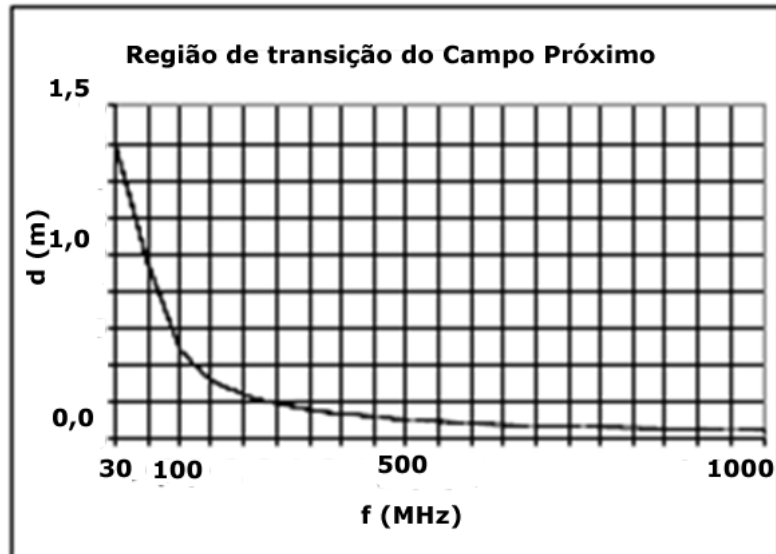


FIG. 7.4. Correlação da região de transição de campo próximo para campo distante com a frequência.

Para a montagem do gerador, a antena foi modificada de forma que o seu plano de terra passou a ser a parte superior da caixa do ESE, conforme pode ser observado na FIG. 7.5.

As placas dos circuitos foram afastadas e fixadas por um sistema de parafusos, preservadas a própria ventoinha, a chave e o cabo CA da caixa da fonte de PC, como ilustrado nas FIGs 7.6 e 7.7. Após a montagem, as partes móveis foram fixadas com silicone e as junções travadas com tinta esmalte.



FIG. 7.5. Visão geral do dispositivo projetado.

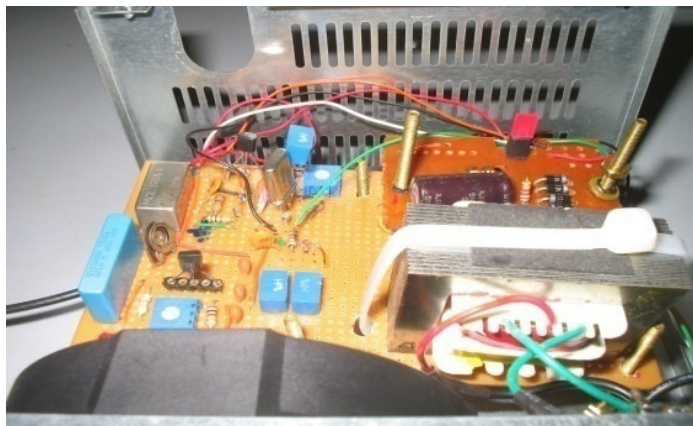


FIG. 7.6. Visão interna do dispositivo projetado.



FIG. 7.7. Detalhe de montagem do dispositivo projetado.

Foram realizadas medições com o gerador comercial CNE III e com o ESE diretamente nas saídas dos circuitos, sem as antenas. Os resultados são apresentados nas FIGs. 7.8 e 7.9, respectivamente. As medições realizadas no ESE atingem os mesmos níveis dos sinais gerados pelo CNE III.

De acordo com o projeto, a potência mínima de transmissão deveria ser de $-72,23$ dBm. As medições no ESE apresentaram diversos picos acima de -50 dBm (FIG. 7.9). Numa primeira aproximação, desprezando-se os efeitos das antenas, foi considerado que o sinal do ESE teria intensidade suficiente para ser percebido acima do nível da norma CISPR 22 durante o ensaio.

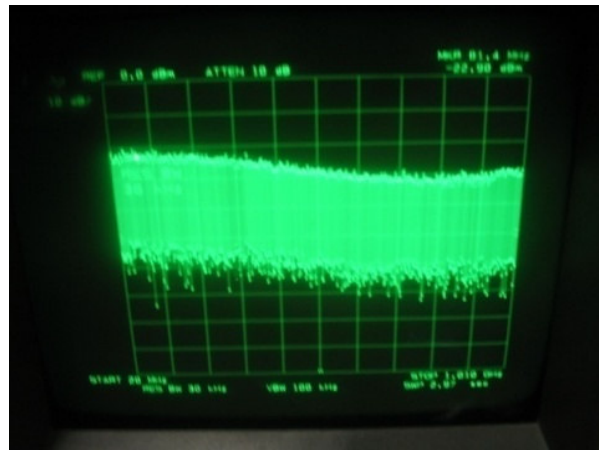


FIG. 7.8. Espectro do sinal gerado pela fonte comercial CNE III.

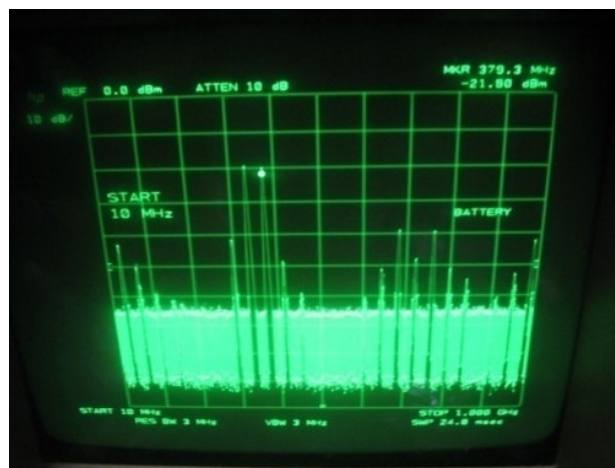


FIG. 7.9 Espectro do sinal gerado pela fonte desenvolvida, .

Como o ESE foi finalizado com base em dados experimentais, sem implementação da estrutura de casamento do circuito com a antena, pois esta foi utilizada fora de sua frequência original e teve o seu plano de terra modificado, foi admitida a hipótese de haver perdas em algumas faixas de frequências. A validação da geração de impulsos em quantidade e níveis suficientes foi realizada através de ensaio em câmara semi-aneecóica, cujos resultados são apresentados na FIG. 7.10. A repetitividade dos sinais gerados foi comprovada na medida em que todos os laboratórios foram capazes de percebê-los em frequências e níveis próximos e estáveis, o que validou o ESE para os objetivos do presente trabalho.

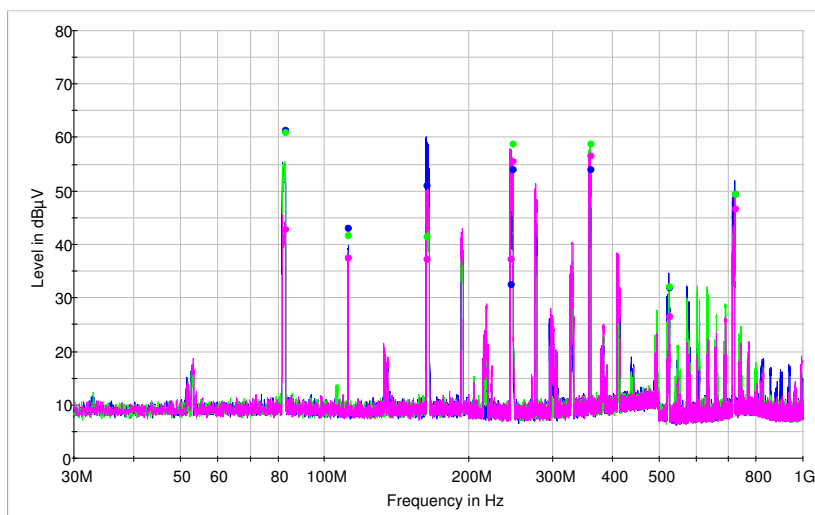


FIG. 7.10. Frequências geradas pelo ESE.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)