



Rádio Interferência Proveniente de Linhas de Alta Tensão

RICARDO MICHELETTO LEÃO



***RÁDIO INTERFERÊNCIA PROVENIENTE DE
LINHAS DE ALTA TENSÃO***



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Chanceler:

Dom Dadeus Grings

Reitor:

Joaquim Clotet

Vice-Reitor:

Evilázio Teixeira

Conselho Editorial:

Alice Therezinha Campos Moreira

Ana Maria Tramunt Ibanos

Antônio Carlos Hohlfeldt

Draiton Gonzaga de Souza

Francisco Ricardo Rüdiger

Gilberto Keller de Andrade

Jaderson Costa da Costa

Jerônimo Carlos Santos Braga

Jorge Campos da Costa

Jorge Luis Nicholas Audy (Presidente)

José Antônio Poli de Figueiredo

Lauro Kopper Filho

Maria Eunice Moreira

Maria Helena Menna B. Abrahão

Maria Waleska Cruz

Ney Laerte Vilar Calazans

René Ernaini Gertz

Ricardo Timm de Souza

Ruth Maria Chittó Gauer

EDIPUCRS:

Jerônimo Carlos Santos Braga – Diretor

Jorge Campos da Costa – Editor-chefe

RICARDO MICHELETTO LEÃO

***RÁDIO INTERFERÊNCIA PROVENIENTE DE
LINHAS DE ALTA TENSÃO***



2008

© EDIPUCRS, 2008

Capa: Vinícius de Almeida Xavier

Diagramação: Gabriela Viale Pereira e Josianni dos Santos Nunes

Revisão Lingüística: Daniela Origem

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L437r Leão, Ricardo Micheletto.

Rádio interferência proveniente de linhas de alta tensão
[recurso eletrônico] / Ricardo Micheletto Leão. – Porto Alegre:
EDIPUCRS, 2008.

146 p.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de Acesso: World Wide Web:

<<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>>

ISBN 978-85-7430-779-4 (on-line)

1. Engenharia Elétrica. 2. Rádio (Engenharia) – Interferências.
3. Linhas de Transmissão. 4. Interferências Eletromagnéticas. 5.
Energia Elétrica – Alta Tensão. I. Título.

CDD 621.31

Ficha Catalográfica elaborada pelo
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS



Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 33

Caixa Postal 1429

90619-900 Porto Alegre, RS - BRASIL

Fone/Fax: (51) 3320-3523

E-mail: edipucrs@pucrs.br

<http://www.pucrs.br/edipucrs>

In memoriam:

Hélio Selistre Leão

...não desistas de teus objetivos, preserve a paz de espírito e a nobreza do pensamento.

Guardei esses ensinamentos, envolvidos de estímulos e da sinceridade do teu afeto.

Obrigado Pai.

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer à minha esposa, **Angela**, pelo grande incentivo, pela compreensão e paciência das intermináveis horas na elaboração deste trabalho. Aos meus filhos **Alexandre** e **Letícia**, pelo apoio, pelo estímulo e porque, sem dúvida, são pessoas de um grande significado na minha vida.

Gostaria de expressar a minha gratidão ao meu companheiro e mestre **Virgilio Vescovi Filho**, pelo incentivo e pelo entusiasmo, sendo o principal incentivador no desenvolvimento deste estudo. Ao meu prezado orientador **Prof. Dr. Guilherme Dias**, pela presteza, pela competência e pela confiança no meu trabalho, bem como pelas oportunidades apresentadas no desenvolvimento deste estudo. Ao **Prof. Dr. Marcos Telló** pela sua grande ajuda na elaboração deste trabalho. Ao **Prof. Dr. Vicente Mariano Canalli** pela compreensão e pelo apoio no transcorrer de meu curso de mestrado, principalmente no desenvolvimento de sua disciplina. A todos os **amigos** e companheiros de mestrado que de alguma forma estiveram envolvidos e me apoiaram no desdobramento deste estudo. A todos gostaria de agradecer e dividir os méritos desta conquista que sem dúvida nenhuma foi para mim um grande desafio. Muito obrigado.

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC - Corrente Alternada

ACEC - Advisory Committee on Electromagnetic Compatibility (Comitê Consultivo de Compatibilidade Eletromagnética)

AGC - Controle Automático de Ganho

AM - Modulação em Amplitude

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

ANSI - American National Standards Institute

AVG - Valor Médio

C - Capacitor

CC - Corrente Contínua

CCITT - Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique

CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica

CEM - Compatibilidade Eletromagnética

CEN - Comité Européen de Normalisation

CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (Comitê Europeu de Padronização Eletrotécnica)

CIGRE - International Conference on Large High Voltage Electric Systems (Conselho Internacional para Sistemas Elétricos de Alta Tensão)

CISPR - Comité International Special des Perturbation Radioeetriques (Comitê Especial Internacional para Rádio Interferência)

COPANT - Pan American Standards Commission

DER - Direction des Études et Recherches

E - Compo Elétrico

EDF - Electricité de France

EEC - European Economic Community

EHF - Extremely High Frequency

Ek - Intensidade de Campo Elétrico Total de Rádio Interferência

ek - Intensidade de Campo Elétrico Pontual de Rádio Interferência

ELF - Extremely Low Frequency

Em - Intensidade de Campo Elétrico Final de Rádio Interferência

EMC - Eletromagnetic Compatibility
EMI - Interferência Eletromagnética
EPRI - Electric Power Research Institute
f - Frequência
FCC - Federal Communication Commission
FI - Frequência Intermediária
FM - Frequência Modulada
H - Campo magnético
HF - High Frequency
IEC - International Electrotechnical Commission
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF - Frequência Intermediária
ISM - Industrial, Scientific and Medical
ISSO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)
ITU - International Telecommunication Union (União Internacional de Telecomunicações)
LD - Linhas de Distribuição
LF - Low Frequency
L - Indutância
LOG - Logaritmo
LT - Linha de Transmissão
MATHCAD - Mathematic Computer Aided Design
MF - Medium Frequency
NBR - Normas Brasileiras
OIML - International Organization for Legal Metrology (Organização Internacional de Metrologia Legal)
PCS - Personal Communication Services
PEA - Valor de pico
QP - Valor de quase-pico
R - Resistência
Re - Resistência Equivalente
RA - Ruído Acústico
RC - Circuito com resistor e capacitor

RF - Radiofrequência
RFI - Radio Frequency Interference
RI - Rádio Interferência
RMS - Valor Eficaz
SEPA - Subestação Porto Alegre
SHF - Super High Frequency
SNR - Signal Noise Ratio (Relação Sinal/Ruído)
TC - Technical Committee (Comitê Técnico)
TV - Televisão
TVI - Televisão Interferência
UHF -Ultra High Frequency
VCCI - Voluntary Control Council for Interference
VDE - Verband Der Elektrotechnik
VHF - Very High Frequency
VLF - Very Low Frequency
W - Largura
Y - Admitância
Z - Impedância
Zo - Impedância Característica

LISTA DE SÍMBOLOS

α - Constante de Atenuação
 β - Constante de Fase
 λ - Constante de Propagação
 Γ - Gerador Corona
 π - número pi (3,141593)
 Ω - Ohms
 ϵ - Permissividade no Espaço Livre
 ρ - Resistividade do Solo
 δ - Profundidade de Penetração no Solo
 μV - Microvolts
A - Amper
C - Capacitância
dB - Decibel
EHZ - Extrahertz
GHz - Gigahertz
Hz - Hertz
kHz - Quilohertz
kV - Quilovolts
l - Comprimento
L - Indutância
m - Modal
MHz - Megahertz
mV - Milivolts
PHz - Picohertz
THz - Terahertz
t -Tempo
V - Volts

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 ORGANIZAÇÃO DA IEC	17
2 NORMAS NACIONAIS	18
3 NORMAS INTERNACIONAIS	18
4 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	21
5 ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS	23
6 AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO	26
7 CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO ESPAÇO	26
8 RÁDIO INTERFERÊNCIA	26
8.1 <i>RUÍDOS PROVOCADOS POR RÁDIO INTERFERÊNCIA</i>	28
8.1.1 Ruídos causados por centelhamento	31
8.1.2 Ruídos causados por corona	32
9 MEDIÇÃO DO RUÍDO DE RÁDIO	43
9.1 <i>MEDIDORES DE RUÍDO DE RÁDIO</i>	43
9.2 <i>SISTEMA DE ANTENAS</i>	47
9.3 <i>MEDIÇÃO DO RUÍDO DA LINHA DE TRANSMISSÃO</i>	47
9.4 <i>NÍVEL DE INTERFERÊNCIA E QUALIDADE DE RECEPÇÃO</i>	49
10 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DA LINHA DE TRANSMISSÃO	50
10.1 <i>CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DE RÁDIO DA LINHA DE TRANSMISSÃO</i>	50
10.2 <i>GEOMETRIA DA LINHA DE TRANSMISSÃO</i>	53

10.3 CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DOS CONDUTORES.....	55
10.4 CRITÉRIOS DE RUÍDOS TOLERÁVEIS	56
10.4.1 Relação Sinal/Ruído.....	57
10.4.2 Tolerância da radiofrequência	58
11 METODOLOGIA APLICADA	60
11.1 MODELO ANALÍTICO PARA CÁLCULO DA RÁDIO INTERFERÊNCIA.....	62
11.1.1 Geração da rádio interferência	64
11.1.1.1 Função de geração da rádio interferência.....	66
11.1.1.2 Condutor simples acima do solo.....	66
11.1.1.3 Linhas de múltiplas fases	70
11.1.1.4 Geração da rádio interferência para o caso de chuva forte.....	78
11.1.1.5 Geração da rádio interferência para o caso de tempo bom.....	81
11.1.2 Propagação da rádio interferência	81
11.1.2.1 Constantes de atenuação.....	81
11.1.2.2 Estatísticas da rádio interferência.....	82
11.2 APLICAÇÃO DO CÁLCULO DA RÁDIO INTERFERÊNCIA	84
11.2.1 Rádio interferência proveniente de uma linha de 230 kV trifásica	85
11.2.1.1 Profundidade de penetração no solo.....	86
11.2.1.2 Coeficientes de potencial de Maxwell.....	86
11.2.1.3 Matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell.....	87
11.2.1.4 Capacitâncias próprias e mútuas.....	88
11.2.1.5 Impedâncias da linha de transmissão.....	88
11.2.1.6 Cargas elétricas dos condutores	91
11.2.1.7 Gradiente de superfície dos condutores	93
11.2.1.8 Corrente de geração corona	93
11.2.1.9 Corrente corona	94
11.2.1.10 Tensão corona	96
11.2.1.11 Matriz de transformação modal.....	96
11.2.1.12 Constantes de propagação modal.....	99
11.2.1.13 Transformada modal da tensão de geração corona	102
11.2.1.14 Fatores de atenuação	102
11.2.1.15 Campo elétrico da rádio interferência das três fases da linha de transmissão.....	104

11.2.1.16 Campo elétrico final da rádio interferência	109
11.2.2 Rádio interferência proveniente de uma linha de 500 kV trifásica ...	114
11.2.2.1 Campo elétrico final da rádio interferência	115
12 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA APLICADA	121
CONCLUSÃO.....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134

INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo desenvolver um método de cálculo para a rádio interferência provocada pelos campos eletromagnéticos presentes nas linhas de transmissão de alta tensão, de modo a preservar a qualidade do sinal recebido por equipamentos eletroeletrônicos e de comunicações utilizados nas imediações.

Com o crescimento das cidades, as subestações e as linhas de transmissão de alta tensão, que antes ficavam distantes dos centros populacionais, estão hoje muito próximas das edificações urbanas. Por outro lado, o desenvolvimento da indústria eletrônica e das comunicações provocou a presença de campos eletromagnéticos em todos os ambientes. Isto é, casas, edifícios, prédios comerciais e industriais estão sujeitos a irradiações eletromagnéticas provenientes das linhas de transmissão de alta tensão, quando construídos nas proximidades.

Por outro lado, devido ao crescimento da indústria eletrônica e das telecomunicações, muitos estudos estão sendo desenvolvidos para análise dos valores de campos eletromagnéticos originados pela rádio interferência e presentes em ambientes industriais, comerciais e residenciais.

As ondas eletromagnéticas provenientes de cargas elétricas aceleradas provocam a presença tanto de campos elétricos como de campos magnéticos. Estes campos são também conhecidos como radiações eletromagnéticas.

Os sistemas de alta tensão geram campos eletromagnéticos de baixa frequência, 60Hz, como também campos eletromagnéticos de alta frequência, a níveis de MHz, devido à existência, principalmente, do efeito corona nos cabos e equipamentos das linhas de alta tensão.

Todos estes fatores provocam não só problemas de segurança pessoal, como também problemas de interferência entre equipamentos: telefones que sintonizam rádios, celulares que alteram balanças eletrônicas, banco de dados alterados por pulsos de radar, etc, ocasionando uma quantidade enorme de interferências eletromagnéticas.

Este quadro de acontecimentos indica a necessidade de conhecimento dos níveis de radiação eletromagnética presentes nos ambientes públicos e privados.

A análise e a medição de campos eletromagnéticos gerados por equipamentos elétricos fazem parte da área de estudos conhecida como compatibilidade eletromagnética. Esta área vem sendo muito discutida nos grandes centros de pesquisas e universidades do mundo inteiro.

Devido a todos estes fatos, torna-se necessário apresentar uma metodologia que estabeleça medidas mínimas a serem seguidas na implantação de linhas de transmissão de alta tensão junto a centros urbanos, bem como estabelecer providências a serem adotadas na utilização de equipamentos eletrônicos próximos às linhas de transmissão e analisar os campos elétricos presentes nestas áreas.

Para o estudo dos campos elétricos é imprescindível estabelecer uma rotina de cálculos a ser seguida para que se possa obter valores essenciais para a tomada de decisão quanto ao tipo de geometria mais adequada da linha de transmissão a ser implantada, devido à presença da rádio interferência. Além disso, apontar recomendações a serem seguidas para utilização de equipamentos eletroeletrônicos utilizados nas imediações, de modo a garantir a qualidade do sinal de recepção destes equipamentos.

O desenvolvimento matemático empregado neste trabalho utiliza o ambiente do programa MATHCAD (Mathematic Computer Aided Design) com o propósito de obter valores de campo elétrico que venham contribuir para a análise final, de modo que o projetista possa avaliar a rádio interferência proveniente, principalmente, do efeito corona nas linhas de alta tensão.

A primeira parte deste estudo permite verificar a quantidade de fatores que de algum modo estão relacionados com a rádio interferência e são indiscutivelmente indispensáveis para um exame mais adequado do tipo de geometria da linha de transmissão a ser implantada perante valores de campo elétrico resultantes. Nesta etapa do trabalho já se percebe a complexidade do projeto em execução pelo grande número de variáveis que direta ou indiretamente influenciam ou estão relacionadas com as linhas de transmissão de alta tensão.

A segunda parte deste trabalho apresenta um método de cálculo matemático que mostra os valores de campo elétrico final na presença da rádio interferência de modo a permitir a análise do nível de interferência ou de ruído no sinal de recepção dos equipamentos eletrônicos nas imediações. Embora se observe a quantidade enorme de trabalhosas derivações matemáticas, este capítulo não tem como intuito fornecer um exaustivo desenvolvimento destes métodos.

A parte final do presente estudo estabelece conclusões de projeto e recomendações para o uso de equipamentos eletrônicos próximos às áreas das linhas de transmissão, correlacionando valores encontrados pela montagem de gráficos e valores recomendados pelas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e normas internacionais: IEC (International Electrotechnical Commission), ANSI (American National Standards Institute), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), VDE (Verband Der Elektrotechnik), VCCI (Voluntary Control Council for Interference) e CISPR (Comitê International Special des Perturbations Radioeletriques).

Importante salientar que esse trabalho descreve as providências que devem ser tomadas na implementação de linhas de transmissão de energia elétrica de forma a garantir a compatibilidade eletromagnética destes sistemas relacionados aos sistemas eletroeletrônicos e de comunicação nas imediações.

Com o desenvolvimento deste estudo é possível estabelecer um conjunto de informações para auxiliar ao projetista na escolha do tipo de linha de transmissão mais adequada a ser implantada junto aos centros urbanos.

A ênfase desta pesquisa é encontrar soluções práticas dos problemas que envolvem a geração, propagação e recepção dos sinais eletromagnéticos e ruídos.

Convém ressaltar que a presente pesquisa, por razões de delimitação de abordagem, não analisa a questão da rádio interferência provocada por outros equipamentos tais como: médicos; industriais e automotivos.

Ademais, convém ressaltar que o uso da metodologia desenvolvida neste trabalho está limitada a linhas de configurações verticais, horizontais e delta para qualquer tensão. Não é possível a aplicação a linhas em bifurcação, bem como

linhas transpostas. Para estes casos outras formulações matemáticas serão necessárias.

São inúmeros os sistemas de comunicação, incluindo radiotelescópios, instrumentos de aviação, transmissão de dados de telecomunicações, serviços públicos de comunicação como: polícia, ambulância e bombeiros e rádios amadores. Para estes casos os medidores de quase-pico utilizados para medir a RI, descritos neste trabalho, podem não ser aplicados devido aos efeitos pulsativos do ruído nas faixas de recepção em AM.

Uma ampla referência bibliográfica é fornecida com propósito de trazer ao conhecimento de todos uma quantidade melhor de informações sobre a matéria aqui apresentada.

1 ORGANIZAÇÃO DA IEC

A International Electrotechnical Commission (IEC) é um organismo mundial de normalização que prepara e publica padrões internacionais para a área elétrica, eletrônica e de tecnologia relacionada. É uma organização não-governamental internacional criada em 1906. No Brasil a IEC é representada pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

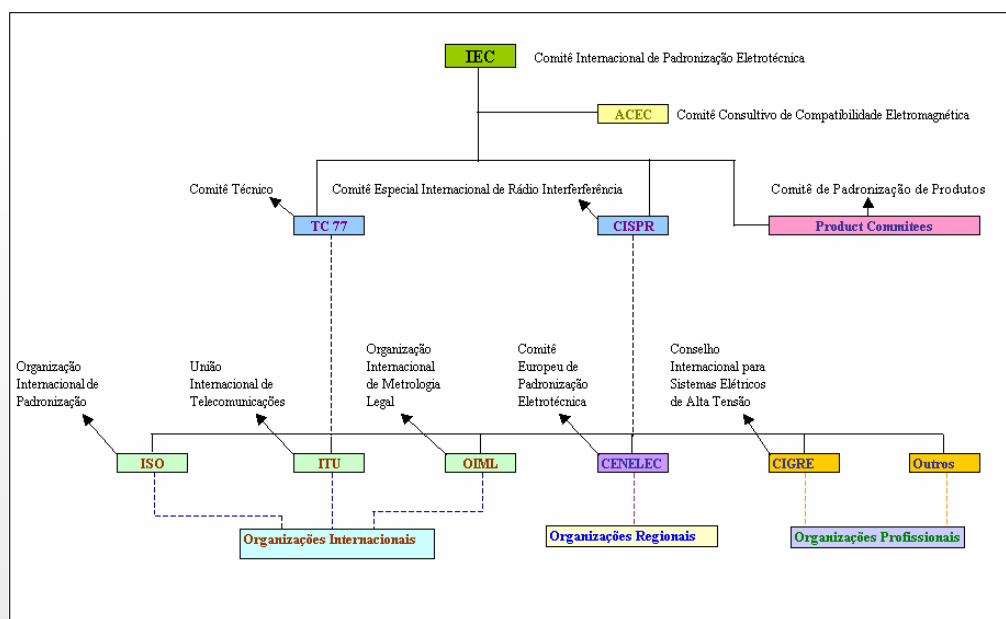


Figura 1.1 - Organização do Comitê Internacional de Padronização Eletrotécnica

2 NORMAS NACIONAIS

No Brasil o órgão responsável pela elaboração de normas sobre utilização de equipamentos eletroeletrônicos e de telecomunicações é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

As normas nacionais que tratam dos sistemas da rádio interferência proveniente das linhas de alta tensão, objeto deste trabalho, estão relacionadas abaixo.

ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações): Resolução nº 237-Regulamento para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações, Novembro 2000.

NBR 7876: Medição da Rádio Interferência na faixa de 0,15 a 30 MHz em linhas e equipamentos de alta tensão, 1983.

NBR 7875: Instrumentos de medição da rádio interferência na faixa de 0,15 a 30 MHz, 1983.

NBR 12304: Limites e métodos de medição da rádio perturbação em equipamentos de tecnologia da informação, 1992.

NBR-9890: Localização e remoção de focos de rádio interferência em linhas aéreas de alta tensão. Junho 1987.

3 NORMAS INTERNACIONAIS

As normas internacionais que regulam o uso de equipamentos eletroeletrônicos e de comunicações utilizados próximos a linhas de alta tensão e especificam métodos e recomendações a serem seguidos sobre a rádio interferência, objeto deste estudo, estão relacionadas abaixo.

IEC 437 - Radio interference test on high voltage insulators, 1973. Testes sobre rádio interferência em isoladores de alta tensão.

IEC 61.000-1-1: Eletromagnetic Compatibility (EMC) - Application and interpretation of fundamental definitions and terms, April 1992. Aplicação e interpretação de termos e definições consideradas básicas para o CEM.

IEC 61.000-6-3: 61000-6-3/PRAA: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 6 - 3: Generic Standards - Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments. Recomendações para emissão de equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados em ambientes residenciais, comerciais e industriais de pequeno porte. Set 2001.

IEC/CISPR-13: Sound and television broadcast receivers and associated equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement. Especificações sobre limites e métodos de medida de equipamentos de som, televisores e receptores de rádio. Nov.2003.

IEC/CISPR-15: Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment. Nov. 1998. Limites e métodos de medida das características de rádio perturbação dos equipamentos de iluminação e similares.

IEC/CISPR-16: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1000 MHz .Out 1999. Métodos e especificações de equipamentos de medição de perturbações de rádio e imunidade, com testes para calibração de antenas de 30 a 1000 MHz.

CISPR-1: Specification for Radio Interference Measuring Apparatus for the Frequency Range 0.15 to 30 MHz. Genova, Suíça, Rev. 2003. Especificações para equipamentos de medida de rádio interferência na faixa de 0,15 a 30 MHz.

CISPR-2: Specification for Radio Interference Measuring Apparatus for the Frequency Range 25 to 300 MHz. Genova, Suíça, 1966. Especificações para equipamentos de medida de rádio interferência na faixa de 25 a 300 MHz.

ANSI C63.022: Limits and Methods of Measurement of Radio Disturbance Characteristics of Information Technology Equipment. Out 2002. Limites e métodos de medida das características de distúrbios de rádio para equipamentos de tecnologia da informação.

VDE 0875-11: Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Radio disturbance characteristics; limits and methods of measurement (IEC/CISPR 11:1997, modified); German version EN 55011:1998. Limites e métodos de medidas das características de rádio interferência em equipamentos industriais, científicos e médicos.

VDE 0872-13: Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of broadcast receivers and associated equipment; German version EN 55013: Alemanha, 1999. Limites e métodos de medida das características de rádio interferência para receptores de rádio e equipamentos associados.

IEEE C-95. 1:1991 IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz - Description. Especificações de níveis de segurança com respeito à exposição humana dos campos eletromagnéticos da rádio interferência, 3 kHz a 300GHz, USA, 1991.

IEC 62040/ED.1: Uninterruptible compatibility (EMC) requirements (IEC Document 22B/107/CD). Requerimentos para compatibilidade eletromagnética ininterrupta. Rev. Out. 1993.

IEEE 430-197: Standard Procedures for the Measurement of Radio Noise from Overhead Lines. Procedimentos padrões para medidas de ruído de rádio proveniente de linhas aéreas. New York, USA, 1976.

ANSI C 63.2: Specifications for Radio - Noise and Field - Strength Meters 0.015 to 30 MHz. Especificações para ruídos de rádio e medidores de intensidade de campo da rádio interferência na faixa de 0.015 a 30 MHz. New York, USA, 1969.

ANSI C 63.3: Specifications for Radio - Noise and Field - Strength Meters 20 to 1000 MHz. Especificações para ruídos de rádio e medidores de intensidade de campo de RI na faixa de 20 a 1000 MHz. New York, USA, 1964.

BS EN 55011: Specification for limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment. British Standard/European Standard 15-Sep-1998. Especificações para limites e métodos de medida da rádio interferência de equipamentos industriais, científicos e médicos.

4 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Por conceito, compatibilidade eletromagnética (CEM) vem a ser a capacidade de um dispositivo, unidade de equipamento ou sistema, funcionar satisfatoriamente no meio eletromagnético sem introduzir, ele próprio, perturbações eletromagnéticas intoleráveis no ambiente.

Uma configuração CEM pode ser assegurada com certa facilidade na instalação de um sistema eletrônico, desde que cada unidade de equipamento utilizado cumpra com as normas da compatibilidade eletromagnética, as quais definem não somente os aspectos de emissão, isto é, os equipamentos atuam como fontes de perturbação eletromagnéticas, como também de imunidade, isto é, os equipamentos não são afetados por perturbações eletromagnéticas no ambiente.

Muitos organismos de normalização, tanto nacionais como internacionais, têm elaborado especificações técnicas CEM em diferentes domínios, como por exemplo, CISPR¹ no âmbito do IEC². As normas CISPR/A (16-1, 16-2, 16-3, 16-4) referem-se à rádio interferências (RI). Todas respeitam o organismo internacional de normas, denominado Organização Internacional de Normalização (ISO)³.

¹ CISPR (Comitê Internacional Special des Perturbations Radioelectriques) possui a denominação americana de **International Special Committee on Radio Interference**.

² IEC (International Electrotechnical Commission) é uma organização padrão para todas as áreas da eletrotécnica.

³ ISO (International Organization for Standardization). ISO 9000 tem se tornado uma referência internacional para qualidade dos requerimentos de gestão na comercialização de produtos.

A Comissão Europeia⁴ tornou obrigatório desde janeiro de 1996 o cumprimento da diretiva 89/336/EEC (Diretiva Europeia sobre Compatibilidade Eletromagnética)⁵ para comercialização e ou utilização de equipamentos eletroeletrônicos. Esta diretiva constitui a mais ampla e moderna abordagem em vigor. As especificações técnicas definidas pelo CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique)⁶ no âmbito do CEN (Comité Européen de Normalisation) constituem a referência mundial para CEM.

A nível Pan-Americano, a norma do COPANT (Pan American Standard Commission) normaliza toda a comercialização de equipamentos eletroeletrônicos na região das Américas, envolvendo América do Norte, América do Sul, América Central e Caribe.

Os fenômenos eletromagnéticos para os quais a Diretiva CEM vem exigir um nível de proteção adequado foram identificados pelo IEC e passaram a ser adotados pelo CENELEC, e correspondem aos seguintes fenômenos:

- Fenômenos conduzidos de baixa frequência.
- Fenômenos de campos radiados de baixa frequência.
- Fenômenos conduzidos de alta frequência.
- Fenômenos de campos radiados de alta frequência.
- Fenômenos de descargas eletrostáticas.

De uma forma geral, nos domínios do CEM comercial são englobados todos os fenômenos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de frequência de zero Hz até 400GHz, para avaliação do comportamento de equipamentos eletroeletrônicos, tanto no aspecto de emissão como de imunidade radiada e conduzida⁷.

⁴ Comissão Europeia (European Commission) é uma das instituições europeias que participa do processo de tomada de decisões da União. A Comissão Europeia foi criada para representar o interesse europeu comum a todos os Estados-Membros da União Europeia.

⁵ A Diretiva Europeia sobre Compatibilidade Eletromagnética também é denominada de Diretiva EMC.

⁶ CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) tem como missão preparar padrões eletrotécnicos que ajudam a desenvolver o Mercado Europeu e a Economia Europeia na área elétrica e eletrônica.

⁷ BARRETO, R.M.: **Influência de Linhas de Transmissão/Distribuição Em Sistemas Eletrônicos de Telecomunicações e de Automação**, Rio de Janeiro, 2004.

Desta forma, pode-se concluir que equipamentos eletrônicos que respeitam as normas CEM comerciais estão naturalmente protegidos contra as perturbações eletromagnéticas.

Outrossim, vale lembrar que para instalações específicas, como por exemplo em subestações elétricas, é de se esperar medidas de proteção complementares.

5 ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

A faixa de frequência utilizada pelos diversos equipamentos, hoje em dia comercializados para comunicação, indústria, subestações, receptores de rádio, etc, se estende de zero Hz (corrente contínua) a mais de 10 PHz (raio x). A Figura 5.1 mostra o espectro eletromagnético de frequências.

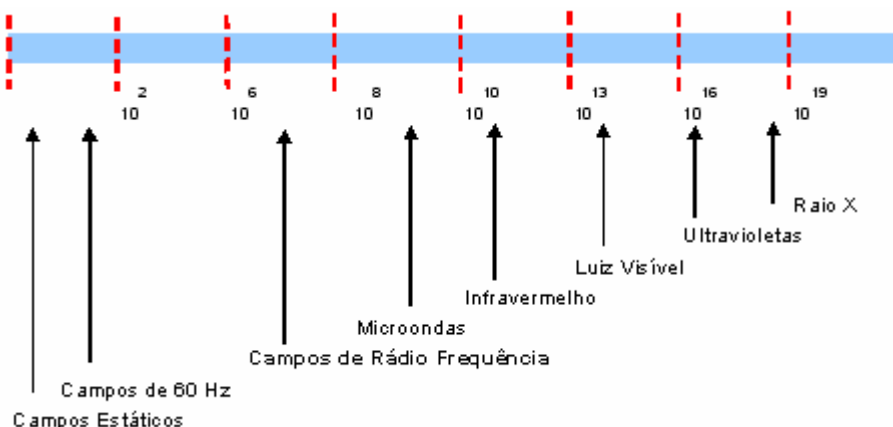


Figura 5.1 - Espectro eletromagnético de frequências

O instrumental disponível no mercado permite a medição de campos e de ondas eletromagnéticas na faixa de 5 Hz a 3GHz. Essa faixa cobre as principais tecnologias, eletroeletrônicas e de comunicação, presentes nos ambientes urbanos.

A faixa de frequência de rádio se estende de 3 kHz a 30.000 MHz.

Um guia adequado de utilização do espectro eletromagnético de frequências⁸ foi publicado pela IEEE e mostra os mais importantes aspectos de

⁸ IEEE, **Standard Procedures for the Measurement of Radio Noise from Overhead Power Lines**. New York, NY.: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1976. Std. 430-197.

medida dos ruídos de rádio em linhas de transmissão na faixa de 15 kHz a 1 GHz.

A Figura 5.2 apresenta a faixa da radiofrequência utilizada na operação de rádios na faixa AM (modulação em amplitude) e na faixa FM (modulação em frequência), telefone sem fio e telefone celular, bem como as bandas destinadas à TV (televisão) em VHF e UHF, e ainda a faixa de frequência utilizada para os fornos de microondas.

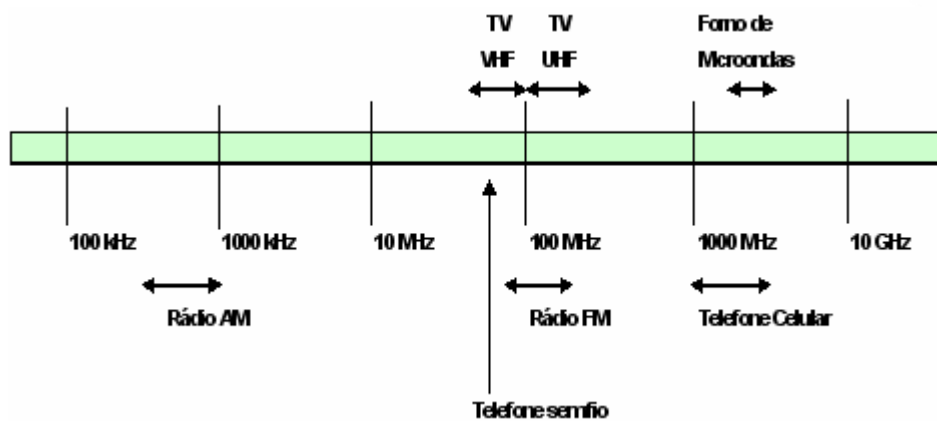


Figura 5.2 – Espectro eletromagnético da radiofrequência

Ondas de rádio é um termo arbitrariamente aplicado para as ondas eletromagnéticas na faixa de frequência de 0,001 a 10^{16} hertz.

Em termos de comprimento de onda, o limite mais baixo das ondas de rádio propagadas no espaço livre é de 3×10^{11} metros, sendo que o limite superior é de 3×10^{-8} metros.

A denominação das bandas de frequência normalmente utilizadas é apresentada na Tabela 5.1, bem como a faixa de frequência correspondente.

A luz visível está na faixa de frequências de 430 THz até 750 THz e vem a ser a luz perceptível pelos nossos olhos.

Segundo Dolukhnov⁹, é relevante notar que os limites do espectro de frequência das ondas de rádio são consideravelmente amplos. Do lado das baixas frequências, era costume fixar o limite da frequência de áudio em 10^3 hertz. A propósito, este é o limite para as frequências utilizadas por transmissores. Recentes pesquisas têm mostrado, entretanto, que alguns

⁹ Dolukhanov, M. **Propagation of Radio Waves**. Moscow, Mir Publishers. Moscou, 1971.,pp. 9-18

