

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Chaiane Cristine de Almeida

**ANÁLISE DAS EMISSÕES CONDUZIDAS UTILIZANDO
TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DE RUÍDO DE MODO COMUM E
MODO DIFERENCIAL**

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

Florianópolis
2013.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Almeida, Chaiane Cristine de
Análise das emissões conduzidas utilizando técnicas de
separação de ruído de modo comum e modo diferencial /
Chaiane Cristine de Almeida ; orientador, Adroaldo Raizer
- Florianópolis, SC, 2013.
160 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica.

Inclui referências

1. Engenharia Elétrica. 2. Compatibilidade
Eletromagnética. 3. Emissões Conduzidas. I. Raizer,
Adroaldo. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CHAIANE CRISTINE DE ALMEIDA

**ANÁLISE DAS EMISSÕES CONDUZIDAS UTILIZANDO
TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DE RUÍDO DE MODO COMUM E
MODO DIFERENCIAL**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de março de 2013.



Prof. Patrick Kuo-Peng, Dr.

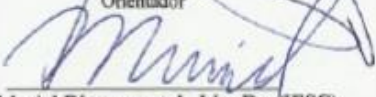
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Prof. Adroaldo Raizer, Dr. (UFSC)

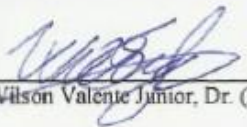
Orientador



Prof. Muriel Bittencourt de Liz, Dr. (UFSC)



Prof. Sidnei Noceti Filho, Dr. (UFSC)



Prof. Wilson Valente Junior, Dr. (UFSC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter preparado o caminho, desde a seleção realizada pelo professor Adroaldo Raizer, Dr. até a data de hoje. Sei que Deus sempre se fez presente em minha vida, me dando forças em todas as dificuldades e comemorando comigo todas as vitórias. E esta, é mais uma grandiosa vitória que dedico a Deus, a qual sem Ele eu jamais teria conseguido.

Agradeço especialmente o professor e orientador, Dr. Adroaldo Raizer, pelos ensinamentos nas aulas de compatibilidade eletromagnética, pela paciência desprendida em muitos momentos, pelas orientações de pesquisas, pelas horas dedicadas a leitura do meu trabalho e por acreditar no meu potencial. Suas sugestões foram muito úteis. Adroaldo, muito obrigada.

Agradeço a minha amiga Mariana Cardoso Fabre Albino, “Mari”, pelas orações e por estar sempre ao meu lado, apesar da distância. Sei que esta conquista é nossa, minha amiga! Valeu por tudo! Sou muito grata a Deus por ter você como amiga e irmã em Cristo!

Agradeço a você minha grande amiga Berenice da Cruz Lima, “Be”, por me apoiar e me incentivar ao longo desses três anos. Compartilhamos muitos momentos, momentos de felicidade, momentos difíceis, como estar longe de nossos familiares e amigos. Creio que Deus nos colocou no mesmo caminho para juntas chegarmos à vitória.

Um agradecimento especial para Ingrid Carolini Cezário, que sempre me apoiou nesta empreitada. Deus não coloca pessoas ao nosso lado por acaso, e você foi muito importante nesta caminhada. Obrigada pelas palavras de apoio e carinho!

Agradeço a Patrícia Schmitt, por sempre se colocar a disposição e por se fazer sempre presente. Não foi a minha segunda mãe por ser muito jovem, mas foi uma irmã. Acolheu-me com muito carinho.

Agradeço ao Mikael Pontes Fonseca por disponibilizar o seu tempo para me auxiliar nos ensaios e pela contribuição dada a esta pesquisa através da sua criatividade e habilidade com ferramentas manuais.

Aos amigos do MagLab: Evanir Raduvanski, Bruno William Wisintainer, Felipe Nyland, Raul Fernandez, Diego Moura e Wilson Valente pelo auxílio que me foi dado em muitos momentos.

Aos colegas do mestrado que contribuíram muito para o meu aprendizado através das discussões, conversas e dos grupos de estudos.

Aos professores do mestrado, um muito obrigada, pela competência que possuem em conduzir as aulas.

Aos meus pais, Rose e Luiz Paulo, e irmãos pelo apoio e pela compreensão da minha ausência em momentos especiais.

Aos meus familiares e amigos que sempre oraram por mim.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade em realizar um estudo de pós graduação em uma universidade pública de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Governo Brasileiro, pelo apoio financeiro e pelo apoio à ciência e ao desenvolvimento.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, obrigada.

“Em seu coração o homem planeja o seu caminho, mas o Senhor determina os seus passos.”
(Provérbios 16:9)

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

ANÁLISE DAS EMISSÕES CONDUZIDAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DE RUÍDO DE MODO COMUM E MODO DIFERENCIAL

Chaiane Cristine de Almeida

Março/2013

Orientador: Adroaldo Raizer, Dr.

Área de concentração: Eletromagnetismo e Dispositivos Eletromagnéticos

Palavras-chaves: compatibilidade eletromagnética, interferência eletromagnética, emissão conduzida, ruído de modo comum, ruído de modo diferencial, dispositivo separador de ruídos, filtro de EMI.

Número de páginas: 143.

RESUMO: A interferência eletromagnética é um problema no que se refere ao desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos. O ambiente doméstico, com o avanço da tecnologia, está susceptível às emissões geradas por vários equipamentos, como por exemplo, o controlador eletrônico de temperatura utilizado em chuveiros. Portanto, entende-se necessária a investigação das emissões eletromagnéticas geradas por estes equipamentos. Neste trabalho, será analisada a emissão conduzida através da utilização de um dispositivo separador de ruídos, como ferramenta de diagnóstico dos componentes de ruídos de modo comum e modo diferencial. Após determinar o modo de ruído predominante, fez-se um projeto de filtro de EMI específico para cada equipamento, como técnica corretiva, deixando-o em conformidade com a norma CISPR. Fez-se a validação dos resultados gerados pelo dispositivo separador através de cálculo analítico, conforme a literatura técnica especializada, comparando os dados. Os resultados das medições demonstram que a proposta de utilizar um dispositivo separador de ruídos pode efetivamente identificar o modo de propagação dominante das emissões conduzidas e minimizar os trabalhos e custos ao aplicar o projeto de filtro de EMI.

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

**CONDUCTED EMISSIONS ANALYSIS USING TECHNIQUES
FOR SEPARATION OF NOISE AND COMMON MODE DIF-
FERENTIAL MODE**

Chaiane Cristine de Almeida

March/2013

Advisor: Adroaldo Raizer, Dr.

Area of Concentration: Electromagnetism and Electromagnetic Devices.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, conducted emission, common mode noise, differential mode noise separator device, EMI filter design.

Number of pages: 143.

ABSTRACT: Electromagnetic interference is a problem with regard to the development of electronic products. The domestic environment, with the advancement of technology, is likely to emissions generated by various devices, such as electronic temperature controller used in showers. Therefore, it is necessary to investigate the emissions generated by these devices. In this paper, we will analyze the conducted emission by using a noise separator device, as a diagnostic tool for common mode noise and differential mode components. After determining the predominant mode noise, an EMI filter was projected for each specific equipment, a corrective technique, to let it in accordance with the standard CISPR. A validation of the results generated by the device tab was performed through analytical calculation, in order to compare the data. Measurement results show that the use of a device noise separator can effectively identify the dominant mode of propagation for conducted emissions and minimize the work and costs to implement the EMI filter project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Elementos que causam a EMI. _____	8
Figura 1.2: Emissão radiada – propagação do ruído eletromagnético (setas). _____	10
Figura 1.3: Correntes que se propagam (setas) pelos cabos dando origem a emissão conduzida. _____	11
Figura 1.4: Limites de emissão conduzida nos terminais de alimentação, conforme a norma CISPR 14-1 e de acordo com a norma CISPR 22 – classe B. _____	15
Figura 1.5: Limites de emissão conduzida, para equipamentos classe A, conforme a norma CISPR 22. _____	16
Figura 2.1: Atenuador externo de 10dB (1) e o receptor de campo eletromagnético (2) utilizado nos ensaios de emissão conduzida. _____	22
Figura 2.2: Configuração de ensaio de emissões conduzidas utilizando a rede de estabilização de impedância de linha (LISN) _____	23
Figura 2.3: Representação da LISN, conforme especificação da FCC. _____	24
Figura 2.4: Circuito equivalente da LISN visto pelo equipamento em teste na faixa de frequência de medição de emissão conduzida. _____	25
Figura 2.5: Impedância (Z) da LISN em função da frequência. _____	26
Figura 2.6: Disposição dos elementos para um ensaio de emissões conduzidas. _____	26
Figura 2.7: Fonte de ruído de modo diferencial _____	29
Figura 2.8: Fonte de ruído de modo comum – Modo I _____	30
Figura 2.9: Fonte de ruído de modo comum - Modo II _____	30
Figura 2.10: Análise dos componentes de modo comum e modo diferencial nas medições de emissão conduzida _____	31
Figura 2.11: Fluxograma do procedimento teórico para separar os ruídos de modo comum e modo diferencial. _____	34
Figura 2.12: Circuito elétrico do dispositivo separador com as contribuições de modo comum e modo diferencial das emissões conduzidas. _____	36
Figura 2.13: Fotografia do dispositivo separador de ruídos, confeccionado conforme o circuito elétrico representado na Figura 2.12. _____	37
Figura 2.14: Fluxograma do procedimento utilizado para comprovar a eficácia do dispositivo separador _____	39
Figura 2.15: Diagrama de blocos da configuração de um ensaio de emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruídos. _____	40
Figura 2.16: Configuração de um ensaio de emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruídos. _____	40

Figura 2.17: Detalhamento do uso dispositivo separador de ruídos com duas LISN em um ensaio de emissão conduzida. _____	41
Figura 3.1: Topologias de filtro monofásico para aplicação em EMC. _____	44
Figura 3.2: Aspectos e aplicações dos indutores de modo comum. _____	47
Figura 3.3: Filtros monofásicos de estágio único que fazem a filtragem de modo comum e modo diferencial de forma combinada. _____	48
Figura 3.4: Topologias de filtros monofásicos de 2 estágios. _____	49
Figura 3.5: Topologia usual para filtros de EMI. _____	51
Figura 3.6: Topologia adotada para filtros de EMI, sem o indutor de modo diferencial (L_{MD}) _____	52
Figura 3.7: Topologia do circuito equivalente para o ruído de modo comum. _____	53
Figura 3.8: Topologia do circuito equivalente para o ruído de modo diferencial. _____	53
Figura 4.1: Controlador eletrônico universal de temperatura (a); Circuito original do controlador de temperatura (b). _____	60
Figura 4.2: Circuito original do controlador eletrônico de temperatura. _____	60
Figura 4.3: Disparo do TRIAC _____	61
Figura 4.4: Controlador eletrônico de temperatura e a carga. _____	62
Figura 4.5: Foto do circuito original do reator eletrônico. _____	63
Figura 4.6: Diagrama de blocos do reator eletrônico com a carga (lâmpadas fluorescentes). _____	63
Figura 4.7: Estação de Solda – TS – 900 (a); Configuração original de fábrica (b). _____	64
Figura 4.8: Circuito original da estação de solda. _____	64
Figura 4.9: Estação de solda e a carga. _____	65
Figura 4.10: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga mínima. _____	66
Figura 4.11: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga média. _____	66
Figura 4.12: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga máxima. _____	67
Figura 4.13: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor fase. _____	68
Figura 4.14: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor neutro. _____	69

Figura 4.15: Espectro das emissões conduzidas da estação de solda, medidas na configuração original em carga mínima. _____	70
Figura 4.16: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, obtidas via programa de computador. _____	71
Figura 4.17: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, obtidas via programa de computador. _____	72
Figura 4.18: Espectro das tensões de fase e de neutro, obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador. _____	72
Figura 4.19: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo receiver. _____	73
Figura 4.20: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial do reator eletrônico, obtidas via programa de computador. _____	74
Figura 4.21: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial do reator eletrônico, obtidas via programa de computador. _____	74
Figura 4.22: Espectro das tensões de fase e de neutro – plotadas via programa de computador. _____	75
Figura 4.23: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo receiver. _____	75
Figura 4.24: Espectro das tensões de fase e de neutro, simuladas considerando a mesma magnitude. _____	76
Figura 4.25: Espectro das tensões modo comum e modo diferencial, simuladas. _____	77
Figura 4.26: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial da estação de solda, obtidas via programa de computador. _____	78
Figura 4.27: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial da estação de solda, obtidas via programa de computador. _____	78
Figura 4.28: Espectro das tensões de fase e de neutro. _____	79
Figura 4.29: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo receiver. _____	79
Figura 4.30: Espectro da tensão de modo comum do controlador eletrônico de temperatura, medidas pelo receiver utilizando o dispositivo separador de ruídos. _____	81
Figura 4.31: Espectro da tensão de modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, medidas pelo receiver utilizando o dispositivo separador de ruídos _____	81
Figura 4.32: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador. _____	82

Figura 4.33: Espectro das tensões de fase e neutro – plotadas via programa de computador. _____	83
Figura 4.34: Espectro do ruído de fundo, medido pelo receiver. ____	83
Figura 4.35: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	84
Figura 4.36: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	85
Figura 4.37: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	85
Figura 4.38: Espectro da tensão de modo comum do reator eletrônico, medida pelo receiver. _____	86
Figura 4.39: Espectro da tensão de modo diferencial do reator eletrônico, medida pelo receiver. _____	87
Figura 4.40: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador. _____	87
Figura 4.41: Espectro das tensões de fase e neutro – obtidas através dos dados do dispositivo separador. _____	88
Figura 4.42: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador. _____	89
Figura 4.43: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador. _____	89
Figura 4.44: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador. _____	90
Figura 4.45: Espectro da tensão de modo comum da estação de solda, medida pelo receiver utilizando o dispositivo separador de ruídos. __	91
Figura 4.46: Espectro da tensão de modo diferencial da estação de solda, medida pelo receiver utilizando o dispositivo separador de ruídos. __	91
Figura 4.47: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador. _____	92
Figura 4.48: Espectro das tensões de fase e neutro – plotadas via programa de computador. _____	93
Figura 4.49: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	93
Figura 4.50: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	94

Figura 4.51: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador. _____	95
Figura 4.52: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	97
Figura 4.53: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	97
Figura 4.54: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	98
Figura 4.55: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	99
Figura 4.56: Topologia adotada para filtro de EMI. _____	100
Figura 4.57: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, em carga mínima, medidas com a inserção de filtro de EMI. _____	101
Figura 4.58: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	102
Figura 4.59: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	102
Figura 4.60: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	103
Figura 4.61: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	103
Figura 4.62: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor fase após a inserção de filtro de EMI. _____	104
Figura 4.63: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor neutro após a inserção de filtro de EMI. _____	105
Figura 4.64: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	106
Figura 4.65: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	106
Figura 4.66: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum. _____	107
Figura 4.67: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. _____	107
Figura 4.68: Espectro das emissões conduzidas da estação de solda, em carga mínima, medidas com a inserção de filtro de EMI. _____	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1: Exemplos de fontes eletromagnéticas. _____	9
Tabela 1-2: Exemplos de caminhos de acoplamento eletromagnético. _	9
Tabela 1-3: Receptores eletromagnéticos. _____	9
Tabela 1-4: Limites de tensão nos terminais para uma faixa de frequência de 150kHz até 30MHz, conforme CISPR 14-1. _____	15
Tabela 2-1: Faixas de passagem conforme a norma CISPR 16. _____	21
Tabela 2-2: Comparação das características dos transformadores utilizados por [8] e nesta pesquisa. _____	37
Tabela 3-1: Capacitores tipo Y. _____	46
Tabela 3-2: Capacitores tipo X. _____	46
Tabela 4-1: Especificações do reator eletrônico. _____	62
Tabela 4-2: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para o controlador eletrônico de temperatura _____	100
Tabela 4-3: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para o reator eletrônico. _____	104
Tabela 4-4: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para a estação de solda. _____	108

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

- AC** – Corrente Alternada (do inglês - *Alternate Current*)
AM – Modulação em Amplitude (do inglês - *Amplitude Modulation*)
C – Capacitor
CE – Comunidade Europeia
CISPR - *Comité International Special des Perturbations Radioelectrique*
DC – Corrente Contínua (do inglês - *Direct Current*)
DIAC -
DPDT -
EMC – Compatibilidade Eletromagnética (do inglês - *Electromagnetic Compatibility*)
EMI – Interferência Eletromagnética (do inglês - *Electromagnetic Interference*)
EMS – Susceptibilidade Eletromagnética (do inglês - *Electromagnetic Susceptibility*)
ESE – Equipamento Sob Ensaio
EUA – Estados Unidos da América
FCC – *Federal Communications Commission*
FM – Modulação em Frequência (do inglês - *Frequency Modulation*)
GPIB – *General Purpose Interface Bus*
IEC – *International Electrotechnical Commission*
IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IF – Corrente de Fase
IMC – Corrente de Modo Comum
IMD – Corrente de Modo Diferencial
IN – Corrente de Neutro
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISM – Industrial, Científico e Industrial (do inglês - *Industrial, Scientific and Medical*)
L - Indutor
LISN – Rede de Estabilização de Impedância de Linha (do inglês - *Line Impedance Stabilization Network*)
LMC – Indutor de Modo Comum
LMD – Indutor de Modo Diferencial
MAGLAB - Laboratório de Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética
MC – Modo Comum
MD – Modo Diferencial

NASA – *National Aeronautical and Space Administration*
NBR – Norma Brasileira
PCI – Placa de Circuito Impresso
R - Resistor
RF – Rádio Frequência
SBO - Sistema Brasileiro de Certificação
SMD -
TRIAC – Tiristor Triodo Bidirecional
TV - Televisão
UHF – Frequência Ultra Alta (do inglês - *Ultra High Frequency*)
UIR – *Union International de Radiodiffusion, or International Union of Broadcasting*
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
VDE - *Verband Deutscher Electrotechniker*
VHF – Frequência Muito Alta (do inglês - *Very High Frequency*)
VF – Tensão de Fase
VMC – Tensão de Modo Comum
VMD – Tensão de Modo Diferencial
VN – Tensão de Neutro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EMC)	5
1.1. Introdução	5
1.1.1. Histórico da EMC	6
1.2. Interferência Eletromagnética (EMI)	7
1.2.1. Conceito	7
1.2.2. Emissão Radiada	10
1.2.3. Emissão Conduzida	11
1.3. Normas de Compatibilidade Eletromagnética	12
1.3.1. Limites para Emissão	13
1.4. Motivação ao Estudo das Emissões Conduzidas: Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial	16
1.5. Conclusões	18
2. EMISSÕES CONDUZIDAS	20
2.1. Introdução	20
2.2. Medições das Emissões Conduzidas	20
2.2.1. Receptor de Campos Eletromagnéticos	20
2.2.2. Rede de Estabilização da Impedância de Linha	22
2.2.3. Disposição dos Elementos em um Ensaio de Emissão Conduzida	26
2.2.4. Execução de um Ensaio de Emissões Conduzidas	27
2.3. Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial	29
2.3.1. Método Teórico de Separação das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial	33
2.3.2. Dispositivo Separador das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial	35
2.4. Conclusões	41
3. TÉCNICA CORRETIVA DE REDUÇÃO DA EMI: FILTROS	43
3.1. Introdução	43
3.2. Princípios de Operação dos Filtros	43

3.3. Tipos de Capacitores Utilizados em Filtros de EMI para Emissão Conduzida	45
3.4. Filtros para Supressão das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial	46
3.4.1. Aterramento do Filtro de EMI	50
3.5. Projetos de Filtros de EMI	51
3.6. Procedimento Prático para Projetar Filtro de EMI	53
3.6.1. Procedimentos do Projeto	54
3.7. Conclusão	56
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	58
4.1. Introdução	58
4.2. Equipamentos Sem Aterramento	59
4.2.1. Controlador Eletrônico de Temperatura	59
4.2.2. Reator Eletrônico para Lâmpada Fluorescente	62
4.3. Equipamento com Aterramento	63
4.3.1. Estação de Solda	63
Figura 4.9: Estação de solda e a carga.	65
4.4. Ensaio de Emissão Conduzida	65
4.4.1. Controlador Eletrônico de Temperatura	65
4.4.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes	67
4.4.3. Estação de Solda	69
4.5. Modelo Teórico para a Separação dos Ruídos de Modo Comum e Modo Diferencial	70
4.5.1. Controlador de Eletrônico de Temperatura	71
4.5.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes	73
4.5.3. Estação de Solda	77
4.6. Dispositivo Separador de Ruídos	80
4.6.1. Controlador Eletrônico de Temperatura	80
4.6.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes	86
4.6.3. Estação de Solda	90
4.7. Projeto de Filtro de EMI	95
4.7.1. Controlador Eletrônico de Temperatura	96
4.7.2. Reator Eletrônico para Lâmpada Fluorescente	101
4.7.3. Estação de Solda	105

4.8. Conclusões	109
<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	110
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	114

INTRODUÇÃO

A evolução da eletrônica permite o desenvolvimento de novas tecnologias em diversas áreas como informática, medicina, telecomunicação, educação, entretenimento, entre outras. Assim, novos equipamentos são inseridos com o intuito de aperfeiçoar os processos, solucionar problemas e/ou gerar uma maior comodidade para os usuários. A inserção de vários equipamentos tecnológicos de uso doméstico em um mesmo ambiente pode gerar um nível de energia eletromagnética acima do limite tolerável para o qual o equipamento foi projetado para operar. Esta condição propicia o aparecimento da Interferência Eletromagnética (EMI).

O que gera essa interferência? E o que fazer para que essa interferência não venha causar irritabilidade por parte dos usuários de equipamentos? E essa interferência pode causar danos a outros equipamentos?

Quando um equipamento elétrico e/ou eletrônico for capaz de funcionar corretamente estando no mesmo ambiente que os demais equipamentos eletrônicos e não produzir ou estar sujeito a interferências eletromagnéticas considera-se este equipamento compatível com o ambiente [1], [2], [3], [4].

Com o aumento da produção e da comercialização de equipamentos eletroeletrônicos, ocorrido a partir da década de 70, os estudos relacionados à EMI foram intensificados, concentrando suas pesquisas na área de eletrônica de consumo. O objetivo principal da maioria destes estudos está focado nos equipamentos de entretenimento, tais como, computadores pessoais, equipamentos de comunicação, equipamentos domésticos, entre outros. Após o aumento das vendas de equipamentos eletrônicos microprocessados e dos equipamentos para tecnologia da informação, na segunda metade da década de 70, a FCC passou a definir limites para emissão de radiofrequência para estes equipamentos [5].

Em cada tipo de aplicação, com o uso de aparelho elétrico ou eletrônico, a EMI é uma grande preocupação. Atualmente, as exigências de normas internacionais e até nacionais estão mais rigorosas, a fim de garantir que cada aparelho opere sem produzir perturbações eletromagnéticas significativas para o ambiente e que não seja susceptível a emissão deste ambiente.

Esta pesquisa visa à análise das emissões conduzidas que se divide em dois modos de propagação: modo comum e modo diferencial. Ambos se propagam pela linha de alimentação de um equipamento.

A inserção de filtros de EMI pode reduzir a interferência eletromagnética conduzida, deixando o equipamento em conformidade com a norma regulamentadora. No entanto, propõe-se separar os componentes da EMI medida, em modo comum e modo diferencial, para que o projeto de filtro de EMI seja bem sucedido.

A proposta deste trabalho é utilizar um dispositivo separador de ruído, conforme [6], para obter o ruído de modo comum e modo diferencial com uma metodologia diferenciada, utilizando duas redes de estabilização da impedância de linha (LISN) na configuração de ensaio, conforme especificado em [1].

O estudo, das correntes de modo comum e modo diferencial, é importante para saber qual o modo predominante na emissão conduzida de um equipamento. A análise do espectro da corrente na alimentação indica quais componentes e/ou linhas de transmissão precisam ser alterados, modificados ou se é preciso fazer a inserção de filtros. Basicamente, o problema de EMI é reduzido através da adoção estratégica de técnica de EMC [1].

Para atingir este objetivo, foi necessário realizar um levantamento bibliográfico dos métodos utilizados para a separação dos componentes de ruídos de modo comum e modo diferencial e das técnicas de redução de interferência eletromagnéticas. Logo após, realizou-se vários ensaios de emissão conduzida em equipamentos de uso doméstico para verificar os níveis de ruídos em relação aos limites da norma. Percebeu-se, nestes ensaios, que os equipamentos domésticos que possuem dispositivos de controle de temperatura são causadores de ruídos elevados, acima de 100dB. Portanto, o estudo será baseado no controlador eletrônico de temperatura, que geralmente é instalado em chuveiros comuns, por apresentar uma instalação fácil e um custo menor.

Com o propósito de entender e estudar sobre equipamentos domésticos que causam interferência eletromagnética, e como forma de contribuição ao estudo da EMC, este trabalho é composto por 4 capítulos.

O capítulo 1 expõe o conceito e o histórico da compatibilidade eletromagnética. Em seguida, apresenta-se o conceito de EMI, bem como os modos de interferência. As normas de EMC são abordadas, assim como os seus limites para EMI. Este capítulo é finalizado com a motivação ao estudo das emissões conduzidas, separando-as em modo comum e em modo diferencial.

O capítulo 2 inicia com a explanação detalhada referente às medições das emissões conduzidas, apresentando os equipamentos e os métodos utilizados nos ensaios de emissão conduzida, conforme CISPR 16-1 [7] e CISPR 16-2 [8], bem como, o receptor de campos eletromagnéticos (*receiver*) e a LISN utilizadas neste trabalho. A disposição dos elementos e a execução de um ensaio de emissão conduzida também foram abordadas. Este capítulo é encerrado com uma explanação detalhada das correntes de modo comum e modo diferencial, e também, com a apresentação das duas metodologias utilizadas para fazer a separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial: o método teórico e o dispositivo separador de ruídos.

O capítulo 3 refere-se à inserção de filtro de EMI, sendo considerado como uma técnica corretiva para a redução da EMI. Este capítulo é uma parte do estudo realizado em [9], que será abordado e aplicado na íntegra neste trabalho como forma de verificar a viabilidade do projeto de filtro de EMI, elaborado de acordo com o modo de propagação da EMI conduzida, atuando tanto nas emissões de modo comum e modo diferencial.

O capítulo 4 tem como objetivo apresentar os resultados experimentais. É possível observar a abordagem das técnicas de separação dos componentes de modo comum e modo diferencial, do projeto e da aplicação de filtro de EMI. Não há muitas técnicas para identificar o componente de propagação dominante de emissão conduzida. O estudo fará uma comparação entre duas técnicas: técnica de medição comum [9], e a técnica de medição utilizando um dispositivo separador de correntes de modo comum e modo diferencial [2].

A técnica de medição comum será denominada como modelo teórico para a separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial. Esta técnica verifica as emissões conduzidas dos condutores fase e neutro na faixa de frequência de 150 kHz até 30 MHz. Posteriormente, estes dados são inseridos em uma planilha eletrônica para fazer os cálculos e determinar as tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

Utiliza-se a técnica de medição com o dispositivo separador de ruídos para determinar, nos ensaios, as tensões de modo comum e modo diferencial sem precisar fazer cálculos.

O modelo teórico para a separação dos ruídos é conceituado e muito utilizado no meio acadêmico. Porém, requer dedicação e demanda um tempo elevado para determinar os ruídos. A inserção do dispositivo separador nos ensaios otimiza o processo de análise e facilita o projeto

de filtro. Sendo assim, aplicou-se as duas técnicas de separação em todos os equipamentos utilizados, nesta pesquisa, com o intuito de confrontar os resultados e viabilizar a utilização do dispositivo separador de ruídos.

E por fim apresentam-se os equipamentos que foram investigados, tais como, o controlador eletrônico de temperatura, o reator eletrônico e a estação de solda.

Primeiramente, o trabalho foi iniciado com a análise das emissões conduzidas, bem como dos componentes de ruídos do controlador eletrônico de temperatura. Conforme a pesquisa avançava, pensou-se em utilizar um equipamento com aterramento, com características similares ao controlador eletrônico, para fazer as mesmas análises. Devido à forma de propagação das correntes de modo comum que saem dos condutores fase e neutro e retornam pelo condutor terra, optou-se pela estação de solda. Após realizar as análises dos componentes de ruídos do controlador e da estação de solda, decidiu-se verificar o comportamento do dispositivo separador em um equipamento com funcionalidade diferente, para comprovar a sua eficácia. Optou-se em fazer as análises em um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes pela característica de não possuir aterramento, como o controlador eletrônico de temperatura.

1. A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EMC)

1.1. Introdução

Atualmente, os equipamentos eletroeletrônicos de uso doméstico estão em ascensão pela comodidade e facilidade de utilização. A larga produção destes equipamentos sem medidas de controle preocupa o universo científico e tecnológico. Através desta preocupação, este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos de EMC, os tipos de Interferência Eletromagnética (EMI) e os aspectos de normalização, tendo como ponto principal deste estudo a emissão conduzida. Os conteúdos abordados estão expostos de forma sintetizada e objetiva para facilitar a compreensão. Ao final, conclui-se com as principais normas regulamentadoras em vigor.

Um equipamento eletrônico é considerado compatível com o ambiente quando for capaz de funcionar corretamente estando no mesmo ambiente que os demais equipamentos eletrônicos e não produzir ou estar sujeito a interferências eletromagnéticas. Há três critérios que determinam se um sistema é eletromagneticamente compatível com o ambiente [2]:

1. Ele não causa interferência em outros sistemas;
2. Ele não é suscetível (é imune) as emissões de outros sistemas;
3. Ele não causa interferência nele próprio.

Antes de comercializar um equipamento eletrônico, é de suma importância realizar um projeto que atenda os critérios de compatibilidade eletromagnética.

Por definição, Compatibilidade Eletromagnética (EMC): é a capacidade dos dispositivos elétricos e eletrônicos, de sistemas ou do equipamento funcionar corretamente em um ambiente eletromagnético, respeitando a margem definida de segurança e em níveis de projeto ou desempenho, sem sofrer ou causar danos, em consequência da interferência eletromagnética [2].

1.1.1. Histórico da EMC

A compatibilidade eletromagnética começou a ser estudada durante a segunda guerra mundial na Europa, mas precisamente na Alemanha com o fórum da “*Verband Deutscher Electrotekniker*” (VDE). Neste período, a compatibilidade eletromagnética começou a ter importância nos ambientes militares, em grandes navios onde comportavam muitos equipamentos eletrônicos que precisavam funcionar corretamente, mesmo estando muito próximos e sob a influência de campos de radiofrequência [4], [10].

A partir de 1920, com o início das comunicações via rádio, começou a ocorrer interferência nos sistemas de comunicação. Em decorrência destes problemas, o congresso dos EUA decretou o ato das comunicações de 1934. Foi criada a FCC (*Federal Communications Commission*), tendo o objetivo de fiscalizar a aplicação e a administração deste ato [1].

Em Paris, no ano de 1933 foi fundada a primeira organização internacional autorizada a anunciar recomendações internacionais sobre o contexto de radio interferência, a CISPR (*Comite International Special des Perturbations Radioelectrique*). Ao iniciar as discussões sobre o tema, os representantes concordaram que primeiramente seria elaborado um documento das normas de EMC com os métodos de medição e para determinar internacionalmente os limites dos níveis de ruídos aceitáveis. A conferência fundada contribuiu para estabelecer uma comissão comum uma IEC (*International Electrotechnical Commission*) e a UIR (*Union International de Radiodiffusion*) para facilitar o desenvolvimento das recomendações. Antes da Segunda Guerra Mundial, na segunda sessão do plenário, CISPR é mantida para negociar qual a determinação dos níveis de ruídos aceitáveis e estabelecer a norma de EMC para técnicas de medições [10].

Após a Segunda Guerra Mundial, a UIR não foi convocada, e CISPR tornou-se um comitê especial do IEC. A CISPR difere de outros grupos de estudo na medida em que outras organizações internacionais participam do trabalho CISPR, com o estatuto de observador. Os esforços preliminares da CISPR de publicar um conjunto de documentos que descrevem amplamente as normas de EMI aplicáveis em equipamentos de medição e técnicas foram praticamente concluídos em 1961 [10].

Na década de 60, iniciou a padronização das técnicas, de instrumentação de medidas de emissão e imunidade eletromagnética, para aplicações não militares, pelas agências governamentais e corporações

privadas, principalmente a CISPR. Também nesta década, a NASA (*National Aeronautical and Space Administration*) contribuiu com novos programas de controle de interferência eletromagnética nos sistemas espaciais [5].

No início dos anos 70, os estudos relacionados à EMI foram intensificados devido ao aumento da comercialização de equipamentos eletrônicos, concentrando as pesquisas na eletrônica de consumo. Tendo como objetivo principal os equipamentos de entretenimento, computadores pessoais, equipamentos de comunicação, equipamentos domésticos, entre outros. Após o aumento das vendas de equipamentos eletrônicos microprocessados e dos equipamentos para tecnologia da informação, na segunda metade da década de 70, a FCC passou a definir limites para emissão de radiofrequência destes equipamentos [5].

1.2. Interferência Eletromagnética (EMI)

1.2.1. Conceito

Atualmente, vivemos em um meio que chamamos de ambiente eletromagnético. Um ambiente cercado por equipamentos e sistemas, como transmissores de rádio e televisão, radares ou antenas transmissoras de telecomunicações que irradiam energia eletromagnética de radiofrequência em sua operação normal. Em sua operação normal, sob a forma de radiações intencionais de energia eletromagnética. No dia a dia há outras formas de emitir energia eletromagnética: na utilização de aparelhos eletrodomésticos, microcomputadores, reatores para iluminação e outros. Esta forma de emissão não é uma atribuição normal de seu funcionamento, sendo classificadas como radiações não intencionais [11].

Em um ambiente doméstico é comum ocorrer interferências eletromagnéticas entre equipamentos elétricos e eletrônicos, como por exemplo, ao ligar um chuveiro com controlador eletrônico de temperatura pode ocorrer interferência na TV. Vivenciamos muitos exemplos como estes no cotidiano, faz-se necessário estudá-los com o intuito de minimizar as consequências causadas pelo funcionamento inadequado destes equipamentos.

Por conceito, Interferência Eletromagnética (EMI) é o processo pelo qual a energia de uma perturbação eletromagnética é transmitida de um dispositivo eletrônico a outro via emissão radiada ou conduzida (ou

ambas) provocando efeitos indesejáveis ao receptor. Geralmente, a EMI se refere aos sinais de radiofrequência. Estes sinais de radiofrequência (RF) são definidos por uma faixa de frequência em torno de 9kHz até 1GHz que geram energias eletromagnéticas.

Qualquer equipamento elétrico pode ser considerado como uma fonte em potencial de EMI, principalmente os equipamentos que geram sinais de RF. Estes sinais aparecem como ruído eletromagnético no ambiente. As emissões eletromagnéticas dos equipamentos elétricos não são fáceis de especificar e de classificar com precisão, porém se torna mais fácil de identificar a origem das emissões se soubermos as características dos ruídos. Até certo ponto, as classificações são arbitrárias, mas elas podem nos ajudar a compreender a emissão eletromagnética de equipamentos eletrônicos de potência. Geralmente, a característica, o índice de frequência e o modo de transmissão fornecem a base para classificar os distúrbios eletromagnéticos, mas não é atípica para categorizá-los em termos de índice de energia, de forma de onda, e outros fatores [10].

Portanto, para que ocorra a EMI é necessário haver um emissor de energia eletromagnética (fonte) que através de um caminho permita que os sinais de RF por componente de emissão radiada ou conduzida (ou de ambos) atinja um receptor [12]. A Figura 1.1, adaptada de [12], representa os três elementos que causam a EMI.



Figura 1.1: Elementos que causam a EMI.

A Tabela 1-1, adaptada de [13], exemplifica alguns elementos que podem vir a ser um emissor eletromagnético.

Os emissores podem ser classificados como fontes naturais ou artificiais de energia eletromagnética, e emitir energia de forma intencional ou não intencional [13].

FONTES ELETROMAGNÉTICAS		
Fontes Naturais	Fontes Artificiais	
	Intencionais	Não Intencionais
Descargas Atmosféricas	Emissoras de Rádio (AM/FM)	Eletrodomésticos
Descargas Eletrostáticas	Sistemas de Radar	Arcos Elétricos
Explosões Solares	Sistemas de Telecomunicações	Chaveamentos
Ruído Cósmico	Emissoras de TV (UHF/VHF)	Equipamentos Eletrônicos
Ruído de Gás	Telefones Celulares	Lâmpadas Fluorescentes
		Máquinas Industriais

Tabela 1-1: Exemplos de fontes eletromagnéticas.

A Tabela 1-2, adaptada de [13], exemplifica os caminhos de acoplamento para a energia eletromagnética. Estes podem ser classificados de acordo com a natureza do meio por onde a energia se propaga [13].

CAMINHOS DE ACOPLAMENTO	
Radiada	Conduzida
Enlace de Antenas	Cabos de interconexão
Acoplamento entre cabos	Impedância de Fonte Comum
Radiação em geral	Impedância de Terra Comum
	Linha de Alimentação
	Sistema de Distribuição de Energia

Tabela 1-2: Exemplos de caminhos de acoplamento eletromagnético.

A Tabela 1-3, adaptada de [13], apresenta alguns elementos que podem vir a ser receptores da energia eletromagnética. Assim como os emissores, estes também podem ser classificados como intencionais ou não intencionais [13].

RECEPTORES ELETROMAGNÉTICOS	
Intencionais	Não Intencionais
Antenas	Equipamentos Eletrodomésticos
Aparelhos de rádio (AM/FM)	Seres Vivos
Aparelhos de TV (VHF/UHF)	Cabos de Energia
Estações Radio-base	Componentes Eletrônicos
Sistemas de Comunicação	Equipamentos Eletrônicos
Sistemas de Radar	Máquinas Industriais
Telefones Celulares	Trilhas de Circuito Impresso

Tabela 1-3: Receptores eletromagnéticos.

Sabemos que a emissão de RF pode ser emitida por meio intencional ou não intencional, e que depende do tipo de fonte, do caminho de propagação e do receptor. Portanto, para não ocorrer a interferência eletromagnética ou para minimizá-las, sugerimos três procedimentos para prevenir a EMI [2]:

1. Suprimir ou minimizar a emissão gerada pela fonte;
2. Tornar o caminho de acoplamento o mais ineficiente possível seja este caminho pelo ar ou por condutores;
3. Tornar o receptor o menos susceptível quanto possível, à emissão gerada pela fonte.

Para solução dos problemas de EMC é importante seguir estes procedimentos que estão relacionados com os três elementos de um sistema eletrônico causadores de EMI.

1.2.2. Emissão Radiada

A radiação é a maneira com que a emissão eletromagnética é encaminhada para dentro ou para fora de um sistema pelo ar e não por meios metálicos. A emissão radiada ocorre devido a correntes que circulam pelas trilhas, cabos, terminais de semicondutores em forma de *loop* (caminho fechado) gerando campo eletromagnético com intensidade que varia de acordo com a amplitude e frequência da corrente, o comprimento das trilhas e cabos, entre outros fatores. Minimizar os ruídos decorrentes da interferência radiada também não é fácil, sendo necessário conhecer o comportamento eletromagnético dos materiais que compõem, cercam e permeiam o sistema [12].

A Figura 1.2, adaptada de [9], demonstra a emissão radiada entre sistemas.

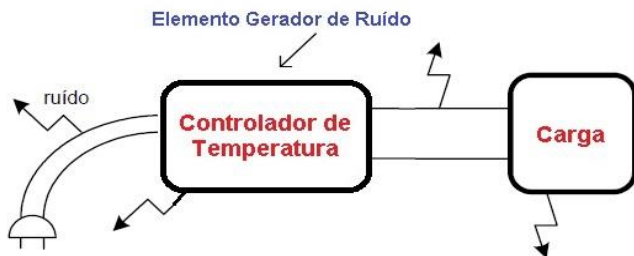


Figura 1.2: Emissão radiada – propagação do ruído eletromagnético (setas).

1.2.3. Emissão Conduzida

O ato de conduzir é a forma com que as emissões eletromagnéticas são encaminhadas para dentro ou para fora de um sistema por condutores metálicos ou elementos parasitas. Anteriormente, o ruído injetado na rede de alimentação era a maior preocupação com relação à interferência conduzida, pois a rede de alimentação atua como um caminho de propagação. Alguns equipamentos elétricos e eletrônicos, como os conversores estáticos, injetam ruído na carga que alimentam e servem de caminho para a propagação de ruído entre a rede de alimentação e a carga. A partir destas verificações e do crescente uso de equipamentos elétricos e eletrônicos, houve um aumento nas pesquisas relacionadas ao funcionamento destes equipamentos atuando como gerador, receptor e meio de transmissão de interferência eletromagnética [12].

A Figura 1.3, adaptada de [9], demonstra como ocorre a emissão conduzida:

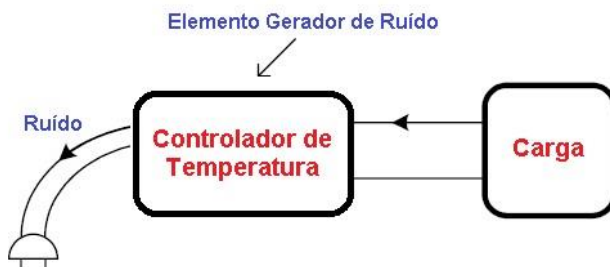


Figura 1.3: Correntes que se propagam (setas) pelos cabos dando origem a emissão conduzida.

A propagação da emissão conduzida pode ocorrer por um meio intencional, como por exemplo, através das trilhas e componentes e/ou por um meio não intencional, como capacitâncias intrínsecas de componentes e acoplamentos capacitivos e indutivos. Em consequência disto, dificulta o trabalho de minimizar os danos causados pela EMI conduzida, exigindo a necessidade de verificar todos os caminhos possíveis que a onda eletromagnética pode percorrer se propagando para dentro ou para fora de um equipamento [12].

A EMI conduzida é o ponto principal desta pesquisa, portanto será dada uma ênfase maior sobre este conteúdo, inclusive com relação às normas de EMC e seus limites.

1.3. Normas de Compatibilidade Eletromagnética

As normas em vigor, estabelecidas pelo IEC e seus comitês técnicos específicos para EMC norteiam todo o processo internacional de padronização. Elas têm como objetivo ser um abrangente conjunto de padrões de referência e de relatórios técnicos que cobrem todos os aspectos gerais relacionados ao problema de EMC. Estas normas determinam a descrição do ambiente eletromagnético, os métodos de medida, as técnicas de teste e os equipamentos de medidas [5].

Neste item, será mencionado brevemente, as normas estabelecidas pela FCC que abrangem os Estados Unidos, e pela IEC/CISPR- Comissão Eletrotécnica Internacional/Comitê Internacional Especial de Radio Interferência (*International Electrotechnical Commission/Comite International Special des Perturbations Radioelectriques*) que possui uma abrangência internacional. As normas estão em constante evolução. Portanto, é necessário que estejam sempre atualizadas.

O projeto de um sistema eletrônico precisa estar em conformidade com as normas relacionadas com a característica deste projeto. Porém, não basta o projeto estar de acordo com as normas que garantem apenas a funcionalidade deste sistema. Há necessidade deste projeto estar de acordo com requisitos adicionais, como ter compatibilidade eletromagnética com o seu ambiente. Em sistemas eletrônicos, há duas classes de normas de EMC [14]:

- Normas impostas pelas agências governamentais;
- Normas ditadas pelo fabricante do equipamento.

As normas impostas pelas agências governamentais devem ser seguidas rigorosamente. Elas têm o objetivo de controlar a susceptibilidade e a emissão produzida pelo equipamento. O equipamento estar em conformidade com as normas de EMC não garante que ele cause e/ou receba interferência eletromagnética. A normalização permite apenas controlar o nível de poluição eletromagnética que o equipamento gera e/ou recebe [14].

As normas de EMC ditadas pelo fabricante do equipamento são apenas para garantir um equipamento de qualidade e confiável, ou seja, para satisfazer o consumidor [14].

No âmbito nacional, a norma que especifica a compatibilidade eletromagnética é a NBR12304 – Limites e Métodos de Medição de Radio-Perturbação em Equipamentos de Tecnologia da Informática. Esta NBR foi editada em abril de 1992 e foi baseada na CISPR 22 [14].

A FCC é o principal órgão de fiscalização do espectro eletromagnético nos Estados Unidos, tendo como responsabilidade controlar a interferência oriunda das comunicações via rádio e cabo. Recentemente, a FCC, também, adotou os limites da CISPR [9].

A norma a ser adotada nesta pesquisa será a IEC CISPR 14-1 (Compatibilidade Eletromagnética – Requisitos para Eletrodomésticos, Ferramentas Elétricas e Dispositivos Similares – Parte 1: Emissão). Esta norma é aplicada aos distúrbios de rádio frequência por emissão conduzida e radiada de aparelhos cujas principais funções são executadas por motores, comutação ou por dispositivos reguladores, tais como: eletrodomésticos, ferramentas elétricas, controladores utilizando dispositivos reguladores semicondutores, eletromédicos, eletroeletrônicos, brinquedos eletrônicos, bem como os projetores de cinema e slides [15].

A norma IEC CISPR 16 também foi utilizada, pois a CISPR 16-1 apresenta as características e o desempenho necessários aos equipamentos destinados para medição de perturbações radioelétricas. E a CISPR 16-2 apresenta os métodos de medição destinados para medição de perturbações radioelétricas. Todas as outras normas relacionadas à EMC são referenciadas à norma IEC CISPR 16 Parte 1 e Parte 2, pois o método de ensaio e os equipamentos de medida a serem utilizados devem ter características que possibilitem garantir a repetitividade de um determinado ensaio em diferentes lugares, preservando as condições básicas necessárias para a sua realização [7], [8].

1.3.1. Limites para Emissão

As normas CISPR 16-1 e CISPR 16-2 apresentam somente as especificações e parâmetros dos equipamentos de medição, o método de ensaio, disposição dos equipamentos, amostras de ensaio e a área de ensaio. No entanto, estas normas não especificam os limites para a avaliação de conformidade. Ao verificar se um equipamento está em conformidade com as normas de EMC, deve-se recorrer à norma

específica que apresenta os limites de emissão para o equipamento, no caso desta pesquisa será a IEC CISPR 14-1.

Estes limites de emissão estabelecidos pelas normas variam de acordo com a aplicação ou o ambiente de utilização. Para determinar estes limites, a FCC divide os equipamentos em duas classes:

- Classe A: equipamentos utilizados em áreas industriais;
- Classe B: equipamentos de uso doméstico.

Os equipamentos de classe A são de uso mais restritos e aplicados em áreas industriais, com uma distância de proteção de 30 metros de forma que não comprometam o desempenho de outros equipamentos.

Os equipamentos de classe B são de uso menos restritos, aplicados a equipamentos de uso doméstico, com uma distância de proteção de apenas 10 metros. Como a utilização dos equipamentos de classe B está crescendo, é comum a sua emissão eletromagnética interferir no desempenho de outros equipamentos, pois estão no mesmo espaço físico.

Portanto, os limites de emissão entre os equipamentos de classe A e B são diferenciados, sendo que para a classe B, o limite é mais restrito ao ser comparado com a classe A. Porém, a norma a qual este trabalho está embasado, a CISPR 14-1, é específica para equipamentos eletrodomésticos não mencionando os equipamentos de uso industrial. Consequentemente, não há distinção entre equipamento de classe A e classe B, como a FCC estabelece.

É importante ressaltar que muitos eletrodomésticos não possuem o aterramento juntamente ao terminal de alimentação, esta distinção entre plugues de 2 e 3 pinos não interfere nas medições e nos limites de EMI. Este assunto será abordado mais detalhadamente no capítulo 2.

A Tabela 1-4, adaptada de [15], refere-se aos Eletrodomésticos e equipamentos que causam distúrbios semelhantes e controles aplicáveis com dispositivos semicondutores. Ela mostra os limites para os valores de quase pico e valor médio nos terminais de alimentação e nos terminais da carga (quando um equipamento é conectado a outro que atuará como carga), conforme a CISPR 14-1, capítulo 4 (Limites de Perturbação) [15].

ELETRDOMÉSTICOS E EQUIPAMENTOS QUE CAUSAM DISTÚRBIOS SEMELHANTES E CONTROLES APLICÁVEIS COM DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES				
Faixa de Frequência	Nos terminais de Alimentação		Nos terminais de carga e terminais adicionais	
1	2	3	4	5
(MHz)	dB (μ V) Quase pico	dB (μ V) Médio*	dB (μ V) Quase pico	dB (μ V) Médio*
0,15 até 0,50	Diminuindo linearmente com o logaritmo da frequência a partir de:		80	70
	66 até 56	59 até 46		
0,50 até 5	56	46	74	64
5 até 30	60	50	74	64

*Se o limite para a medição com o detector de valor médio não ultrapassar quando se utiliza um receptor com um detector de quase pico, considera-se que o equipamento em teste atendeu ambos os limites e a medição usando o receptor com um detector de valor médio não precisa ser realizada.

Tabela 1-4: Limites de tensão nos terminais para uma faixa de frequência de 150kHz até 30MHz, conforme CISPR 14-1.

Como o trabalho é voltado para a pesquisa de emissão conduzida de eletrodomésticos, a Figura 1.4 mostra estes limites em função do espectro de frequência de emissão conduzida conforme a CISPR 14-1.

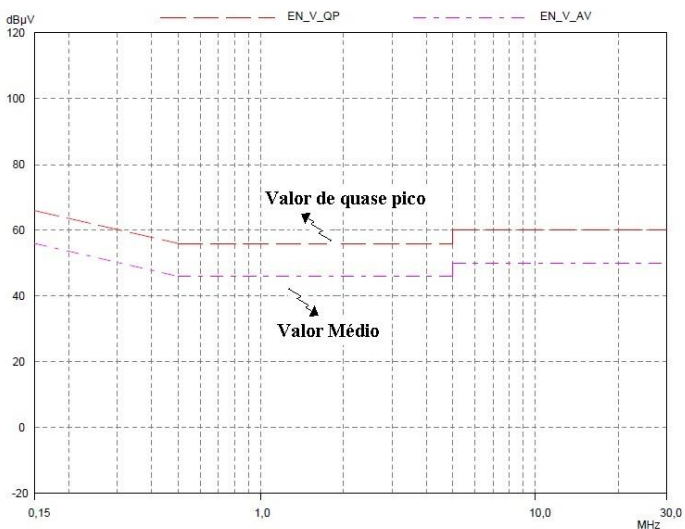


Figura 1.4: Limites de emissão conduzida nos terminais de alimentação, conforme a norma CISPR 14-1 e de acordo com a norma CISPR 22 – classe B.

Os limites mostrados na Figura 1.4 referente à norma CISPR 14-1, são os mesmos limites adotados pela norma CISPR 22 para equipamentos de classe B (uso residencial). Como exemplo tem-se as fontes chaveadas.

Portanto, para nível de conhecimento, a Figura 1.5 representa os limites de EMI em função do espectro de frequência para os equipamentos de classe A, conforme a CISPR 22.

Esta pesquisa pretende analisar a emissão conduzida gerada pelos equipamentos de uso residencial, bem como os danos causados no ambiente pela interferência eletromagnética destes produtos, principalmente do chuveiro com controlador eletrônico de temperatura, que foi o foco deste trabalho.

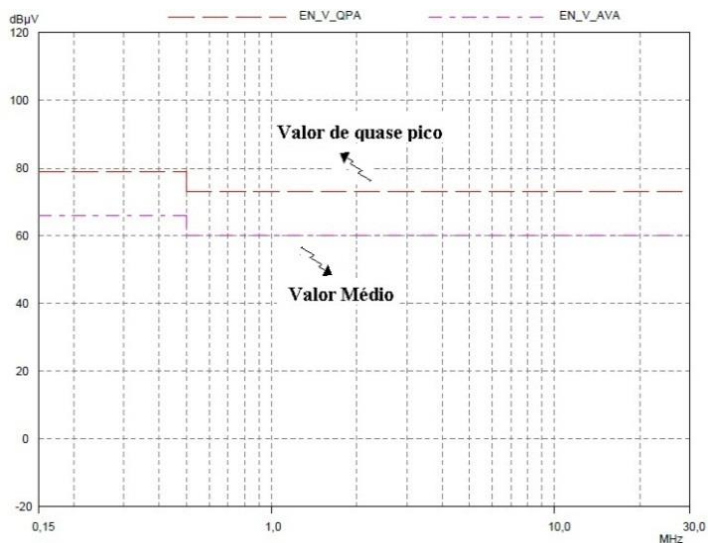


Figura 1.5: Limites de emissão conduzida, para equipamentos classe A, conforme a norma CISPR 22.

1.4. Motivação ao Estudo das Emissões Conduzidas: Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial

Nos últimos anos, os problemas causados pela interferência eletromagnética atingem um amplo espectro de frequência, o qual pode

ir desde alguns ciclos da rede de alimentação até as frequências de comunicações extremamente altas [1], [2], [10].

Os equipamentos eletrodomésticos também causam interferência eletromagnética, sendo que há uma gama muito grande destes equipamentos que são produzidos sem a devida preocupação com a EMI por parte dos fabricantes, por ainda não haver uma regulamentação normativa específica, no Brasil.

Atualmente os consumidores de equipamentos eletrodomésticos estão muito exigentes. Um exemplo comum em muitas residências é uso do chuveiro com controlador eletrônico de temperatura. Portanto, mesmo sem normalização específica, os fabricantes precisam se adaptar.

Com o aumento do desenvolvimento da tecnologia embarcada em eletrodomésticos, os problemas de EMC ficaram mais evidentes. É comum observar um equipamento interferindo no funcionamento dos demais sistemas que estão no mesmo ambiente, como exemplificado acima.

Alguns equipamentos que são destinados para controlar temperatura empregam o dispositivo TRIAC (tiristor tríodo bidirecional) em seus circuitos eletrônicos, o qual faz o chaveamento da senoide de uma fonte de geração em corrente alternada. As interferências eletromagnéticas geradas por um circuito controlador eletrônico de temperatura podem interferir na qualidade de energia e assim comprometer o funcionamento de outros equipamentos que estiverem conectados a rede de alimentação.

As influências da EMI injetada na rede de alimentação, em corrente alternada, pelo funcionamento do TRIAC precisam ser analisadas. Estes equipamentos emitem um ruído eletromagnético em alta frequência, pela variação abrupta de tensão.

O objetivo desta pesquisa é caracterizar os componentes de propagação causados pela emissão conduzida: corrente de modo comum e corrente de modo diferencial, com o intuito de identificar o componente dominante ao longo do espectro de frequência.

Como não existem muitas técnicas para identificar o componente de propagação dominante de emissão conduzida, este estudo fará uma comparação entre duas técnicas: técnica de medição comum (verificando os ruídos de fase e neutro) combinada com simulação numérica [9], denominada aqui como método teórico, e a técnica de medição utilizando um dispositivo separador de correntes de modo comum e modo diferencial combinada com simulação numérica [2].

Após identificar o componente dominante na emissão conduzida, tende a ficar menos trabalhoso minimizar as interferências, pois facilita

a identificação do percurso, provável, que a onda eletromagnética está fazendo para gerar este ruído [1], [16], [17]. Os procedimentos para determinar o componente dominante da emissão conduzida serão abordados nos próximos capítulos.

Os testes para determinar o componente dominante na emissão conduzida podem ser realizados no início do projeto, durante a fase de concepção do produto, com algumas vantagens [1]:

- Minimizar a quantidade de testes realizados em um laboratório para certificar o produtor;
- Eliminar surpresas causadas por problemas de EMC no final do projeto;
- Dados dos laboratórios de EMC indicam que 85% dos produtos submetidos aos ensaios de conformidade final, falham no primeiro teste [1]. Fazendo as medições no decorrer do projeto, com protótipos, esta estatística pode ser invertida, de modo que 85% ou mais dos produtos passem pelo primeiro teste de conformidade.

O estudo das correntes de modo comum e modo diferencial são importantes para saber qual o modo predominante na emissão conduzida de um equipamento. O espectro indica sobre quais componentes na alimentação e/ou linhas de transmissão precisam ser alterados, modificados ou fazer a inserção de filtros. Basicamente, os problemas de EMC são reduzidos [1], [18], [19].

1.5. Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os aspectos históricos e conceituais da Compatibilidade Eletromagnética, caracterizando a EMI como um dos problemas da atual conjuntura em que vivemos. Definiu-se a Interferência Eletromagnética (EMI) que pode se caracterizar de forma radiada ou conduzida. Foi informado que a pesquisa terá o seu enfoque nos componentes de propagação da emissão conduzida: nas correntes de modo comum e modo diferencial. As normas que regulam a EMC foram apresentadas, com ênfase na CISPR 14-1, que determina os

limites de emissão em relação ao espectro de frequência para os eletrodomésticos.

Estes problemas de EMC são um reflexo do crescimento da utilização de equipamentos que causam Interferência Eletromagnética (EMI) por estarem em um mesmo ambiente, focando no uso de aparelhos eletrodomésticos. O uso do TRIAC para fazer o chaveamento da corrente alternada, em eletrodomésticos, implica no aumento dos ruídos eletromagnéticos por emissão radiada ou principalmente por emissão conduzida. Devido a isto, reduz-se a eficiência energética dos sistemas de distribuição de energia.

2. EMISSÕES CONDUZIDAS

2.1. Introdução

O sistema de distribuição de energia é composto por vários condutores que são conectados em várias tomadas por onde os demais sistemas eletrônicos recebem a alimentação em corrente alternada (AC). Este sistema de distribuição, em AC, de energia pode representar um meio eficiente que propaga emissões conduzidas, podendo causar interferência em outros equipamentos eletrônicos da instalação [2], [1].

2.2. Medições das Emissões Conduzidas

A norma CISPR 16-1 [7] e 16-2 [8], estabelece as especificações e parâmetros dos equipamentos de medição, o método de ensaio, a disposição dos equipamentos, amostras de ensaio e a área de ensaio. Portanto, essa norma será adotada neste trabalho no que refere aos métodos de medição de EMI e equipamentos utilizados.

Para a realização de um ensaio de emissões conduzidas, previsto em norma técnica, é necessário utilizar um procedimento padrão, onde são transcritos os pontos da norma que serão aplicados em um ensaio específico. As normas geralmente abrangem diversos ensaios e diversas situações, como a CISPR 16-1 que normatiza os ensaios de emissão e de susceptibilidade, além de especificar o receptor de sinais e a rede artificial. Com base nesta norma, são determinados os procedimentos de execução dos ensaios de emissão e susceptibilidade. Estes procedimentos de medição têm como objetivo garantir a repetitividade de um ensaio e garantir se as medições estão ou não em conformidade com a norma.

2.2.1. Receptor de Campos Eletromagnéticos

O equipamento que efetivamente realiza as medições de emissões conduzida e radiada é o receptor de campos eletromagnéticos (EMI *Receiver*), os demais equipamentos, como a LISN, são elementos que auxiliam na medição [9].

De acordo com a norma CISPR 16, para realizar as medições o receptor de campos precisa atender as faixas de passagem conforme a Tabela 2-1 [9].

FAIXAS DE PASSAGEM DE UM RECEPTOR DE CAMPOS		
Faixa de Frequência	Faixa de Passagem	Faixa de Passagem Recomendada
9kHz – 150kHz	100Hz – 300Hz	200Hz
150kHz – 30MHz	8kHz – 10kHz	9kHz
30MHz – 1GHz	100kHz – 500kHz	120kHz

Tabela 2-1: Faixas de passagem conforme a norma CISPR 16.

É necessário utilizar três tipos de detectores em um equipamento sob ensaio (ESE), conforme especificado na CISPR 16. Os detectores empregados em medidas de emissões são: o detector de Pico (*Peak*), o detector de Quase Pico (*Quasi Peak*) e o detector de Valor Médio (*Average*) [9].

- **Detector de Pico:** Considerado o método mais simplificado para as medições de emissão conduzida. Este detector também mede o valor máximo RMS entre os sinais de ruído que ocorrem durante a largura de banda de medição. Para as medições de 9kHz a 150kHz a largura de faixa é ajustada em 200Hz e para as medições de 150kHz a 30MHz a faixa é de 10kHz.
- **Detector de Quase Pico:** Projetado para indicar um nível subjetivo de ruído eletromagnético. Portanto, quanto mais baixa a taxa de repetição do sinal a ser medido, maior será a diferença entre os valores medidos pelos detectores de pico e quase pico.
- **Detector de Valor Médio:** é basicamente um filtro de banda estreita com frequência de corte inferior a frequência da rede.

O receptor de campos pode ser conectado diretamente a uma LISN, entretanto esta forma de conexão pode danificar o receptor ou causar leituras incorretas. Os equipamentos que estão ligados na linha de alimentação CA tendem a gerar tensões transientes de nível elevado que podem danificar a entrada sensível do receptor de campos. Além disso, outros componentes, de 50/60Hz, estarão presentes em um sinal medido, podendo sobrecarregar o circuito de entrada do receptor, resultando em

uma leitura errada. Portanto, embora não seja exigido pela norma regulamentadora, é recomendado utilizar um atenuador de 10 dB externo para absorver qualquer transiente presente na linha de alimentação [1].

A Figura 2.1 mostra o atenuador externo de 10 dB conectado no receptor de campo eletromagnético utilizados nas medições.



Figura 2.1: Atenuador externo de 10dB (1) e o receptor de campo eletromagnético (2) utilizado nos ensaios de emissão conduzida.

Para realizar as medições de emissão conduzida referente a este trabalho utilizou-se um receptor de campo eletromagnético (EMI Receiver) da marca ROHDE & SCHWARTZ, ESPC de 9 kHz a 2500 MHz que encontra-se no laboratório MagLab (Laboratório de Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética).

2.2.2. Rede de Estabilização da Impedância de Linha

O objetivo do ensaio de emissão conduzida é medir as correntes de ruído que se propaga através dos condutores do equipamento que está conectado ao cabo de alimentação AC, pois as normas estabelecem os limites de ruídos provenientes da rede de alimentação.

Sabe-se que a impedância do sistema de distribuição em corrente alternada varia consideravelmente ao longo da faixa de frequência. Devido a esta grande variabilidade de impedância da rede de

alimentação, torna-se difícil a obtenção de resultados que possam ser reproduzidos nos ensaios de emissão conduzida.

Além disso, a quantidade de ruído que está presente na rede de alimentação varia de local para local. Se este ruído externo não for eliminado no momento do ensaio, irá ser adicionado nos resultados de emissão conduzida, ocasionando imprecisão nos dados obtidos.

Para obter resultados reprodutíveis e precisos, a impedância, vista por um equipamento sob ensaio (ESE) a partir de uma linha de energia em CA, teria que ser estabilizada ou fixa. É possível obter esta impedância estabilizada ao utilizar uma Rede de Estabilização da Impedância de Linha (LISN – *Line Impedance Stabilization Network*) [2], [4], [1].

Portanto, a LISN atende, principalmente, dois objetivos [2]:

- Apresentar uma impedância constante, de 50Ω , entre o condutor fase e o condutor terra e entre os condutores neutro e terra;
- Evitar que ruídos externos, oriundos da rede de alimentação, interfiram na medição.

Nas medições de emissões conduzidas é necessário isolar o equipamento em teste, para determinar as correntes de ruídos, da rede de alimentação do equipamento sob ensaio (ESE). Para tanto, é colocado entre o equipamento e a rede de alimentação do mesmo, uma rede de estabilização da impedância de linha (LISN - *Line Impedance Stabilization Network*) [12]. A Figura 2.2 representa a configuração utilizada em um ensaio de emissões conduzidas utilizando a LISN, adaptado de [20].

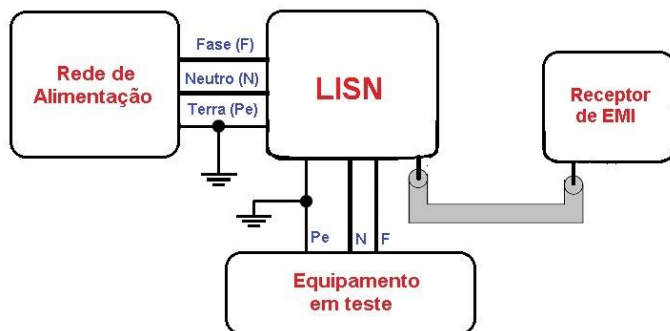


Figura 2.2: Configuração de ensaio de emissões conduzidas utilizando a rede de estabilização de impedância de linha (LISN)

Observa-se na Figura 2.2 que o equipamento está conectado na LISN, fazendo com que a energia circule primeiro pela LISN antes de chegar ao equipamento. Em decorrência disto, a LISN é chamada como uma rede artificial. As medições são realizadas pelo receptor de EMI, conectado ao terminal de saída da rede artificial.

A especificação da LISN, conforme a CISPR, para medição de emissões conduzidas é representada na Figura 2.3 [12].

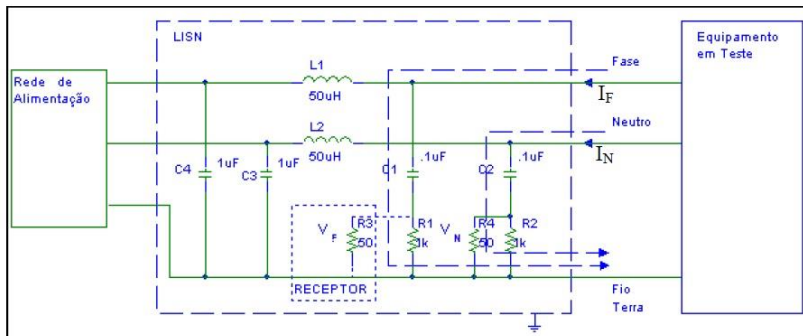


Figura 2.3: Representação da LISN, conforme especificação da FCC.

Os capacitores de $1 \mu\text{F}$ ($C3$ e $C4$), conectados nos terminais de alimentação da LISN, tem a finalidade de desviar interferências externas oriundas da rede de alimentação comercial e prevenir que estas interferências não influenciem na medição, desviando-as do equipamento em teste [12].

O resistor ($R3$) de 50Ω representa a impedância de entrada do receptor de campo, e o resistor ($R4$), também de 50Ω , tem a função de garantir que as impedâncias entre os condutores fase e terra e entre os condutores neutro e terra fiquem em torno de 50Ω . As tensões são medidas entre os condutores fase e terra (V_F – tensão de fase) e os condutores neutro e terra (V_N – tensão de neutro). Estas tensões são medidas em toda a faixa de frequência do limite de emissão conduzida estabelecido pelas normas reguladoras. As tensões de fase e neutro precisam ficar abaixo do limite especificado em cada frequência particular. Portanto, os resistores $R3$ e $R4$ devem ser intercambiados [12].

As equações 2.1a e 2.1b, respectivamente, representam a relação entre a corrente de fase (\vec{I}_F) e a corrente de neutro (\vec{I}_N) com as tensões de fase (\vec{V}_F) e de neutro (\vec{V}_N), no espectro de frequência do ensaio de

emissão conduzida. Percebe-se que os limites de emissões conduzidas são determinados pelas tensões, porém o interesse é em correntes [12].

$$\vec{V}_F = 50 \cdot \vec{I}_F \quad (2.1a)$$

$$\vec{V}_N = 50 \cdot \vec{I}_N \quad (2.1b)$$

Para o espectro da frequência de ensaio de emissão conduzida, utiliza-se um circuito equivalente da LISN que consiste de resistores de 50Ω entre condutores fase e terra e condutores neutro e terra. Este circuito equivalente da LISN é gerado porque idealmente os capacitores são considerados como um curto circuito e os indutores são considerados como um circuito aberto [12]. A Figura 2.4 representa o circuito equivalente da LISN visto pelo equipamento durante a medição de emissão conduzida [12].

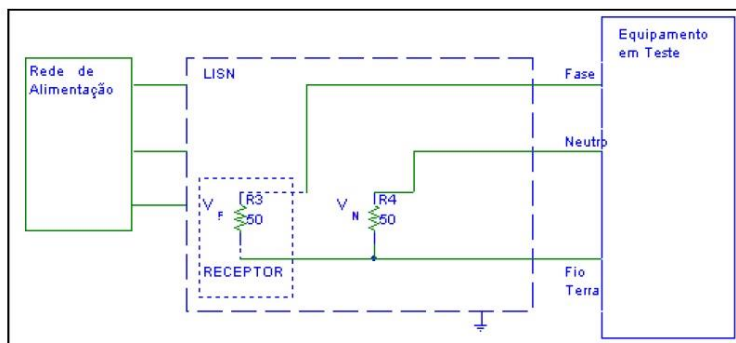


Figura 2.4: Circuito equivalente da LISN visto pelo equipamento em teste na faixa de frequência de medição de emissão conduzida.

A LISN precisa garantir um comportamento, do ponto de vista de impedância equivalente, o mais próximo possível do ideal [4], [12].

A Figura 2.5 mostra um gráfico que corresponde ao comportamento esperado da impedância (Z) da LISN em função da frequência [12].

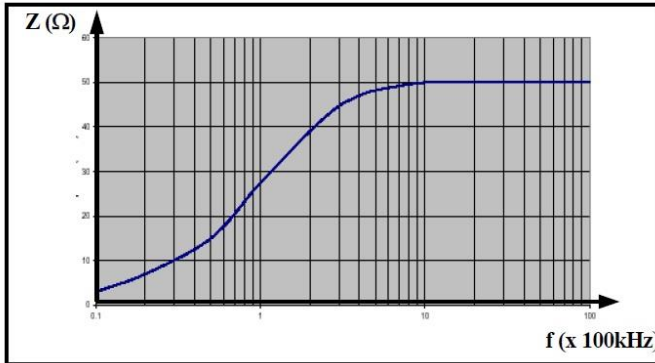


Figura 2.5: Impedância (Z) da LISN em função da frequência.

2.2.3. Disposição dos Elementos em um Ensaio de Emissão Conduzida

O ensaio de emissão conduzida deve respeitar as condições necessárias sobre os métodos de medições, especificadas na CISPR 16-2 [8], para que os resultados possam ser reproduzidos e precisos. A Figura 2.6, adaptada de [9], ilustra a montagem de um ensaio, conforme a norma, esta montagem é indicada para um equipamento com ou sem condutor terra.

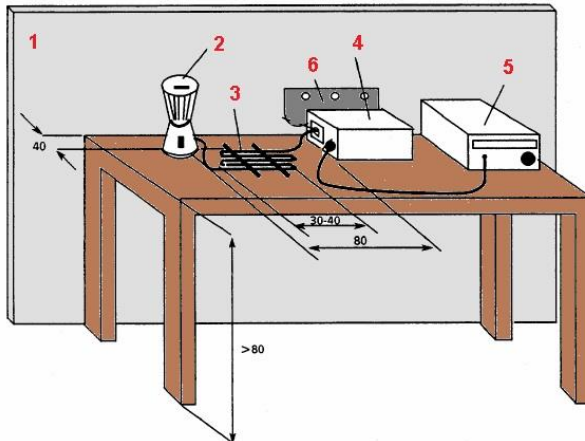


Figura 2.6: Disposição dos elementos para um ensaio de emissões conduzidas.

Os itens abaixo apresentam a descrição da disposição dos elementos em um ensaio de emissão conduzida, de acordo com a CISPR 16.

1. Plano de referência: placa metálica de material condutor (preferencialmente de alumínio, pela sua condutividade) [9], colocado na posição vertical a 40cm da mesa.
2. Equipamento sob Ensaio (ESE): colocado sobre a mesa com uma distância de 40cm do plano de referência. Todas as outras superfícies do ESE devem estar, no mínimo, a 80cm de distância de outros aparelhos ou equipamentos com superfícies metálicas.
3. Cabo de alimentação: caso possuam um comprimento maior que 80cm devem ser dobrados de maneira não indutiva (forma de serpentina) com elos entre 30-40 cm de comprimento, sem cruzar o cabo. Isto é feito com a finalidade de diminuir o acoplamento de campos eletromagnéticos no próprio cabo de alimentação.
4. LISN: o cabo de conexão entre o ESE e a LISN deve ser mantido a no mínimo 40cm do plano de referência.
5. Receptor de campo eletromagnético: a conexão entre a saída da LISN e o receptor deve ser feita com cabo blindado.
6. Conector (malha condutiva) da LISN com o plano de referência: o objetivo desta malha é diminuir ao máximo a indutância da conexão. Portanto, esta malha não pode ser substituída por um fio [9].

2.2.4. Execução de um Ensaio de Emissões Conduzidas

Com os elementos necessários para uma medição de emissões conduzidas, dispostos conforme a Figura 2.6, pode-se iniciar a execução do ensaio, conforme CISPR 16. Seguem-se os seguintes passos para a execução:

1. Ajustar a tensão para obter a tensão nominal na entrada no ESE;

2. Anotar os dados relativos à temperatura do ambiente de ensaio;
3. Manter o ESE desligado para realizar a medição do ruído existente no ambiente de ensaio (ruído de fundo);
4. Se a medição for $20\text{dB}\mu$ inferior ao limite estabelecido pela norma relacionada ao equipamento, o ensaio pode ser executado;
5. Se o valor do ruído interferente máximo presente no ambiente de ensaio for $6\text{dB}\mu$ menor que o valor limite estabelecido, este valor deverá constar no relatório para que o ensaio seja executado;
6. Se o ruído de fundo for superior aos limites citados nos itens 4 e 5, o ensaio deve ser abortado. O ruído de fundo deverá ser minimizado, para isso, pode-se inserir um filtro entre a fonte de alimentação e a LISN para atingir os limites estabelecidos;
7. Ligar o ESE para iniciar as medições, respeitando as especificações de cada faixa de frequência;
8. O período de amostragem é, no mínimo, de 15 segundos, ou seja, aproximadamente 900 períodos da frequência de rede, se esta for de 60Hz;
9. Os resultados devem ser devidamente registrados;
10. O ensaio é repetido com a tensão de alimentação igual a 0,9 e 1,1 vezes a tensão nominal para determinar o maior valor da interferência gerada pelo ESE;
11. O ensaio deve ser repetido para os limites inferior e superior de alimentação do equipamento em ensaio.

Com relação ao item 9, o receptor de campo eletromagnético é um equipamento que efetua as medições em um ensaio de emissão conduzida. Porém, o receptor somente indica dados pontuais (amplitude x frequência), desta forma ele precisa ser ajustado para operar remotamente via microcomputador. Ao utilizar um programa que faz a leitura dos dados enviados pelo receptor, um gráfico da medida como

um todo é plotado podendo ser visualizado na tela do monitor de vídeo, facilitando a interpretação dos resultados. O programa utilizado foi o ESPC-K1 fornecido pelo fabricante do receptor de EMI, a Rohde & Schwarz. A conexão entre receptor e o microcomputador é feita através de um barramento IEEE 488.1, que utiliza o GPIB (*General Purpose Interface Bus*) como protocolo de comunicação [9].

2.3. Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial

O objetivo do ensaio de emissão conduzida é medir as correntes de ruído que se propagam através dos cabos de alimentação dos equipamentos. Os ruídos conduzidos que ocorrem nos terminais de alimentação se dividem em dois tipos de propagação: correntes de modo comum e correntes de modo diferencial [2], [1].

As correntes de modo comum fluem através dos condutores fase e neutro e retornam pelo condutor de proteção, mais conhecido como terra. Estas correntes estão em fase, gerando mais ruídos em frequências elevadas. E as correntes de modo diferencial fluem através do condutor fase e retornam pelo condutor neutro. Estas correntes circulam com uma diferença de fase de 180° , gerando mais ruídos em baixa frequência [9].

As correntes de modo diferencial possuem sentidos opostos de propagação, saindo do condutor fase e retornando pelo condutor neutro. A Figura 2.7 [9], ilustra uma fonte de ruído de modo diferencial.

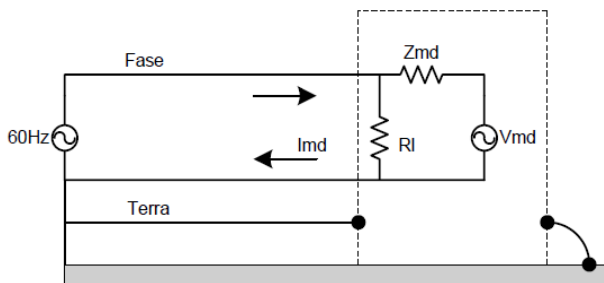


Figura 2.7: Fonte de ruído de modo diferencial

As correntes de modo comum se propagam no mesmo sentido, podendo se propagar de dois modos. No modo I, as correntes saem dos condutores fase e neutro e retornam pelo condutor de aterramento e, no modo II, as correntes saem dos condutores fase e neutro e retornam via capacitância parasita [1]. A Figura 2.8 e a Figura 2.9 ilustram uma fonte de ruído de modo comum, do modo I e II [9].

No modo I, o caminho de retorno das correntes de modo comum é através do plano de terra. Isto ocorre pelo fato da impedância do plano de terra ser muito menor do que a impedância referente à indutância do fio terra. Logo, a fonte de ruído de modo comum é referenciada à carcaça, que por sua vez está aterrada no plano de terra [9].

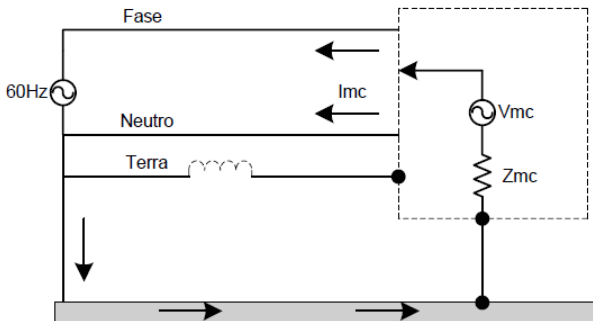


Figura 2.8: Fonte de ruído de modo comum – Modo I

No modo II, não há conexão entre a carcaça da fonte de ruído e o plano de terra. Quando a carcaça é isolada do plano de terra, uma capacitância parasita (na ordem de dezenas de pF) é gerada em série com o caminho de retorno da corrente através do plano de referência. A impedância gerada pela capacitância parasita é elevada, fazendo com que a impedância do fio terra seja menor, com isso, grande parte da corrente de retorno irá se propagar pelo fio terra [9].

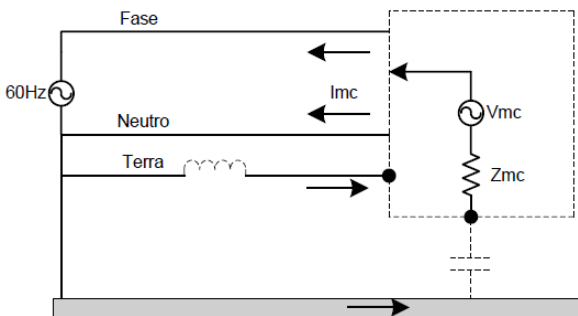


Figura 2.9: Fonte de ruído de modo comum - Modo II

Para a análise de emissões conduzidas, utiliza-se a representação simplificada da LISN como resistores de $50\ \Omega$ entre os condutores fase e

terra e entre os condutores neutro e terra, como ilustra a Figura 2.10, adaptado de [1].

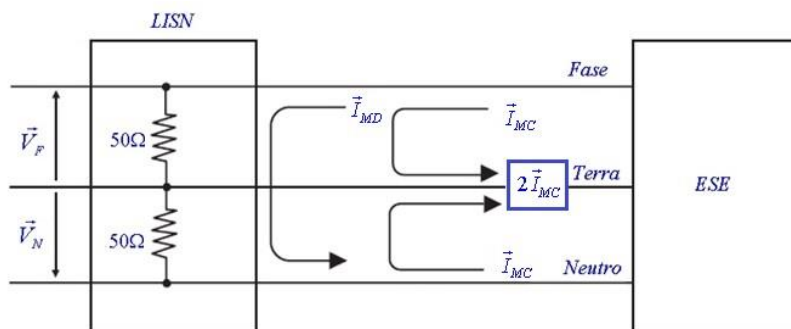


Figura 2.10: Análise dos componentes de modo comum e modo diferencial nas medições de emissão conduzida

No ensaio de emissão conduzida medem-se as tensões nos resistores de 50Ω, indicadas como \vec{V}_F e \vec{V}_N , para verificar a conformidade com as normas. Essas tensões estão relacionadas com as correntes de emissão via lei de Ohm, de acordo com 2.1. Podem-se decompor essas correntes em um componente de modo diferencial, que sai do condutor fase e retorna pelo condutor neutro, e um componente de modo comum que sai dos condutores fase e neutro e retorna pelo condutor terra [2], como ilustra a Figura 2.10. Analisando a contribuição dos componentes de modo comum e modo diferencial na medição de emissões conduzidas, tem-se:

$$\vec{I}_F = \vec{I}_{MC} + \vec{I}_{MD} \quad (2.2a)$$

$$\vec{I}_N = \vec{I}_{MC} - \vec{I}_{MD} \quad (2.2b)$$

Resolvendo, obtém-se:

$$\vec{I}_{MD} = \frac{1}{2} \cdot (\vec{I}_F - \vec{I}_N) \quad (2.3a)$$

$$\vec{I}_{MC} = \frac{1}{2} \cdot (\vec{I}_F + \vec{I}_N) \quad (2.3b)$$

As tensões medidas são:

$$\vec{V}_F = 50 \cdot (\vec{I}_{MC} + \vec{I}_{MD}) \quad (2.4a)$$

$$\vec{V}_N = 50 \cdot (\vec{I}_{MC} - \vec{I}_{MD}) \quad (2.4b)$$

É importante ressaltar que as correntes de modo diferencial originadas das emissões conduzidas não são as correntes da rede de alimentação de 60Hz [2].

Observa-se que a corrente de modo diferencial circula em sentidos opostos nos resistores de 50 Ω , enquanto que a corrente de modo comum circula no mesmo sentido, passando pelos dois resistores de 50 Ω . As contribuições devidas a cada corrente somam-se em \vec{V}_F e se subtraem em \vec{V}_N . Portanto, se as correntes de modo comum e diferencial são da mesma magnitude, as tensões medidas, nos condutores fase e neutro, não serão as mesmas. Geralmente, um componente domina o outro, de modo que as magnitudes das tensões medidas nos condutores fase e neutro são praticamente as mesmas [2]:

$$\vec{V}_F = 50 \cdot \vec{I}_{MC}, \quad \vec{I}_{MC} \square \vec{I}_{MD} \quad (2.5a)$$

$$\vec{V}_N = 50 \cdot \vec{I}_{MC}, \quad \vec{I}_{MC} \square \vec{I}_{MD} \quad (2.5b)$$

ou

$$\vec{V}_F = 50 \cdot \vec{I}_{MD}, \quad \vec{I}_{MD} \square \vec{I}_{MC} \quad (2.6a)$$

$$\vec{V}_N = -50 \cdot \vec{I}_{MD}, \quad \vec{I}_{MD} \square \vec{I}_{MC} \quad (2.6b)$$

As emissões conduzidas são medidas nos condutores fase e neutro, sendo decompostas em componentes de modo comum e modo diferencial. Portanto, a corrente total medida é a soma ou a diferença dos componentes de modo comum e de modo diferencial, como mostrado por [2]:

$$\vec{I}_{Total} = \vec{I}_{MC} \pm \vec{I}_{MD} \quad (2.7)$$

Dependendo da frequência, ao analisar as emissões conduzidas o componente do ruído de modo comum pode ser superior ou inferior comparado com o componente do ruído de modo diferencial. Se um componente é maior do que o outro componente, a corrente total é o componente dominante. Portanto, para reduzir as emissões conduzidas em uma determinada frequência, é necessário reduzir o componente dominante naquela frequência [2].

Para efetuar uma redução da emissão conduzida de uma determinada frequência, primeiramente é necessário determinar qual componente de ruído é dominante naquela frequência: o ruído de modo diferencial ou de modo comum [2].

Como o objetivo desta pesquisa é o estudo das correntes de modo comum e diferencial, serão abordadas duas formas diferentes de determinação do ruído dominante na faixa de frequência entre 150kHz e 30MHz, conforme a norma em vigor. Os componentes de modo comum e diferencial serão decompostos, primeiramente, através de um modelo teórico [2], [9] e posteriormente, utilizando um dispositivo separador [2], [1], [6]. Os resultados, entre os dois modos utilizados, serão comparados a fim de verificar o método mais viável para identificar o componente de ruído dominante em emissão conduzida.

2.3.1. Método Teórico de Separação das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial

Os procedimentos de ensaio de emissão conduzida medem apenas o ruído total, que consiste em dois componentes: a de modo comum e a de modo diferencial. Ao diagnosticar problemas de emissão conduzida, é útil fazer a distinção entre as emissões de modo comum e modo diferencial. Isso é desejável, porque alguns componentes da fonte de alimentação afetam as correntes de modo diferencial e outros componentes afetam as correntes de modo comum [1].

Sabe-se da contribuição dos componentes de modo comum e modo diferencial na medição de emissões conduzidas, conforme as equações 2.2a; 2.2b; 2.3a; 2.3b; 2.4a e 2.4b demonstradas anteriormente. Conhecendo as relações entre estas equações e de posse dos resultados das medidas de emissão conduzida realizada nos condutores fase e neutro, separadamente, pode-se manipulá-las posteriormente, via planilha eletrônica e/ou programa de computador, obtendo tanto o ruído de modo comum quanto o ruído de modo diferencial [9]. A Figura 2.11

exemplifica o passo a passo utilizado para separar teoricamente os ruídos MC e MD.

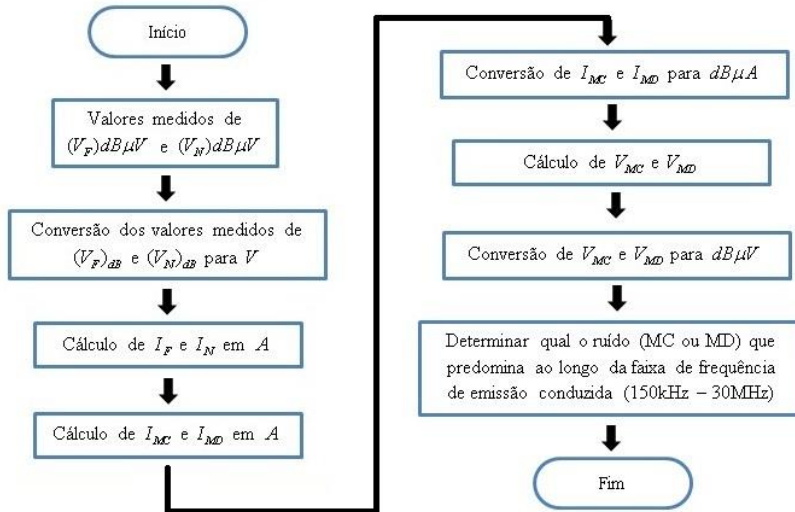


Figura 2.11: Fluxograma do procedimento teórico para separar os ruídos de modo comum e modo diferencial.

Nos ensaios de emissão conduzida, a LISN utilizada possui apenas um terminal (fase ou neutro) disponível para leitura. A mudança de um terminal para outro se realiza através de uma chave. Sendo assim, as medidas das tensões de $(V_F)_{dB\mu V}$ e de $(V_N)_{dB\mu V}$ foram feitas uma de cada vez. Essas tensões estão relacionadas com as correntes de emissão via lei de Ohm, o que possibilitou o cálculo das correntes I_F e I_N em Ampères. Através da contribuição dos componentes de modo comum e modo diferencial na medição de emissões conduzidas, pode-se calcular as correntes e as tensões de modo comum e modo diferencial. Para fazer as conversões entre $dB\mu V$ e $dB\mu A$, as grandezas de tensão (V) e corrente (A), utilizou-se um software. Para determinar o ruído (MC ou MD) que predomina ao longo da faixa de frequência de emissão conduzida (150kHz – 30MHz) utilizou-se um programa de computador, o qual plotou as curvas características com relação a faixa de frequência e as tensões e correntes de modo comum e modo diferencial. Através da análise do comportamento dos ruídos de modo comum e modo diferencial pode-se obter o ruído predominante em determinadas faixas frequências.

2.3.2. Dispositivo Separador das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial

Para reduzir as emissões conduzidas de uma forma ágil e eficaz é necessário saber qual componente é dominante, entre os componentes de modo comum e diferencial. Há uma ferramenta de diagnóstico que faz a separação das emissões conduzidas em seus componentes de modo comum e modo diferencial, em cada frequência regulamentada pela norma [2], [1], [6]. Esta ferramenta de diagnóstico será chamada de dispositivo separador de ruído.

Este dispositivo separador precisa ter três requisitos [1]:

- Adicionar e subtrair as tensões de fase (V_F) e de neutro (V_N);
- Fornecer uma impedância de 50Ω para cada uma das saídas da LISN;
- Determinar o valor exato da tensão resultante de modo comum ou modo diferencial.

Ao adicionar as tensões de fase e neutro, este dispositivo separador rejeita o ruído de modo diferencial, tornando-se uma rede de rejeição de modo diferencial. Ao subtrair as tensões de fase e neutro, torna-se uma rede de rejeição de modo comum, pois rejeita o ruído de modo comum [1].

Pode-se obter um dispositivo que faça apenas a rejeição do ruído de modo diferencial, obtendo apenas o ruído de modo comum. Neste caso é necessário fazer, primeiramente, a medida sem este dispositivo para obter a tensão total de ruído. Em seguida, o ensaio é refeito com o dispositivo de rejeição do modo diferencial. A diferença entre a tensão total e a tensão de modo comum gera a tensão de modo diferencial [1].

Para facilitar este processo optou-se pelo modo de rejeição alternável, sendo que, um dispositivo separador de ruídos separa os dois modos de ruído, modo comum e modo diferencial, utilizando uma chave seletora [2], [1], [6].

O dispositivo separador com o modo de rejeição alternável faz a adição e subtração da tensão de fase e de neutro através desta chave seletora. Diferentemente dos analisadores de espectro responsáveis pelas

medidas de ruído, que possuem uma função de diferença que apenas subtrai as magnitudes, ignorando os ângulos de fase [2].

Um dispositivo separador de ruídos com o modo de rejeição alternável é mostrado na Figura 2.12, adaptado de [2], [6], e a Figura 2.13 mostra a fotografia do dispositivo que foi confeccionado conforme o circuito elétrico apresentado na Figura 2.12.

Observa-se, na Figura 2.12 que resistências de $82\ \Omega$ são inseridas na entrada do dispositivo para que a impedância vista pela LISN seja de $50\ \Omega$. Visto que, este dispositivo faz a separação de ruídos em frequências elevadas, sendo que, nessas frequências há a necessidade de considerar a não idealidade dos componentes. Logo, utilizaram-se resistores de $82\ \Omega$ nos terminais conectados na LISN. As medições de EMI são realizadas com o dispositivo separador de ruído conectado entre o analisador de espectro e a LISN. Com a chave seletora (*switch* DPDT) do dispositivo em uma posição, o receptor de campo mostra o ruído de modo comum, rejeitando o ruído de modo diferencial. E com a chave seletora em outra posição o receptor mede o ruído de modo diferencial, rejeitando o ruído de modo comum. De posse dos dois resultados, as medidas são comparadas para determinar qual o componente de ruído é dominante em uma frequência específica [6].

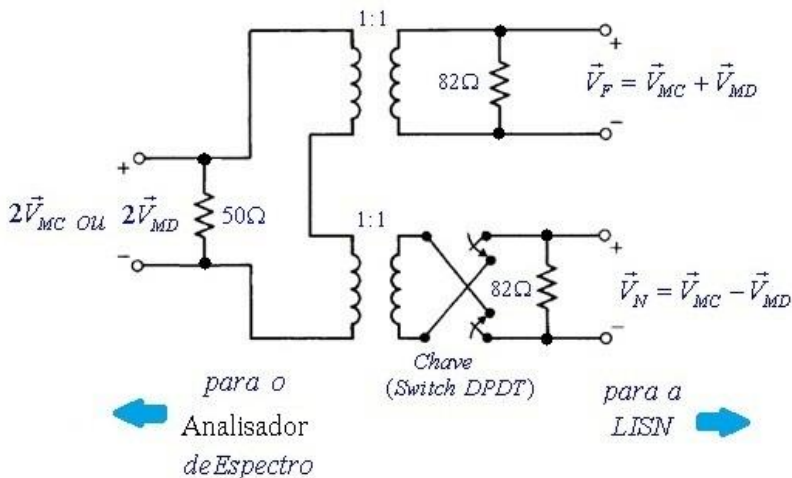


Figura 2.12: Circuito elétrico do dispositivo separador com as contribuições de modo comum e modo diferencial das emissões conduzidas.



Figura 2.13: Fotografia do dispositivo separador de ruídos, confeccionado conforme o circuito elétrico representado na Figura 2.12.

As saídas da LISN de V_F e V_N estão conectadas no dispositivo separador. Um par de transformadores de banda larga (*baluns*) com relação de transformação 1:1 é utilizado para adicionar ou subtrair (através de uma chave seletora) estas tensões.

Os transformadores utilizados na construção do dispositivo separador, para esta pesquisa, possuem características similares aos utilizados na referência [6], conforme a Tabela 2-2:

CARACTERÍSTICAS DOS TRANSFORMADORES		
Características	Transformador Especificado em [6] (Verificar Anexo A)	Transformador Utilizado nesta Pesquisa (Verificar Anexo B)
Fabricante	Vari – L Company Sirenza Microdevices	Pulse Electronics
Modelo	LF – 428	CX2062
Largura de Banda	0,01 – 50 (MHz)	0,08 – 400 (MHz)
Tipo	DC isolado 50Ω	DC isolado 50Ω
Defasamento	180°	180°

Tabela 2-2: Comparação das características dos transformadores utilizados por [6] e nesta pesquisa.

Resumindo, as tensões de saída de fase e de neutro da LISN são aplicadas no enrolamento primário dos transformadores, os secundários são ligados em série para obter a subtração dos dois ruídos e uma chave seletora muda a polaridade da tensão de neutro com o intuito de obter a adição das tensões de ruídos [1], [6].

Utilizando o dispositivo separador, conforme Figura 2.12, as tensões das emissões conduzidas medidas pela LISN são a soma e a

diferença das contribuições dos ruídos de modo comum e diferencial [2]:

$$\vec{V}_F = \vec{V}_{MC} + \vec{V}_{MD} \quad (2.8a)$$

$$\vec{V}_N = \vec{V}_{MC} - \vec{V}_{MD} \quad (2.8b)$$

A soma e a diferença de fase e neutro produzem tensões [2]:

$$\vec{V}_F + \vec{V}_N = 2\vec{V}_{MC} \quad (2.9a)$$

$$\vec{V}_F - \vec{V}_N = 2\vec{V}_{MD} \quad (2.9b)$$

Logo:

$$\vec{V}_{MC} = \frac{\vec{V}_F + \vec{V}_N}{2} \quad (2.10a)$$

$$\vec{V}_{MD} = \frac{\vec{V}_F - \vec{V}_N}{2} \quad (2.110b)$$

Este dispositivo separador não prevê a atenuação necessária de 6 dB na saída, gerando o dobro da tensão de ruído no modo comum ou no modo diferencial, conforme (2.10a) e (2.10b). Esta limitação pode ser solucionada adicionando um atenuador de 6 dB – 50 Ω , entre a saída do dispositivo separador e o receptor de campos, ou aumentar o limite do receptor de campo em 6 dB.

Como o receptor de campos possui um atenuador de 10 dB, basta fazer a correção de 4 dB [1]. Pode-se, também, manipular os resultados via planilha eletrônica para a correção de 4 dB na atenuação.

Será utilizada uma planilha eletrônica para fazer esta correção de 4 dB na atenuação. Alguns procedimentos adotados na separação teórica dos ruídos serão refeitos para comprovar a eficácia das medidas obtidas com a utilização do dispositivo separador. A Figura 2.14 exemplifica o passo a passo para determinar o ruído predominante, utilizando o dispositivo separador. Ressaltando que estes procedimentos podem ser simplificados após a comprovação da eficácia do dispositivo separador.

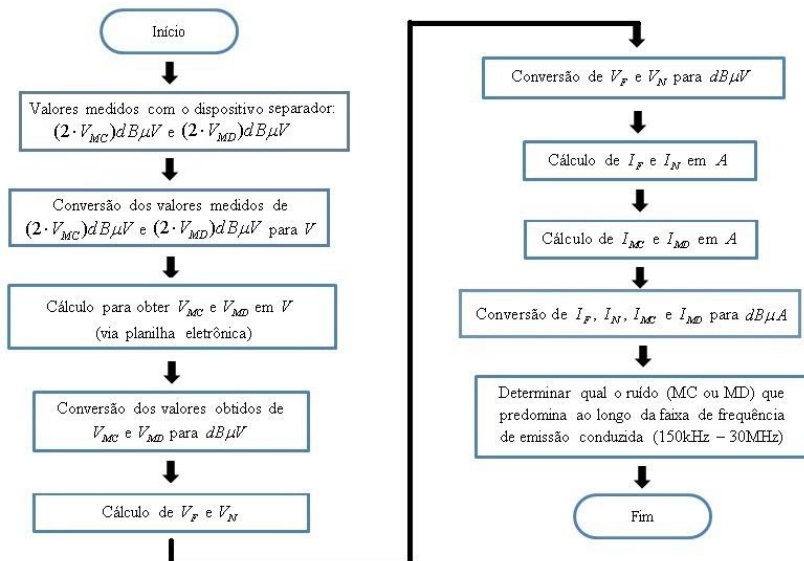


Figura 2.14: Fluxograma do procedimento utilizado para comprovar a eficácia do dispositivo separador

Utilizou-se uma planilha eletrônica para fazer todas as conversões necessárias e um programa de computador para plotar as curvas dos ruídos de modo comum e modo diferencial em relação à faixa de frequência (150 kHz – 30 MHz). Através da análise do comportamento dos ruídos MC e MD, pode-se determinar o ruído predominante ao longo desta faixa de frequência.

A eficácia do dispositivo separador pode ser comprovada mediante os resultados, expostos no capítulo 4. Após efetuar as medidas, faz-se apenas uma análise no espectro armazenado para determinar a frequência na qual o ruído MC ou MD estará predominando.

Recomenda-se utilizar uma LISN que possua acesso simultâneo aos terminais neutro e fase [6]. No entanto, para este trabalho a LISN utilizada possui apenas um terminal disponível para leitura, fase ou neutro. A escolha do terminal que se deseja fazer a medida é realizada através de uma chave seletora. Portanto, para realizar os ensaios de emissão conduzida com o dispositivo separador é necessário utilizar duas LISN, uma LISN com o terminal fase selecionado e a outra com o terminal neutro [1]. A Figura 2.15 mostra, através de diagrama de blocos, a configuração do ensaio de emissão conduzida utilizando o

dispositivo separador. E a Figura 2.16 mostra uma fotografia desta configuração.

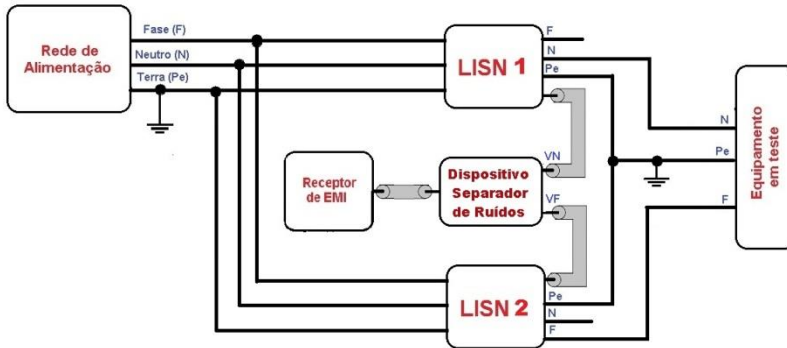


Figura 2.15: Diagrama de blocos da configuração de um ensaio de emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruídos.

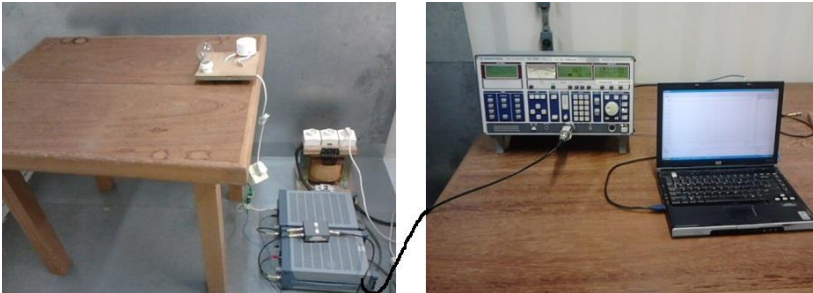


Figura 2.16: Configuração de um ensaio de emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruídos.

Pode-se observar na Figura 2.15 e na Figura 2.16 que a alimentação do equipamento em teste, que está sobre a mesa, é realizada através de duas LISN. Entre o receptor de campo e as duas LISN, tem-se o dispositivo separador de ruídos. As medidas são visualizadas pelo software que está instalado no *notebook*. A disposição dos elementos em um ensaio de emissão conduzida com o uso do dispositivo separador, também deve estar de acordo com a CISPR 16.

A Figura 2.17 mostra, detalhadamente a inserção do dispositivo separador de ruídos em um ensaio de emissão conduzida, utilizando duas LISN.



Figura 2.17: Detalhamento do uso do dispositivo separador de ruídos com duas LISN em um ensaio de emissão conduzida.

Observa-se na Figura 2.15 e na Figura 2.17 que o terminal fase de uma LISN é conectado na entrada V_F do dispositivo, e o terminal neutro da segunda LISN é conectado na entrada V_N deste dispositivo separador. A saída do dispositivo é conectada no receptor de campos. A seleção do modo de ruído a ser medido é feita através de uma chave seletora.

2.4. Conclusões

Neste capítulo, abordado sobre as emissões conduzidas, foram apresentados os equipamentos e métodos utilizados nas medições das emissões conduzidas, conforme a norma adotada - CISPR 16. Bem como sobre o processo de execução de um ensaio de emissões conduzidas.

Para verificar se um equipamento está em conformidade com as normas, em um ensaio de emissão conduzida, medem-se as tensões de fase e de neutro. Estas tensões estão relacionadas com as correntes de modo comum e modo diferencial através da Lei de Ohm. Dependendo da frequência, ao analisar as emissões conduzidas, o componente de modo comum ou o de modo diferencial poderá predominar. Portanto, para reduzir as emissões conduzidas e colocar o equipamento em

conformidade com as normas é necessário reduzir o componente dominante naquela frequência [2].

Há dois processos, descritos neste capítulo, para identificar o componente dominante em cada faixa de frequência, fazendo a separação das correntes de modo comum e modo diferencial de forma teórica, através de um modelamento matemático, ou utilizando um dispositivo separador de ruído com modo de rejeição alternável. Portanto, foi construído um dispositivo separador com as mesmas características descritas em [6] para ser utilizado nos ensaios de emissão conduzida.

Nesta pesquisa, a separação das correntes de modo comum e modo diferencial foram realizadas tanto teoricamente quanto através do dispositivo separador, com o objetivo de comparar os resultados e analisar a margem de erro para mensurar a viabilidade de inserir este dispositivo nos ensaios de emissão conduzida. Os ensaios foram realizados com o circuito original dos equipamentos e posteriormente com a inserção de filtros com o intuito de reduzir o ruído nestes circuitos. Portanto, antes de mostrar os resultados é necessário abordar no próximo capítulo sobre as técnicas corretivas de redução de ruídos causadores de EMI.

3. TÉCNICA CORRETIVA DE REDUÇÃO DA EMI: FILTROS

3.1. Introdução

A utilização da técnica corretiva para a redução da EMI, em interferência conduzida se constitui, geralmente, na inserção de filtros, compostos basicamente de indutores e capacitores.

A aplicação dos filtros é necessária quando as demais técnicas de redução de ruídos, como as técnicas preventivas (leiaute da placa de circuito impresso, disposição dos componentes, etc.), não foram suficientes para colocar os níveis de ruído eletromagnético abaixo do estipulado pelas normas regulamentadoras. Os filtros são utilizados para atenuar sinais de frequências indesejáveis, caracterizados por curvas de atenuação em função da frequência, encontrados em condutores. A inserção de filtros impede que o ruído se propague para fora ou para dentro do equipamento [9], [12].

Praticamente, não existem produtos eletrônicos que atinjam os níveis de interferência de emissão conduzida determinados pelas normas regulamentadoras, sem a utilização de algum tipo filtro [2].

3.2. Princípios de Operação dos Filtros

Os filtros operam criando uma descontinuidade na impedância “vista” por um sinal se propagando em um condutor, ou seja, o filtro gera um descasamento de impedância. Quanto maior for esta descontinuidade, maior será a atenuação. Portanto, se a impedância de um sinal indesejado for de 100Ω e for colocada uma impedância de $1 \text{ k}\Omega$ em série com ela, somente cerca de 10% do sinal chega até a impedância elevada, tendo uma atenuação de aproximadamente 20 dB. Um efeito similar pode ser criado ao se derivar o condutor de 100Ω com uma baixa impedância: 10Ω , que também vai fornecer uma impedância de atenuação de 20 dB [9].

Há várias topologias de filtros monofásicos que se aplicam a compatibilidade eletromagnética, a Figura 3.1 [9], apresenta os tipos de filtros mais utilizados na EMC.

Um determinado filtro pode funcionar adequadamente em uma aplicação e não atender as necessidades em outra, sendo necessária uma compreensão básica de como cada topologia de filtro opera [9].

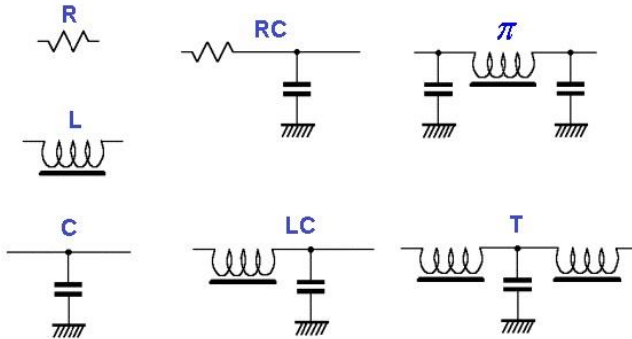


Figura 3.1: Topologias de filtro monofásico para aplicação em EMC.

As topologias de filtros mais simplificadas são do tipo “R” ou tipo “L”, que criam uma elevada impedância e são utilizados onde a impedância dos sinais indesejados é baixa. Tem-se também, o filtro simples do tipo “C” que cria uma impedância em derivação baixa e é aplicado onde a impedância do sinal indesejado é alta. Os gráficos provenientes de catálogos de fabricantes para filtros tipo “C” são raramente verificados na prática, pois eles se baseiam na integridade de radio frequência (RF) de seus aterramentos (impedância zero, idealmente, em toda a faixa de frequências), fato este que raramente se verifica.

Os resistores, eventualmente, diminuem seu desempenho em altas frequências devido à sua capacitância parasita em derivação. Os indutores também têm uma impedância parasita em derivação. Isso causa problemas de ressonância e limita sua aplicação em alta frequência. O melhor indutor para se usar em filtros de EMC são os que possuem núcleos magnéticos fechados (tais como toroides, potes, etc., e outros formatos sem entreferro), em contrapartida, eles ficam mais susceptíveis a efeitos de saturação quando se usa correntes de amplitude elevada [9].

Os capacitores possuem o problema da impedância intrínseca, mais a indutância dos terminais, estas impedâncias causam ressonâncias e limitam o seu desempenho em altas frequências. O capacitor de três terminais tem menos problemas com indutância (desde que o terminal “terra” seja muito curto) e a eliminação dos efeitos indutivos somente é conseguida com o seu uso. Este tipo de capacitor, capacitor *feedthrough* ou de três terminais, tem um excelente comportamento em altas frequências. Os capacitores *feedthrough* clássicos são soldados ou

parafusados em uma blindagem (seu terceiro terminal que é constituído pela carcaça), mas atualmente os de tecnologia SMD oferecem benefícios similares quando soldados ao plano de terra de uma placa de circuito impresso (PCI) [9].

Os filtros mais utilizados em EMC são os filtros RC porque eles não entram em ressonância com muita intensidade. Valores elevados de “R” são mais usuais (tipicamente, de 1 a 10 k Ω) com baixos valores de “C” (tipicamente $C \leq 3$ nF). A utilização mais comum para os filtros RC é onde um sinal DC ou de baixa frequência, oriundo de uma fonte com baixa impedância, entra em um circuito de alta impedância (sendo que o “R” é conectado do lado da fonte, e o “C” é conectado do lado do circuito), e nesse tipo de aplicação, eles podem prover uma grande atenuação com baixos custos [9].

Os filtros LC, nas configurações tipo T e π podem fornecer níveis maiores de atenuação com menores perdas do que filtros que utilizam resistores, por outro lado são circuitos ressonantes e são mais sensíveis às impedâncias nas quais eles estão conectados. Além disso, se o filtro for ressonante o ruído pode ser levado de volta ao circuito, fato este que não ocorre com os filtros que utilizam resistores, pois os resistores dissipam o ruído na forma de calor [9].

3.3. Tipos de Capacitores Utilizados em Filtros de EMI para Emissão Conduzida

Para a redução de interferências eletromagnéticas, há muitos modelos de capacitores, os capacitores eletrolíticos são utilizados para suprimir as emissões conduzidas [9]. No entanto, os capacitores específicos para a supressão de ruídos (Classe X ou Y) também são muito utilizados para a supressão de ruídos oriundos da rede elétrica.

Os capacitores tipo Y são colocados entre os condutores fase e terra ou neutro e terra. Estes capacitores devem ser utilizados em aplicações onde uma avaria no capacitor possa envolver perigo de choque elétrico [9].

Os capacitores tipo X são colocados entre os condutores fase e neutro, sendo utilizados em aplicações onde uma avaria no capacitor não envolva perigo de choque elétrico. [9].

A Tabela 3-1 apresenta a classificação dos capacitores tipo Y [9]:

CLASSIFICAÇÃO DOS CAPACITORES TIPO Y			
Subclasse	Tipo de Isolação	Tensão Nominal (Valores Eficazes)	Tensão de Pico
Y1	Dupla	$<250 V_{ef}$	$5000 V_{pico}$
Y2	Simple	$>150 V_{ef}$ $<250 V_{ef}$	$5000 V_{pico}$
Y3	Simple	$<150 V_{ef}$	----
Y4	Simple	$<150 V_{ef}$	$2500 V_{pico}$

Tabela 3-1: Capacitores tipo Y (Verificar Anexo D).

A Tabela 3-2 apresenta a classificação dos capacitores tipo X [9]:

CLASSIFICAÇÃO DOS CAPACITORES TIPO X			
Subclasse	Tensão de Pico	Categoria IEC	Aplicação
X1	2400 – 4000 V	III	Pulsos de amplitude elevada
X2	$<2500 V$	II	Geral
X3	$<1200 V$	I	Geral

Tabela 3-2: Capacitores tipo X (Verificar Anexo C).

Os capacitores tipo X, também denominados como capacitores de linha a linha, são inseridos entre os condutores fase e neutro para desviar as correntes de modo diferencial. Estes capacitores possuem propriedades de isolamento aprovadas pelas agências normativas [14].

Os capacitores tipo Y são inseridos entre os condutores fase e terra e entre os condutores neutro e terra para desviar as correntes de modo comum. Estes capacitores são denominados como capacitores de linha a terra [14].

3.4. Filtros para Supressão das Correntes de Modo Comum e Modo Diferencial

Filtros de alimentação contêm componentes que são destinados a reduzir as correntes de modo comum ou de modo diferencial. A decomposição das correntes totais em modo comum e componentes modo diferencial, tem-se a percepção que cada elemento da fonte de alimentação afeta um e apenas um desses componentes, é a chave para a

concepção de que a inserção de filtros seja eficaz na redução de emissões conduzidas de modo que o equipamento esteja em conformidade com a norma regulamentadora [2].

As tensões e correntes de modo comum são, na maioria, causadas por imperfeições de projeto e na construção de um equipamento. Estas imperfeições convertem uma fração dos sinais de modo diferencial em sinais de modo comum, gerando a interferência eletromagnética [9].

Quando um circuito magnético, como um toroide de ferrite, envolve apenas um condutor, ele vai atenuar todas as correntes presentes, seja de modo comum ou de modo diferencial. Mas quando um circuito magnético envolve os condutores de sinal e de retorno associados com um sinal diferencial ou circuito de potência, ele somente vai atenuar as correntes de modo comum. Os fluxos magnéticos, tanto de sinal quanto de retorno, criados pelos condutores de modo diferencial se cancelam no indutor, e assim ele não tem efeito no sinal desejado ou na energia sendo transportada. Na prática, sempre há uma indutância de dispersão, e, por consequência, uma atenuação das correntes de modo diferencial, e esse fato pode ser utilizado para obter a filtragem de modo comum e de modo diferencial usando somente um componente [9]. A Figura 3.2 mostra alguns aspectos e aplicações dos indutores de modo comum [9].

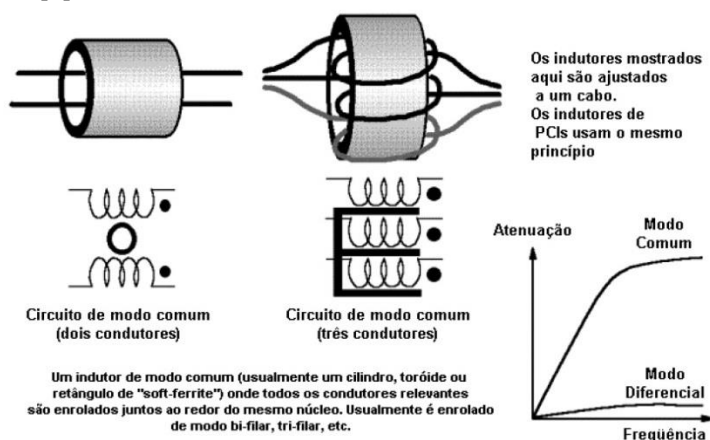


Figura 3.2: Aspectos e aplicações dos indutores de modo comum.

Os indutores de modo comum, para a compatibilidade eletromagnética, são constituídos por *soft-ferrites*. O cancelamento do fluxo de modo diferencial em indutores de modo comum (geralmente denominado de indutor balanceado, *balun* ou *common-mode choke*)

permite que se obtenha valores de indutância na ordem de milihenrys (mH) com o uso de componentes de pequenas dimensões. Os indutores de modo diferencial de mesmas dimensões são medidos em microhenrys (μH), tornando-se fisicamente maiores à medida que o valor da corrente aumenta [9].

Enrolar um conjunto de condutores várias vezes ao redor do mesmo circuito magnético aumenta a impedância de modo comum, mas não é eficaz em altas frequências porque as capacitâncias parasitas curto-circuitam o indutor. Para obter um nível de atenuação maior, em altas frequências, é recomendado cascatear vários tubos de ferrite ou toroides ao longo do cabo, sendo que cada cabo só passa uma vez por dentro das estruturas [9].

A Figura 3.3, adaptado de [9], exemplifica 2 filtros monofásicos que fazem a filtragem de modo comum e de modo diferencial de forma combinada.

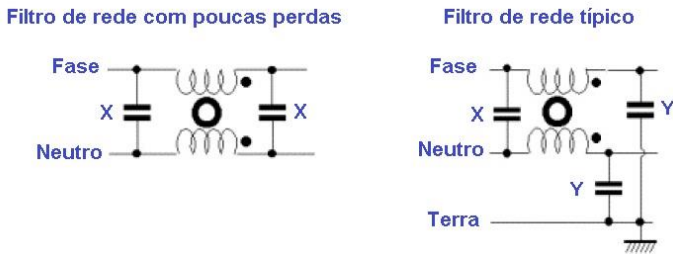


Figura 3.3: Filtros monofásicos de estágio único que fazem a filtragem de modo comum e modo diferencial de forma combinada.

Os filtros de rede usam capacitores tipo X para filtrar sinais de modo diferencial, sendo específico para o uso de linha a linha. O uso dos capacitores tipo Y é para filtrar sinais de modo comum, utilizado especificamente de linha a terra. Os catálogos de fabricantes fornecem todos os dados de filtros, no entanto, a maioria destes dados é proveniente de testes feitos com impedâncias de fonte e de carga de 50Ω , o que leva a um ponto importante: as especificações de filtros são excessivamente otimistas quando comparadas com o seu desempenho na prática [9].

Os filtros são constituídos, basicamente, por indutores e capacitores, tornando-se circuitos ressonantes, e o seu desempenho e ressonância podem depender sensivelmente de suas impedâncias da fonte e da carga [9].

Filtros com apenas um estágio, conforme a Figura 3.3 são muito sensíveis em relação às impedâncias da fonte e da carga. Estes filtros podem facilmente fornecer ganho ao invés de atenuação, quando funcionam com impedâncias da fonte e da carga diferentes de 50Ω . Esse ganho do filtro, geralmente, aumenta na região de $150 \text{ kHz} - 10 \text{ MHz}$ e pode ser tão ruim quanto 10 dB ou 20 dB . Assim, é possível que o uso de um filtro de rede possa aumentar os ruídos provenientes das emissões conduzidas [9].

Há a possibilidade de utilizar filtros mais complexos, como os filtros com dois ou mais estágios, que possuem a característica de manter um nó interno do circuito em um valor de impedância que não depende muito das impedâncias da fonte e da carga, tendo um desempenho ao qual se aproxima da situação onde as impedâncias estão casadas ($50 \Omega/50 \Omega$). Em contrapartida, eles possuem um custo mais elevado e dimensões maiores [9].

A Figura 3.4, adaptada de [9], exemplifica duas topologias de filtros de 2 estágios. Uma topologia indicada para equipamentos digitais que sofre com níveis elevados de emissões de modo comum com alta frequência e outra indicada para fonte chaveada que sofre com níveis elevados de emissões de modo diferencial com baixa frequência [9].

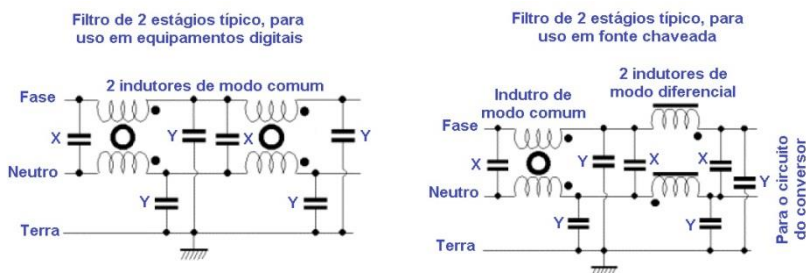


Figura 3.4: Topologias de filtros monofásicos de 2 estágios.

Sabe-se que há problemas com relação às impedâncias da fonte/carga. Para minimizar estes problemas recomenda-se utilizar somente filtros cujo fabricante especifica o desempenho tanto para modo comum (algumas vezes denominado de “assimétrico”) quanto para modo diferencial (algumas vezes denominado de “simétrico”), tanto para a situação de $50 \Omega/50 \Omega$ quanto para a situação de impedâncias descasadas. As características da situação de impedância descasada são levantadas com base na seguinte configuração: $0,1 \Omega$ de impedância da fonte e 100Ω de impedância da carga, e vice-versa,

utilizando a norma CISPR 17 que também é usada para a situação de impedâncias casadas. A combinação de todos os “piores-casos” das curvas obtidas resulta em uma especificação de filtro que é mais confiável, desde que a corrente que passa pelo filtro esteja dentro dos limites nominais e que o filtro esteja aterrado corretamente [9].

3.4.1. Aterramento do Filtro de EMI

O local mais indicado para inserir um filtro é no limiar, entre o “mundo interior” do equipamento e os cabos no seu “mundo exterior”. Para um chassi blindado, os filtros devem ter uma conexão de RF (metal a metal), sendo recomendado utilizar uma estrutura que fique fixa na carcaça. Para o caso de um chassi não blindado, o mais indicado é conectar o filtro no plano de terra da placa de circuito impresso (PCI), em uma extremidade da PCI [9].

A conexão entre os capacitores dos filtros, e o que estiver sendo usado para referência de RF, deve ser curta e direta, menor do que 1/100 de um comprimento de onda referente à maior frequência a ser atenuada, e deve ter uma indutância muito baixa, ou seja, fios não podem ser usados para o aterramento do filtro, com exceção das baixas frequências ($\cong \leq 1$ MHz) [9].

Uma regra empírica de 1 nH/mm pode ser adotada quando se calcula os efeitos das conexões ao terra. A maneira correta de conectar os filtros é ter ao menos uma (de preferência mais) conexão direta, metal a metal, do chassi do filtro à referência de terra [9].

Os equipamentos residenciais, comerciais e industriais são construídos com um baixo-custo, gerando problemas relacionados a integridade de RF da referência de terra. Os filtros mais utilizados nessas aplicações são: RC, LC, ou tipo “T” (utilizando *soft-ferrites* para os componentes indutivos) [9].

3.5. Projetos de Filtros de EMI

O projeto de filtros é uma técnica corretiva que tem o objetivo de diminuir a EMI. A inserção de filtros não pode ser realizada aleatoriamente, é necessário compreender o funcionamento do circuito, bem como, diagnosticar o modo de ruído predominante para poder projetar o filtro que terá um melhor desempenho com um custo reduzido.

Para muitos, o projeto de filtro pode parecer algo “mágico”, mas não é. Mesmo após todas as técnicas de projeto de filtros terem sido exaustivamente tentadas, ainda é necessário fazer várias tentativas para determinar o filtro que terá um melhor desempenho [9].

Sabe-se que em um ensaio de emissão conduzida, mede-se o ruído das tensões de fase e neutro. Esta tensão de ruído, medida na impedância de entrada de 50Ω de um receptor de campos é composta tanto por ruído de modo comum quanto por ruído de modo diferencial [9]. Desta forma, um componente de ruído domina o outro, de modo que as magnitudes da tensão de fase e de neutro são praticamente as mesmas [2].

Em um projeto de filtro de EMI, cada componente de ruído é tratado de uma forma específica. A Figura 3.5 mostra uma topologia usual de filtro de EMI [9], [21].

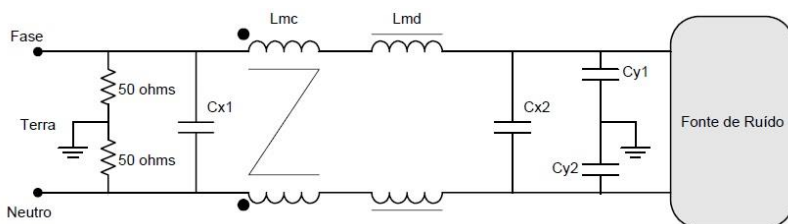


Figura 3.5: Topologia usual para filtros de EMI.

A Figura 3.5, representa a topologia de uma configuração típica para filtro de EMI. Constituída por uma seção de modo comum (L_{MC} e C_{Y1} e C_{Y2}) e por uma seção de modo diferencial (L_{MD} , C_{X1} e C_{X2}). O equipamento em teste é uma fonte de ruído EMI e as duas impedâncias de 50Ω representam as duas LISN necessárias para a medição de emissões conduzidas, através da qual o equipamento em teste é conectado à fonte de alimentação [22].

Sabe-se que a indutância de dispersão de um indutor de modo comum, do tipo núcleo de ferrite, pode ser utilizada como um indutor de modo diferencial. Portanto o uso do indutor de modo diferencial não é necessário, como mostra a Figura 3.6, adaptada de [21]. Tipicamente, o valor da indutância de dispersão ($L_{dispersão}$) fica na faixa de 0,5 - 2% do valor da indutância do indutor de modo comum [1], [21].

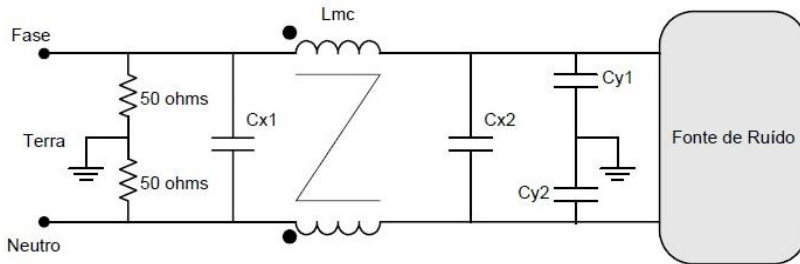


Figura 3.6: Topologia adotada para filtros de EMI, sem o indutor de modo diferencial (L_{MD})

Como os ruídos de modo comum (MC) e modo diferencial (MD) são tratados em uma seção específica do filtro de EMI, pode-se obter o circuito equivalente para a seção de MC e MD. Os circuitos equivalentes estão representados na Figura 3.7, adaptada de [21] e na Figura 3.8, adaptada de [21], respectivamente.

Na Figura 3.7 e na Figura 3.8, observa-se que alguns elementos do filtro afetam somente um modo de propagação de ruído (MD ou MC) e alguns afetam tanto o ruído de MD quanto o de MC. Os capacitores Cx1 e Cx2 afetam somente o ruído de modo diferencial, pois são denominados como capacitores de linha a linha. Um indutor de modo comum ideal L_{mc} afeta somente o ruído de MC, mas a indutância de dispersão ($L_{dispersão}$) entre os dois enrolamentos de L_{mc} afeta o ruído de MD. O capacitor Cy, também denominado como capacitor de linha terra, reduz tanto o ruído de MC quanto o de MD, mas seu efeito no ruído de MD é atenuado devido ao elevado valor de capacitância de Cx2 (em relação à Cy) [1], [9], [21].

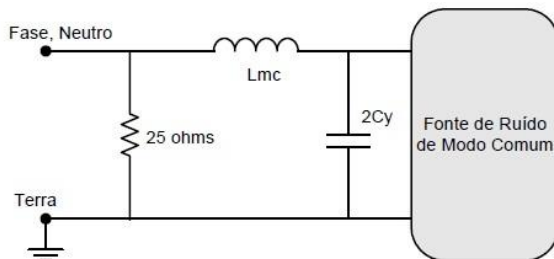


Figura 3.7: Topologia do circuito equivalente para o ruído de modo comum.

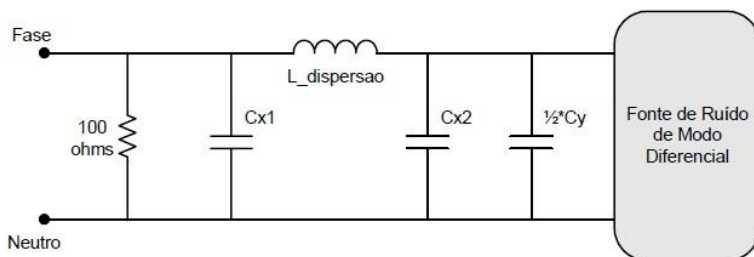


Figura 3.8: Topologia do circuito equivalente para o ruído de modo diferencial.

3.6. Procedimento Prático para Projetar Filtro de EMI

Projetar um filtro de EMI é algo complexo. Iniciar um projeto de filtro por um procedimento prático é mais viável, sendo que, é muito difícil obter um projeto de filtro de EMI analiticamente. Este procedimento prático é baseado nas seguintes situações [9], [21], [23]:

1. Obter os dados das emissões conduzidas medidas nos condutores fase e neutro, sem o filtro de EMI. O Dispositivo Separador de ruído, mencionado anteriormente, também será utilizado para obter os níveis de ruídos de modo comum e modo diferencial;
2. Dimensionar e arranjar adequadamente os elementos do filtro para que a impedância da fonte de alimentação não afete a atenuação do filtro.

3. Fazer o projeto do filtro com o objetivo de colocar a parte de baixa frequência em conformidade com a norma. Após o projeto e construção do filtro, tratam-se os problemas relacionados à alta frequência. Uma vez que, na fase de projeto, é muito difícil prever o desempenho do filtro em alta frequência.

3.6.1. Procedimentos do Projeto

Para desenvolver e aplicar o projeto de filtro de EMI, nesta pesquisa, utilizou-se como base a referência [9]:

1º Passo: Fazer a medição da EMI conduzida do equipamento em teste e separá-la em componentes de ruído de modo comum $(V_{MC})_{dB\mu V}$ e ruído de modo diferencial $(V_{MD})_{dB\mu V}$.

2º Passo: Determinar a atenuação necessária para o ruído de modo comum $(V_{a_MC})_{dB\mu V}$ e para o ruído de modo diferencial $(V_{a_MD})_{dB\mu V}$, através das equações (3.1) e (3.2):

$$(V_{a_MC})_{dB} = (V_{MC})_{dB} - (V_{limite})_{dB} + 3dB \quad (3.1)$$

$$(V_{a_MD})_{dB} = (V_{MD})_{dB} - (V_{limite})_{dB} + 3dB \quad (3.2)$$

Onde $(V_{MC})_{dB}$ e $(V_{MD})_{dB}$ são obtidos no 1º Passo e $(V_{limite})_{dB}$ é o limite para emissões conduzidas, especificado pela CISPR. O valor de "+ 3dB" é utilizado como fator de segurança.

3º Passo: Determinar a frequência de corte. A frequência de corte para o ruído de modo comum, f_{c_MC} , pode ser obtida ao traçar uma reta com inclinação de 40 dB/dec que seja tangente à curva de atenuação $(V_{a_MC})_{dB}$ obtida no 2º Passo. A frequência de corte de modo comum é determinada pelo ponto no qual a reta interceptar a linha horizontal [21].

A frequência de corte do ruído de modo diferencial, f_{c_MD} , é obtida da mesma maneira, sendo que a reta a ser traçada será tangente à curva $(V_{a_MD})_{dB}$ [9], [21].

4º Passo: Determinar os valores dos componentes:

a) Componentes de modo comum L_{MC} e C_y :

Devido a requisitos das normas de segurança, a corrente de fuga (I_C) para o terra é limitada a 250 μA nas normas mais restritivas e a 5 mA nas mais liberais. Adotando o valor da corrente de fuga mais restritivo, calcula-se o valor máximo de C_y :

$$C_y \geq \frac{I_C}{2\pi f \cdot V_C} \quad (3.3)$$

Devido a restrições de segurança (corrente de fuga), C_y fica limitado em $3,3nF$ para operação em 60 Hz. L_{MC} e $2 \cdot C_y$ devem ter uma frequência ressonante dada por f_{r_MC} , obtida no 3º Passo [21].

Portanto:

$$L_{MC} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{c_MC}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot C_y} \quad (3.4)$$

b) Componentes de modo diferencial - $L_{dispersão}$, C_{X1} e C_{X2} :

A indutância de dispersão ($L_{dispersão}$) de L_{MC} pode ser utilizada como indutor de modo diferencial. Desta forma, projeta-se o indutor de modo comum, mede-se em seguida a indutância de dispersão e utiliza-se este valor para o cálculo do valor de capacitância de C_X .

Os capacitores C_{X1} e C_{X2} possuem o mesmo valor C_{MD} e são relacionados com o valor de $L_{MD} = L_{dispersão}$ através da frequência de corte f_{r_MD} [21]:

$$C_{X1} = C_{X2} = C_{MD} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{c_MD}} \right)^2 \cdot \frac{1}{L_{dispersão}} \quad (3.5)$$

3.7. Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a utilização de filtros como técnica para reduzir a EMI conduzida. Tais filtros são constituídos por capacitores e indutores. Foi abordado sobre os princípios de operação e demonstrado algumas topologias de filtros, focando na operação dos filtros monofásicos.

Para uma melhor compreensão comentou-se sobre os filtros para supressão de correntes de modo comum e modo diferencial, sendo apresentada a topologia de filtro mais usual, utilizando capacitores de linha a linha (tipo C_X) e capacitores de linha a terra (tipo C_Y).

Finaliza-se com um enfoque em projeto de filtro de EMI, conforme [11], que foi aplicado nos circuitos dos equipamentos utilizados nos ensaios. Destaca-se ainda que, a aplicação dos filtros é necessária quando as demais técnicas de redução de ruídos, como as técnicas preventivas (leiaute da placa de circuito impresso, disposição dos componentes, etc.), não são suficientes para colocar os níveis de interferência abaixo do estipulado pelas normas técnicas.

Sabe-se que o estudo das emissões conduzidas tem o intuito de verificar os modos de propagação via cabo de alimentação, em equipamentos que possuem ou não o aterramento. Logo, tanto a propagação de modo comum quanto a de modo diferencial contribuem para o ruído total medido. Portanto, faz-se necessário identificar o modo de ruído predominante em cada faixa de frequência para projetar o filtro mais adequado [22], [24], [25].

Destaca-se que o objetivo desta pesquisa é determinar os modos de propagação de ruído utilizando um dispositivo separador de ruído, com base nas referências [1], [6], [2], [4]. Para verificar a viabilidade deste dispositivo, a separação dos ruídos de MC e MD, também serão efetuadas via modelamento matemático, conforme especificado no capítulo 2. Depois de obter os ruídos de modo comum e modo

diferencial, será feito o projeto do filtro para aplicar nos equipamentos ensaiados.

Portanto, no próximo capítulo serão apresentados os equipamentos utilizados nos ensaios e os resultados obtidos com esta pesquisa.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1. Introdução

O estudo das correntes de modo comum e modo diferencial facilita a compreensão dos efeitos associados à geração e propagação da emissão conduzida. Neste capítulo serão apresentadas as medições de ruído conduzido realizados em equipamentos destinados para uso doméstico.

Sabe-se que as correntes de modo comum saem pelos condutores fase e neutro e retornam pelo condutor terra e as correntes de modo diferencial saem pelo condutor fase e retornam pelo neutro. Com isto em mente, decidiu-se utilizar equipamentos com e sem aterramento, para verificar o modo de propagação das correntes. Afinal, mesmo hoje em dia muitos equipamentos ainda são comercializados sem aterramento e muitas instalações elétricas residenciais não possuem aterramento.

Para a investigação das correntes de modo comum e modo diferencial, a partir de um equipamento comercializado sem aterramento, utilizou-se um controlador eletrônico de temperatura e um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes. Para análise das correntes, a partir de um equipamento comercializado com aterramento, utilizou-se uma estação de solda. Destaca-se que, o objetivo principal desta pesquisa é a análise das emissões conduzidas no controlador eletrônico de temperatura. Fez-se uso da estação de solda, por possuir aterramento e um funcionamento similar ao controlador de temperatura, para não descaracterizar o produto comercializado.

Considera-se de suma importância a análise das emissões conduzidas no reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes com o intuito de comprovar a eficácia do dispositivo separador. Este equipamento não possui aterramento e tem princípio de funcionamento que difere do controlador de temperatura.

Como o objetivo deste trabalho é facilitar o diagnóstico do nível de propagação dos componentes de ruído de modo comum e modo diferencial, através de um dispositivo separador [6], os equipamentos foram submetidos aos ensaios de emissão conduzida para averiguar os níveis de ruídos de modo comum e modo diferencial.

Os ensaios de emissão conduzida foram realizados em duas etapas:

1. Configuração original do circuito

- Medidas de V_F e V_N , para aplicar o modelo teórico de separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial;
- Medidas de V_{MC} e V_{MD} , utilizando o dispositivo separador de ruídos de modo comum e modo diferencial.

2. Aplicação de filtro de EMI

- Projeto do filtro de EMI, utilizando os dados do dispositivo separador;
- Medidas das emissões conduzidas com o uso do filtro de EMI para verificar a viabilidade de fazer um projeto de filtro de EMI.

O controlador eletrônico de temperatura e o reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes, utilizados nos ensaios, foram adquiridos em uma loja de materiais elétricos. A estação de solda, utilizada nos ensaios, foi cedida pelos estudantes de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina.

4.2. Equipamentos Sem Aterramento

4.2.1. Controlador Eletrônico de Temperatura

O controlador eletrônico universal de temperatura, 220V-8000W/127V-5500W, pode ser utilizado em aquecedor d'água, torneira elétrica, chuveiro e ducha, instalando-o em série com os mesmos.

A Figura 4.1 mostra o controlador eletrônico de temperatura com as características originais de fábrica.



Figura 4.1: Controlador eletrônico universal de temperatura (a); Circuito original do controlador de temperatura (b).

Na Figura 4.1 (b) observa-se o potenciômetro, os resistores, o DIAC e os capacitores, o TRIAC e os cabos de alimentação. A Figura 4.2 mostra o circuito original do controlador eletrônico de temperatura utilizado nos ensaios de EMI conduzida. A lâmpada, colocada em série com a fonte de alimentação, representa a carga.

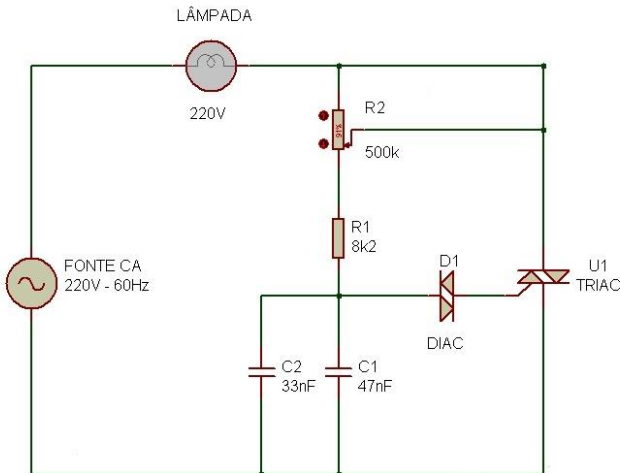


Figura 4.2: Circuito original do controlador eletrônico de temperatura.

Na Figura 4.2, os capacitores C_1 e C_2 são carregados (no semiciclo positivo e no semiciclo negativo) através do potenciômetro de

controle R_2 e da resistência R_1 . Quando a tensão de C_{eq} , dos capacitores C_1 e C_2 , for igual a tensão de disparo (*breakover*) o DIAC dispara, descarregando os capacitores C_1 e C_2 . O *gate* do TRIAC é disparado pelo DIAC, gerando um ângulo de disparo tanto com tensão positiva quanto com tensão negativa, conforme Figura 4.3 [26]. Após o disparo no *gate*, o TRIAC conduz até a corrente alternada mudar de sentido, quando isto ocorre, é necessário outro pulso no *gate* [26].

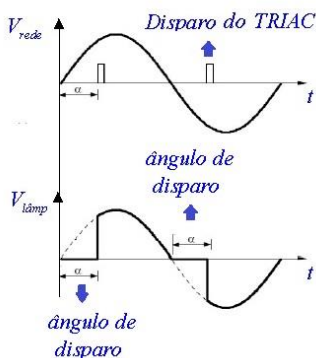


Figura 4.3: Disparo do TRIAC

O circuito eletrônico do equipamento é similar ao circuito de um *dimmer*, que faz o controle da luminosidade de lâmpadas incandescentes. Um *dimmer* regula o fluxo de potência para uma carga resistiva, como uma lâmpada incandescente, permitindo que apenas uma parcela da corrente em um ciclo de 60 Hz chegue na carga.

Por sua vez, o controlador eletrônico de temperatura tem este mesmo princípio de funcionamento, mas com o objetivo de controlar a temperatura da água de um chuveiro, torneira elétrica ou de outro equipamento de característica resistiva.

Para realizar os ensaios de emissão conduzida no controlador eletrônico de temperatura, utilizou-se uma lâmpada como carga no lugar da resistência do chuveiro, como pode ser visto na Figura 4.4.



Figura 4.4: Controlador eletrônico de temperatura e a carga.

4.2.2. Reator Eletrônico para Lâmpada Fluorescente

O Reator eletrônico para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W é utilizado em larga escala de aplicações. Ele é empregado em residências, prédios comerciais, escolas, hospitais e em instalações industriais. A Tabela 4-1 apresenta as especificações do equipamento utilizado neste trabalho.

REATOR ELETRÔNICO PARA DUAS LÂMPADAS FLUORESCENTES DE 40 W – TUBULAR	
Parâmetros	Valor
Tensão de Alimentação (Vca)	127/220
Corrente Solicitada da Rede (A)	0,628/0,347
Potência Máxima (W)	79/76
Fator de Potência	0,98
Frequência de Saída (kHz)	31/36

Tabela 4-1: Especificações do reator eletrônico.

A EMI conduzida, basicamente, é gerada através da operação do estágio inversor do reator eletrônico, onde a maior velocidade de acionamento (maiores dv/dt e di/dt) da chave semicondutora do estágio de correção do fator de potência contribui para o aumento dos níveis de emissão. O ruído gerado pelo chaveamento se propaga através de correntes de modo comum e modo diferencial para fora da estrutura, implicando na sua circulação através da rede de alimentação.

A Figura 4.5 mostra a foto do circuito original do reator eletrônico utilizado nos ensaios de emissão conduzida.



Figura 4.5: Foto do circuito original do reator eletrônico.

A Figura 4.6 mostra o diagrama de blocos do reator eletrônico com a carga.



Figura 4.6: Diagrama de blocos do reator eletrônico com a carga (lâmpadas fluorescentes).

4.3. Equipamento com Aterramento

4.3.1. Estação de Solda

A estação de solda, 50 W/220 V – modelo TS – 900, possui as mesmas características, do ponto de vista de funcionamento, do controlador eletrônico de temperatura. Decidiu-se utilizar a estação de solda para investigar as correntes de modo comum e modo diferencial em um equipamento comercializado com aterramento, para não descaracterizar o circuito eletrônico do controlador de temperatura, inserindo plano de terra no mesmo. Desta forma, é pertinente analisar a propagação das correntes de modo comum em um circuito com plano de terra, principalmente ao utilizar o dispositivo separador.

A Figura 4.7 mostra a estação de solda com as características originais de fábrica.

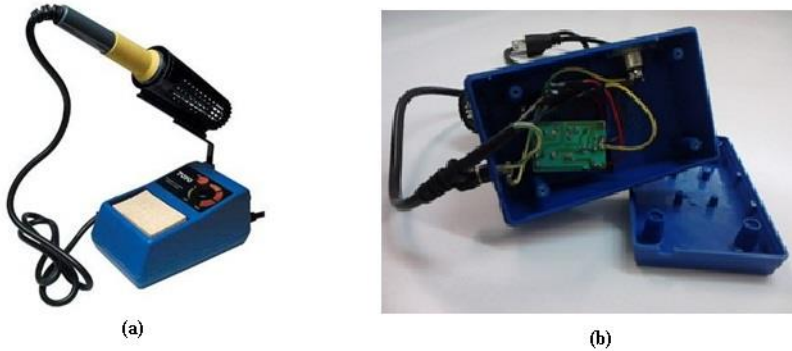


Figura 4.7: Estação de Solda – TS – 900 (a); Configuração original de fábrica (b).

A Figura 4.8 representa circuito original da estação de solda utilizada no ensaio de emissão conduzida.

Observa-se na Figura 4.8 que o circuito original da estação de solda é semelhante ao circuito original do controlador eletrônico de temperatura. Portanto, neste caso também há uma variação abrupta de tensão, produzindo ruídos eletromagnéticos.

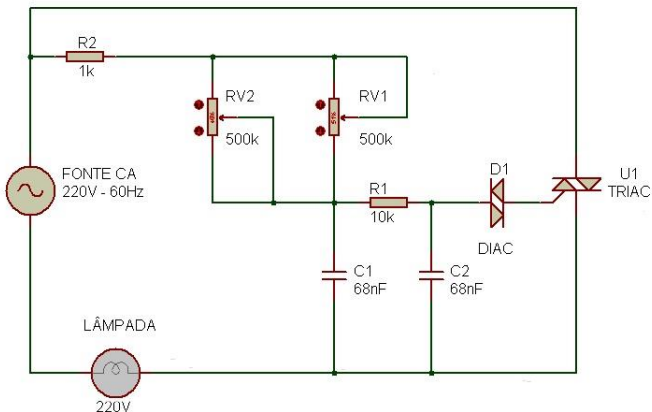


Figura 4.8: Circuito original da estação de solda.

Para realizar os ensaios de emissão conduzida na estação de solda, utilizou-se uma lâmpada como carga no lugar da resistência do ferro de solda, como pode ser visto na Figura 4.9.



Figura 4.9: Estação de solda e a carga.

4.4. Ensaio de Emissão Conduzida

Primeiramente, investigou-se os níveis de emissão na configuração original fornecida pelo fabricante de todos os equipamentos utilizados.

As medidas foram realizadas tanto no condutor fase quanto no condutor neutro. Como considera-se que as tensões de fase e neutro são de mesma magnitude optou-se por apresentar somente as emissões conduzidas medida no condutor fase.

4.4.1. Controlador Eletrônico de Temperatura

O controlador eletrônico possui um potenciômetro que regula manualmente a faixa de potência da carga, isto implica na geração de ruídos eletromagnéticos. Portanto, verificou-se o nível de ruídos em três posições preestabelecidas para o potenciômetro: carga mínima, carga média e carga máxima.

A Figura 4.10, a Figura 4.11 e a Figura 4.12 representam as emissões conduzidas medidas no condutor fase, em três posições preestabelecidas para o potenciômetro, na configuração original do controlador eletrônico de temperatura. Destaca-se que os limites dos valores de quase pico e médio, são especificados pela norma CISPR 14.

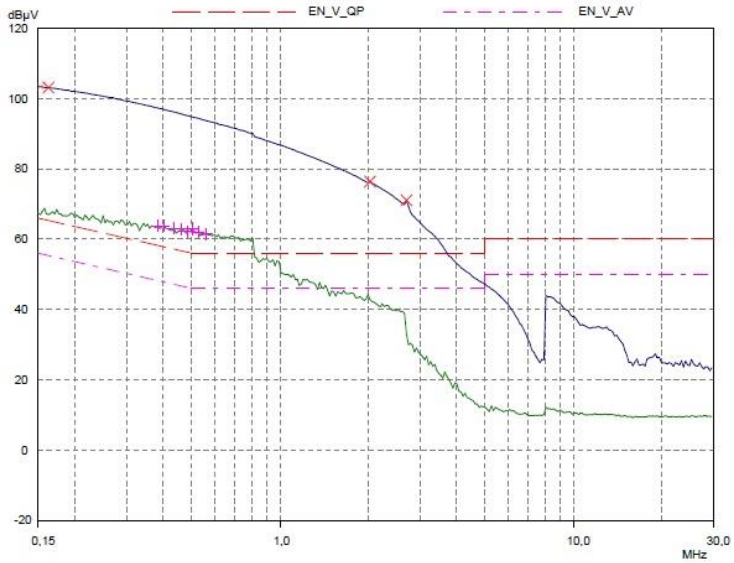


Figura 4.10: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga mínima.

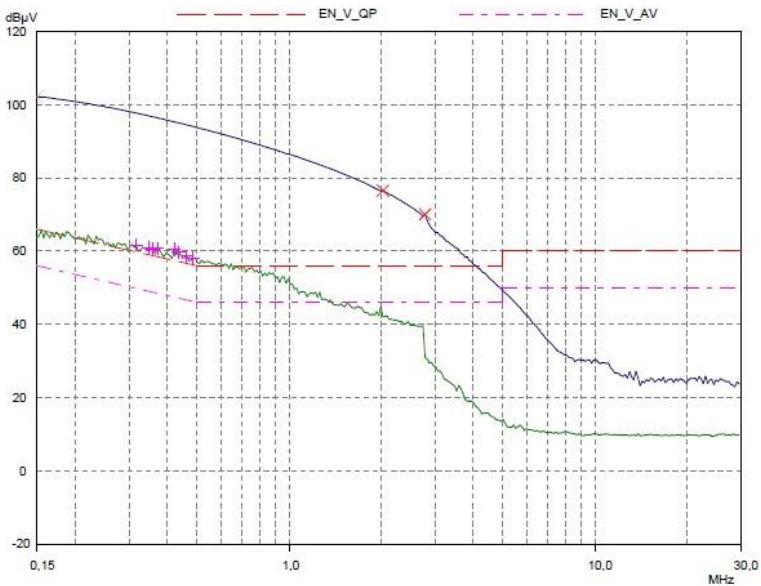


Figura 4.11: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga média.

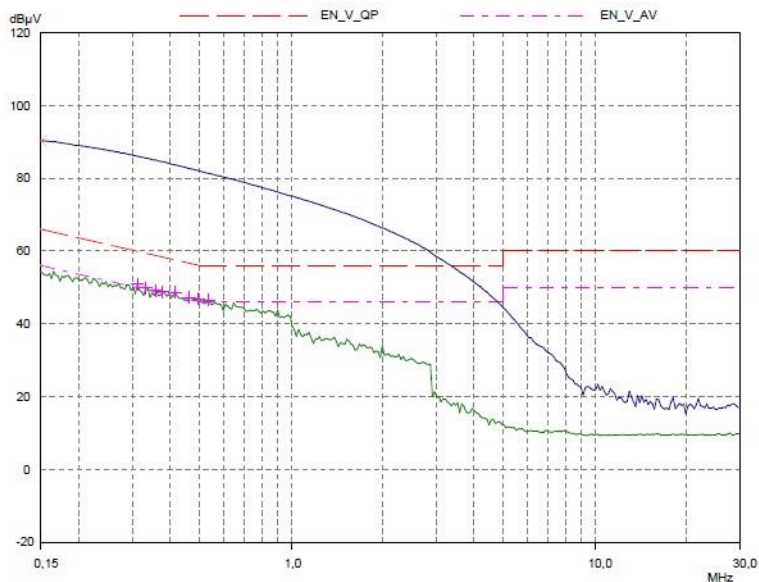


Figura 4.12: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas na configuração original em carga máxima.

Pode-se observar na Figura 4.10, na Figura 4.11 e na Figura 4.12 que as emissões conduzidas estão muito acima do limite estabelecido pela norma em todas as posições preestabelecidas para o potenciômetro. No entanto, ocorreu mais ruído em carga mínima, conforme Figura 4.10, pelo funcionamento do controlador eletrônico.

Desta forma, o estudo das correntes de modo comum e modo diferencial, bem como a aplicação de filtros de EMI serão realizados em carga mínima, por apresentar o caso mais crítico.

4.4.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes

Destaca-se que para equipamentos de iluminação, onde se incluem os reatores eletrônicos, as faixas de frequência e os limites máximos permissíveis de emissão eletromagnética, são determinados pela norma CISPR 15 [27].

A utilização do reator eletrônico para iluminação tem a finalidade de verificar a eficácia do dispositivo separador, sendo assim, considera-se irrelevante explicar detalhadamente sobre a norma CISPR 15.

Ao submeter o reator eletrônico nos ensaios de emissão conduzida, percebeu-se que os níveis de ruídos dos condutores fase e neutro não possuíam as mesmas magnitudes. Este problema é de responsabilidade do fabricante e não foi investigado por não fazer parte do escopo deste trabalho. É importante ressaltar que muitos equipamentos comercializados apresentam este problema. Com isso, decidiu-se apresentar os níveis de ruído dos condutores fase e neutro.

A Figura 4.13 apresenta a emissão conduzida medida no condutor fase, enquanto que a Figura 4.14 apresenta os níveis de ruídos do condutor neutro. Ambas em configuração original.

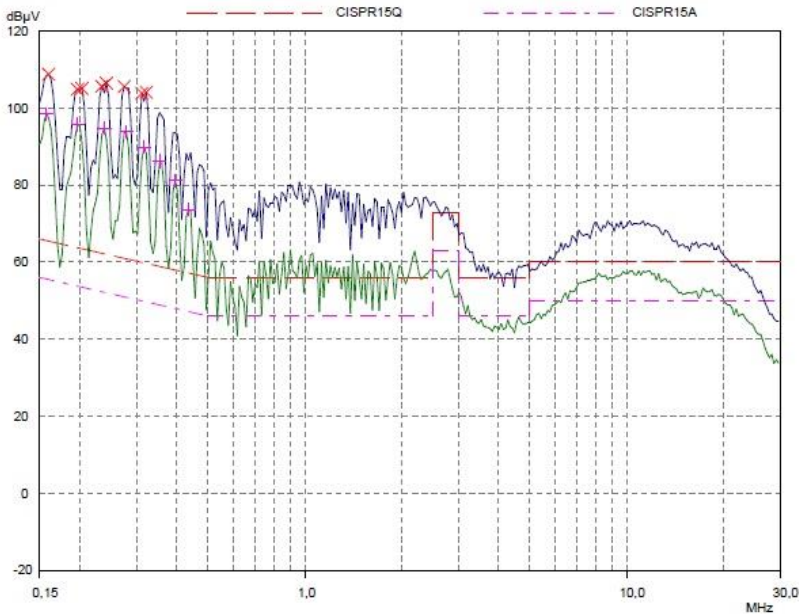


Figura 4.13: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor fase.

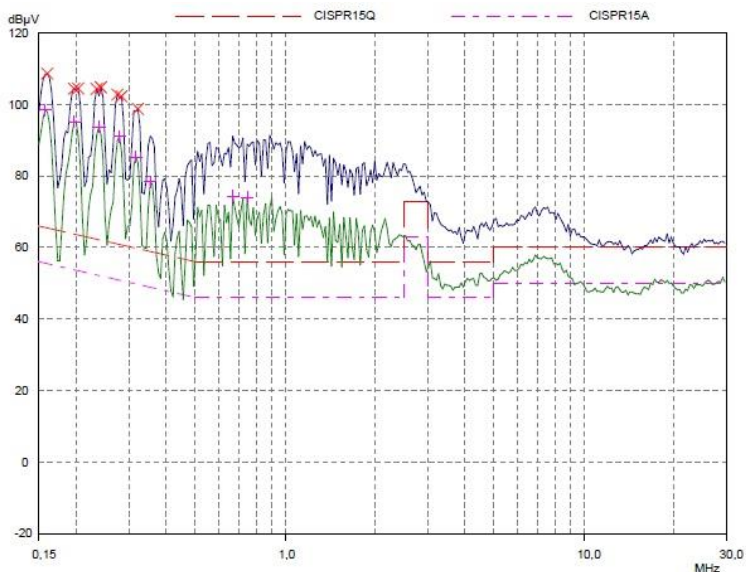


Figura 4.14: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor neutro.

Observa-se na Figura 4.13 e na Figura 4.14 que as características dos espectros são semelhantes, embora com magnitudes diferentes. Percebe-se também, que emissões conduzidas estão acima do limite estabelecido pela norma em praticamente toda a faixa de frequência analisada em ambos os condutores.

4.4.3. Estação de Solda

A estação de solda tem o mesmo princípio de funcionamento que o controlador eletrônico de temperatura, que implica na geração de emissões conduzida. Portanto, optou-se por demonstrar apenas o nível de ruídos em carga mínima, por ser o caso mais crítico.

A Figura 4.15 apresenta o ruído conduzido medido no condutor fase, em carga mínima, na configuração original da estação de solda.

Pode-se observar na Figura 4.15 que as emissões conduzidas, medidas em carga mínima, estão muito acima do limite estabelecido pela norma em praticamente toda a faixa de frequência analisada.

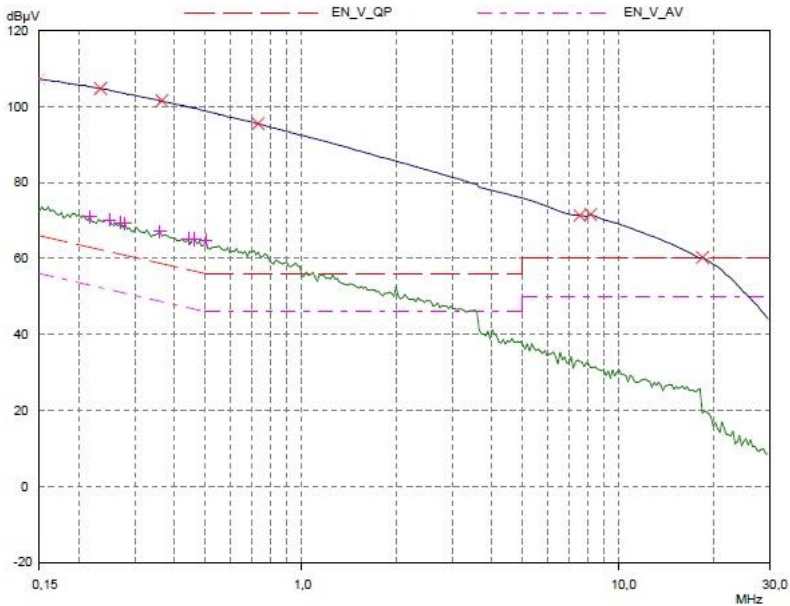


Figura 4.15: Espectro das emissões conduzidas da estação de solda, medidas na configuração original em carga mínima.

4.5. Modelo Teórico para a Separação dos Ruídos de Modo Comum e Modo Diferencial

A aplicação do modelo teórico para a separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial é baseado nas referências [1], [2] e [9], conforme explanado no capítulo 2. Os procedimentos utilizados para fazer a separação das tensões e das correntes de modo comum e modo diferencial, também foram vistos no capítulo 2, na Figura 2.11.

De posse dos dados das medições, nos condutores fase e neutro, das emissões conduzidas, fez-se a separação dos componentes de ruídos, da tensão e da corrente, com o auxílio de uma planilha eletrônica. Para facilitar a visualização das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial, utilizou-se um programa de computador para evidenciar estes níveis de ruídos.

Como a corrente é obtida através da relação da lei de Ohm, [2], [26], as correntes de modo comum e modo diferencial possuem as

mesmas características de comportamento que as tensões, porém as magnitudes são diferentes.

Sabe-se que as magnitudes das tensões de fase e de neutro são praticamente as mesmas [1], [2], [6] e [17]. Com base neste conceito, utilizaram-se os valores das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial, para calcular as tensões de fase e de neutro. Este artifício tem o objetivo de comprovar a coerência dos dados obtidos utilizando o método teórico da separação dos componentes de modo comum e modo diferencial.

4.5.1. Controlador de Eletrônico de Temperatura

A Figura 4.16 apresenta os níveis de emissões conduzidas das tensões de modo comum (VMC) e modo diferencial (VMD) e a Figura 4.17 apresenta os níveis de emissões conduzidas das correntes de modo comum (IMC) e modo diferencial (IMD).

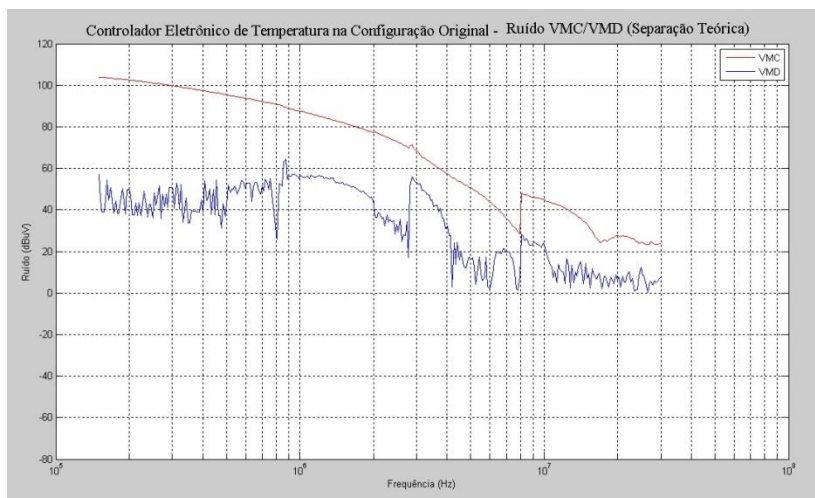


Figura 4.16: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, obtidas via programa de computador.

Ao analisar a Figura 4.16 e a Figura 4.17, percebe-se que o componente de ruído de modo comum é dominante, em relação ao componente de modo diferencial.

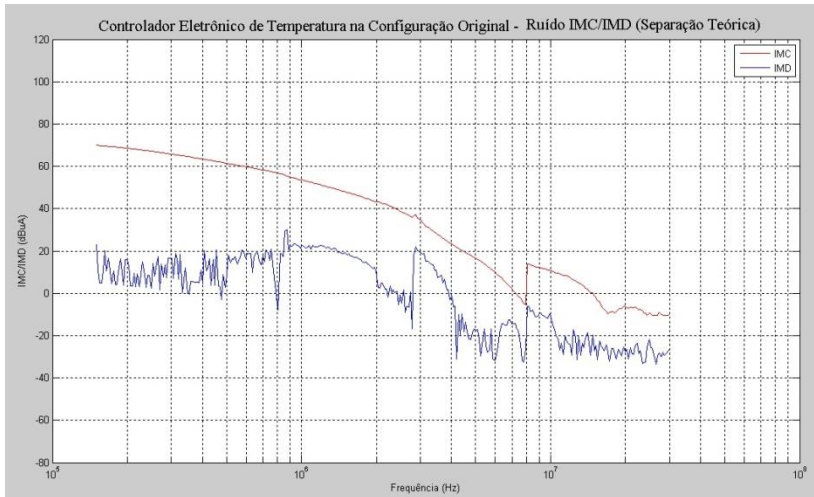


Figura 4.17: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, obtidas via programa de computador.

A Figura 4.18 apresenta as tensões de fase e de neutro obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

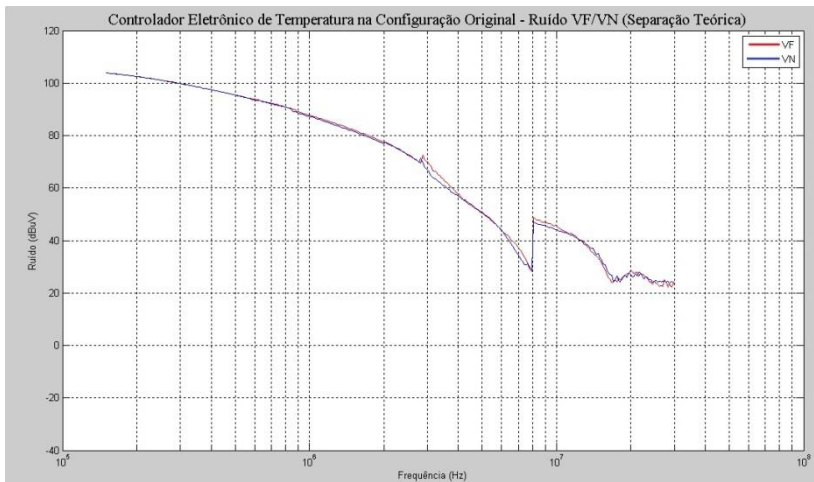


Figura 4.18: Espectro das tensões de fase e de neutro, obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.19 apresenta os dados das tensões, de fase e neutro, medidas pelo analisador de campo eletromagnético (*Receiver*), como forma de comparar os dados calculados com os dados medidos.

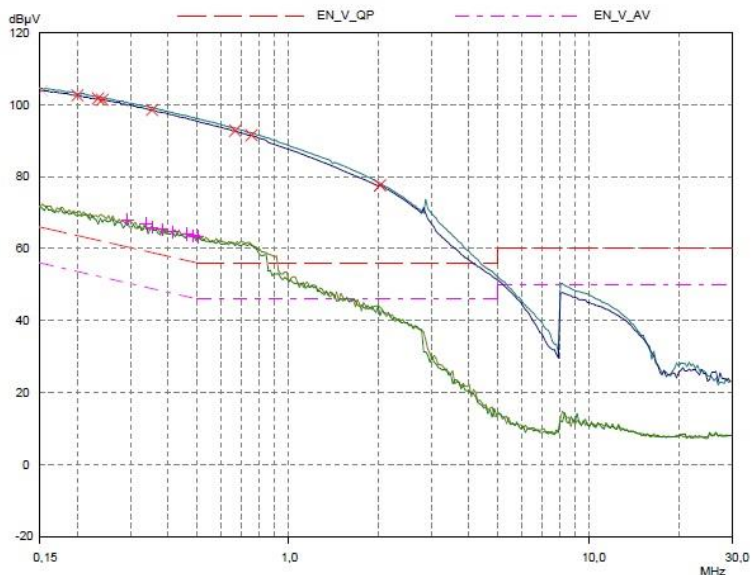


Figura 4.19: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo *receiver*.

Observa-se na Figura 4.18 e na Figura 4.19 que as magnitudes das tensões de fase e neutro são praticamente as mesmas em toda a faixa de frequência, tanto nos dados calculados quanto nos dados medidos. Isto indica que os resultados da separação dos componentes de modo comum e modo diferencial, obtidos através do método teórico estão coerentes.

4.5.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes

A Figura 4.20 e a Figura 4.21 apresentam os níveis de emissões conduzidas dos componentes de modo comum e modo diferencial das tensões e correntes.

Percebe-se na Figura 4.20 e na Figura 4.21 que o componente de ruído de modo comum é dominante, em relação ao componente de modo diferencial.

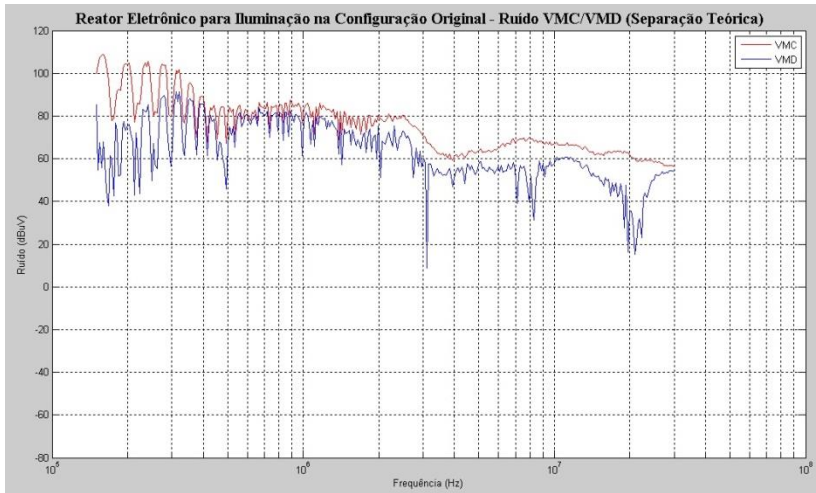


Figura 4.20: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial do reator eletrônico, obtidas via programa de computador.

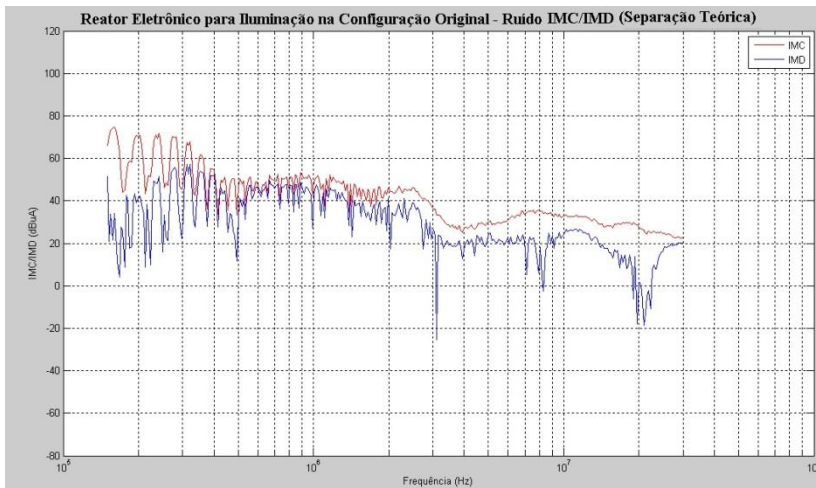


Figura 4.21: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial do reator eletrônico, obtidas via programa de computador.

A Figura 4.22 apresenta as tensões de fase e de neutro obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

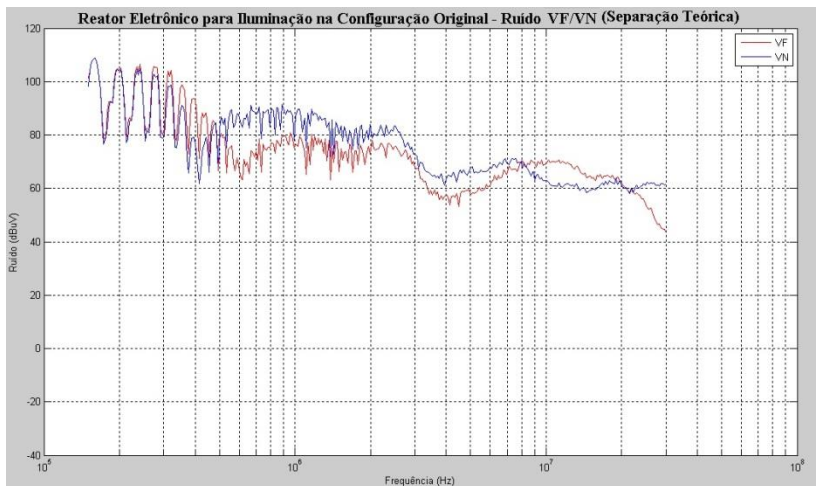


Figura 4.22: Espectro das tensões de fase e de neutro – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.23 apresenta os dados das tensões, de fase e neutro, medidas pelo *receiver*.

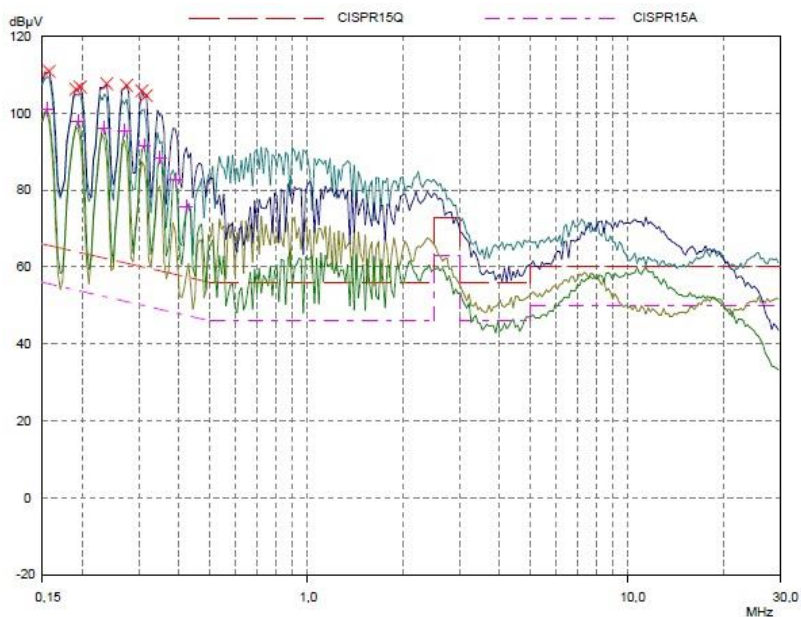


Figura 4.23: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo *receiver*.

Pode-se constatar através da Figura 4.22 e da Figura 4.23 que os resultados da separação dos componentes de modo comum e modo diferencial são coerentes, pois as magnitudes das tensões de fase e neutro são semelhantes em toda a faixa de frequência, tanto nos dados calculados quanto nos dados medidos.

Sabe-se que a diferença entre as magnitudes de fase e neutro é decorrente do processo de fabricação do reator eletrônico. Este problema implica diretamente nos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial. No entanto, pode-se constatar que o ruído de modo comum é predominante.

Teoricamente, considera-se que as magnitudes de fase e neutro são iguais [1], [2], [4], no entanto, é de conhecimento que nas medições há variação entre os valores medidos de fase e neutro. Portanto, neste caso, optou-se por fazer uma análise hipotética considerando a magnitude dos ruídos de fase e neutro iguais, com o objetivo de verificar o ruído predominante, também nestas condições. Para fazer esta análise utilizou-se o software MatLab para fazer a simulação.

A Figura 4.24 representa os ruídos das tensões de fase e neutro. E a Figura 4.25 representa os componentes de modo comum e modo diferencial, obtidos considerando os mesmos níveis de ruídos para as tensões de fase e neutro.

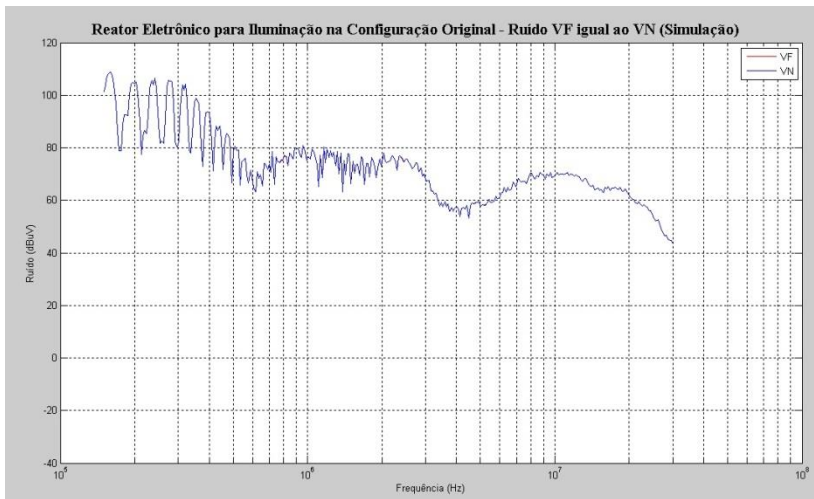


Figura 4.24: Espectro das tensões de fase e de neutro, simuladas considerando a mesma magnitude.

Percebe-se na Figura 4.24 que os níveis de ruído de fase e neutro são exatamente os mesmos, tendo um espectro sobreposto ao outro.

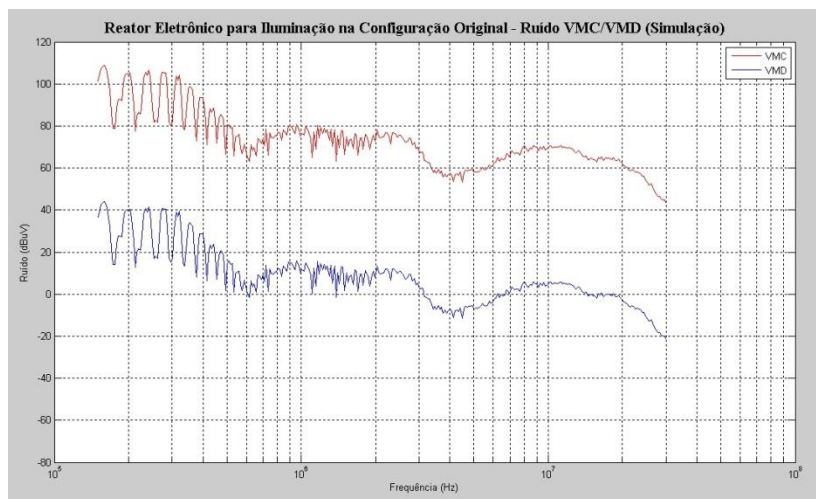


Figura 4.25: Espectro das tensões modo comum e modo diferencial, simuladas.

Observa-se na Figura 4.25 que, realmente, o componente de modo comum é dominante em relação ao componente de modo diferencial, conforme pode ser observado também na Figura 4.20. Portanto, mesmo que haja divergência nas magnitudes dos níveis de ruído entre os condutores fase e neutro é possível constatar o componente de ruído dominante.

4.5.3. Estação de Solda

A Figura 4.26 e a Figura 4.27 apresentam os níveis de emissões conduzidas dos componentes de modo comum e modo diferencial das tensões (VMC e VMD) e das correntes (IMC e IMD), respectivamente.

Ao analisar a Figura 4.26, percebe-se que predomina, em toda a faixa de frequência analisada, o componente de modo comum. No espectro de alta frequência, a diferença entre os ruídos de modo comum e o de modo diferencial diminui, devido aos dados das tensões de fase e neutro não serem iguais nesta faixa de frequência, conforme pode ser observado na Figura 4.29.

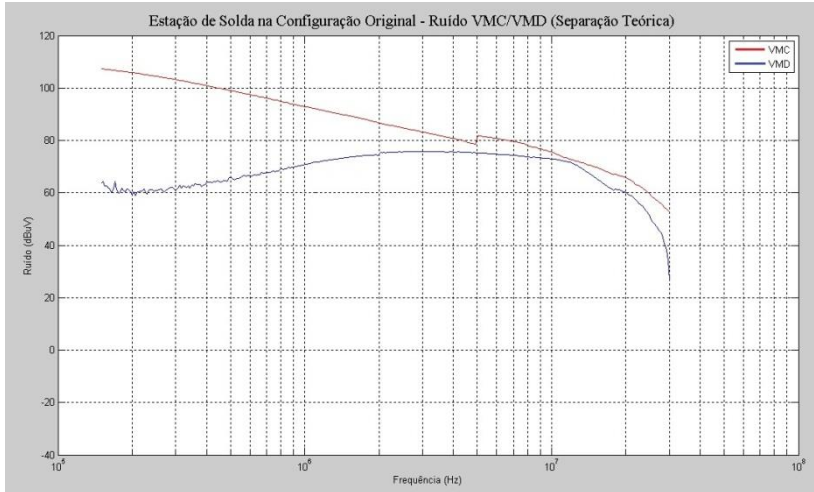


Figura 4.26: Espectro das tensões de modo comum e modo diferencial da estação de solda, obtidas via programa de computador.

Como o esperado, as correntes de modo comum e modo diferencial possuem a mesma característica de comportamento que as tensões, porém as magnitudes são diferentes, como pode ser observado na Figura 4.27.

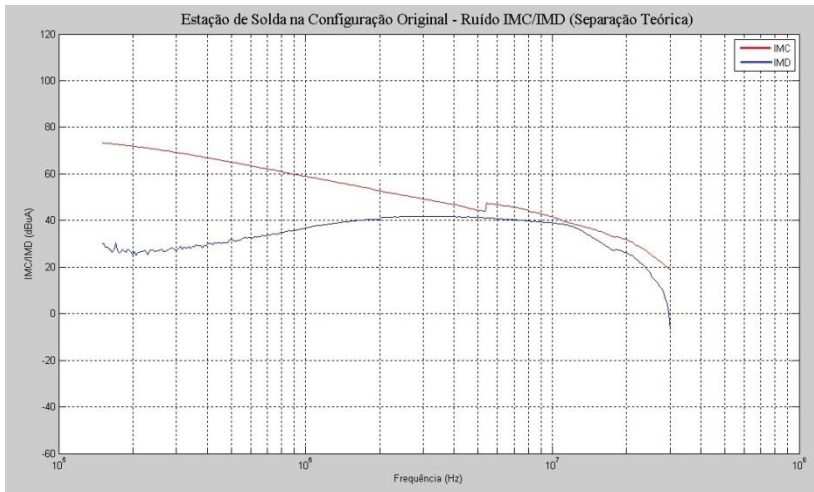


Figura 4.27: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial da estação de solda, obtidas via programa de computador.

A Figura 4.28 apresenta as tensões de fase e de neutro calculadas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

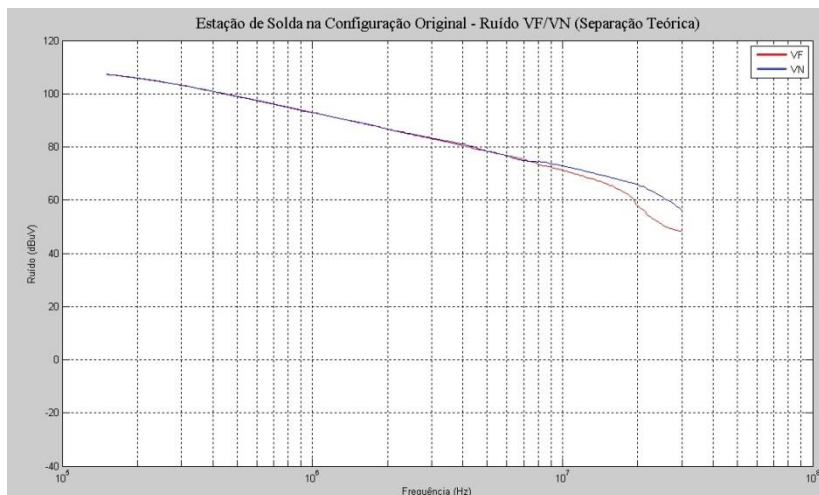


Figura 4.28: Espectro das tensões de fase e de neutro.

A Figura 4.29 apresenta os dados das tensões, de fase e neutro, medidas pelo *receiver*, como forma de comparar os dados calculados com os dados medidos.

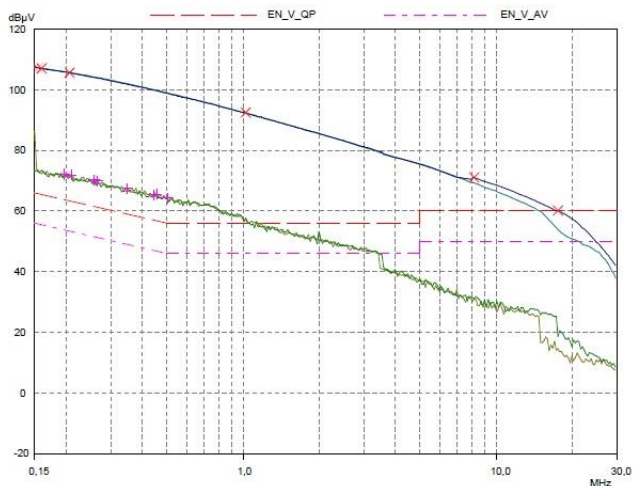


Figura 4.29: Espectro das tensões de fase e de neutro medidas pelo *receiver*.

Observa-se na Figura 4.28 e na Figura 4.29 que as magnitudes das tensões de fase e neutro são praticamente as mesmas em toda a faixa de frequência, tanto nos dados calculados quanto nos dados medidos. Há uma pequena variação no espectro de alta frequência, em ambas as figuras, decorrente de características específicas de fabricação. Estas características não serão analisadas por não fazer parte do escopo deste trabalho. A similaridade entre os resultados da separação teórica dos componentes de modo comum e modo diferencial e os medidos pelo *receiver*, indica que o procedimento teórico obteve resultados satisfatórios.

4.6. Dispositivo Separador de Ruídos

Este procedimento consiste na medição das tensões de modo comum (V_{MC}) e modo diferencial (V_{MD}), na configuração original fornecida pelo fabricante de todos os equipamentos, utilizando um dispositivo separador de ruídos.

A utilização do dispositivo para a separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial é baseado nas referências [1], [2] e [6], conforme explanado no capítulo 2.

Destaca-se que o dispositivo a ser utilizado gera na saída o dobro da tensão de ruído no modo comum ou no modo diferencial, conforme (2.10a) e (2.10b). Como o receptor de campo utiliza um atenuador externo de 10 dB com a finalidade de absorver qualquer transiente presente na linha de alimentação, fez-se uso de uma planilha eletrônica para fazer a correção de 4 dB nos valores de saída [1]. A Figura 2.14, apresentada no capítulo 2, exemplifica o passo a passo para determinar o modo de ruído predominante na emissão conduzida de um equipamento, utilizando o dispositivo separador.

4.6.1. Controlador Eletrônico de Temperatura

Destaca-se a escolha do caso mais crítico de emissão de ruído (em carga mínima) para o estudo das correntes de modo comum e modo diferencial com o dispositivo separador. A Figura 4.30 e a Figura 4.31 apresentam os níveis de emissões conduzidas das tensões de modo comum e de modo diferencial, respectivamente, medidas pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador, conforme a configuração de ensaio apresentada no capítulo 2, conforme a Figura 2.16.

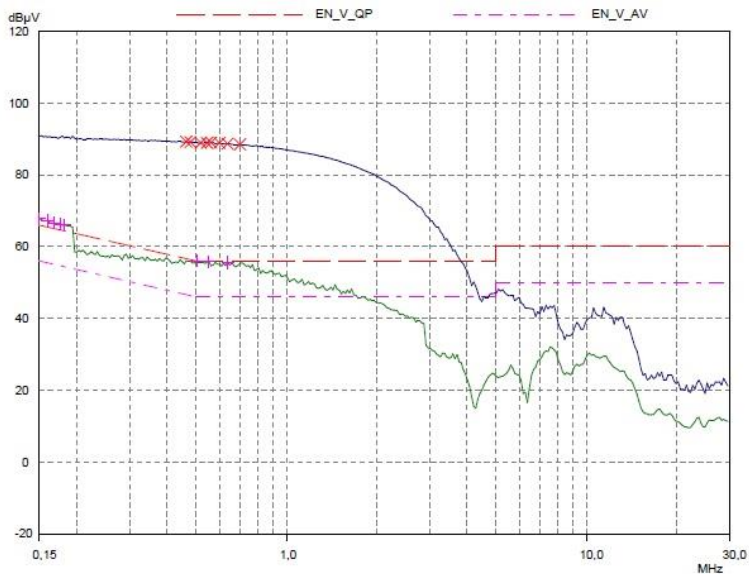


Figura 4.30: Espectro da tensão de modo comum do controlador eletrônico de temperatura, medidas pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador de ruídos.

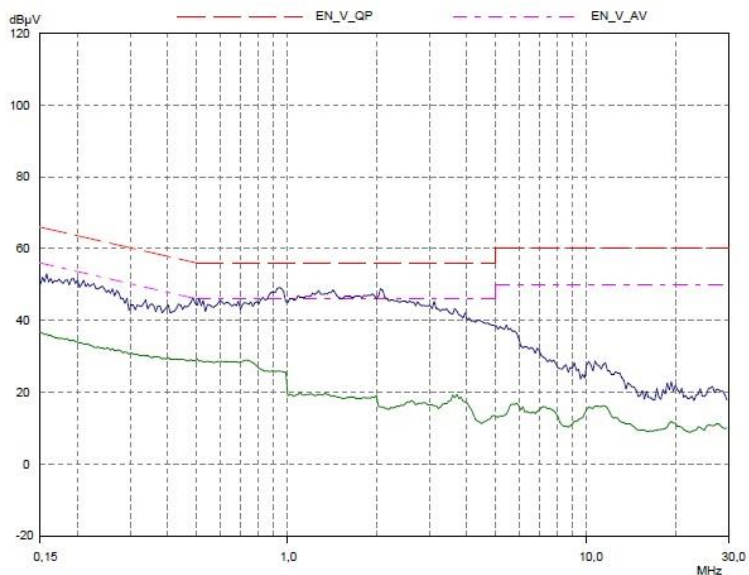


Figura 4.31: Espectro da tensão de modo diferencial do controlador eletrônico de temperatura, medidas pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador de ruídos

Verifica-se na Figura 4.30 e na Figura 4.31 que o componente de ruído de modo comum é dominante, em relação ao componente de modo diferencial em baixa frequência. Em alta frequência os componentes de modo comum e modo diferencial passam a se comportar de maneira similar. Isto ocorre pelo fato dos componentes de modo comum e modo diferencial serem muito próximos ao nível de ruído de fundo.

A Figura 4.32 mostra o espectro das correntes de modo comum e modo diferencial, determinadas através dos dados obtidos com o uso do dispositivo separador.

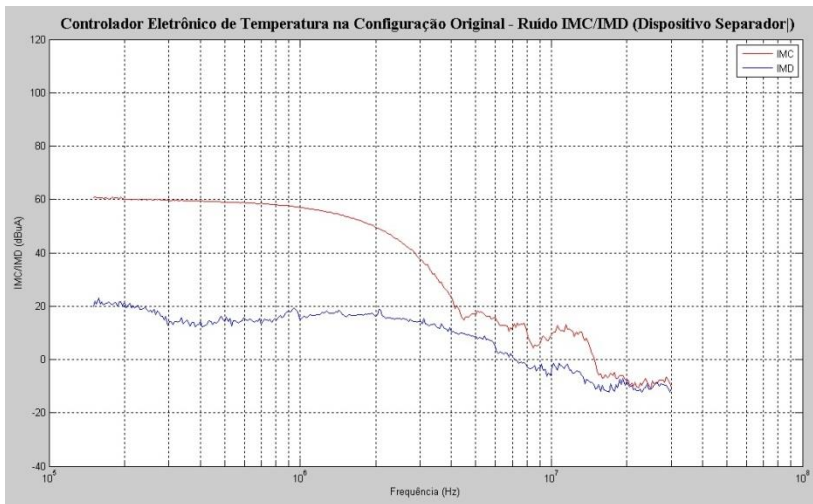


Figura 4.32: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.33 apresenta as tensões de fase e de neutro obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

Observa-se na Figura 4.33 que as magnitudes das tensões de fase e neutro são praticamente as mesmas até a frequência de 4MHz, como o esperado. Pois a partir desta frequência o ruído de modo diferencial possui valores muito próximos ao ruído de fundo o que mascara a medida. Entretanto, consideram-se satisfatórios os resultados da separação dos componentes de modo comum e modo diferencial, já que nesta faixa de frequência o nível de ruído é inferior ao limite estipulado

pela norma. A Figura 4.34 representa o espectro de ruído de fundo, medido pelo *receiver*.

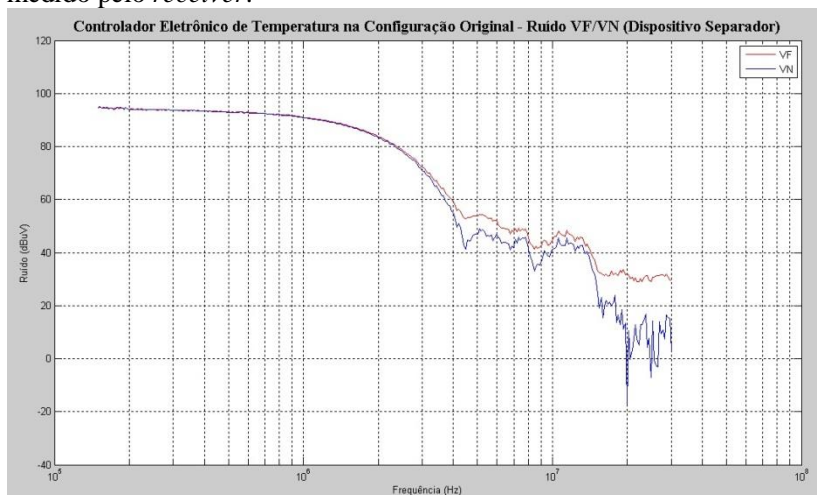


Figura 4.33: Espectro das tensões de fase e neutro – plotadas via programa de computador.

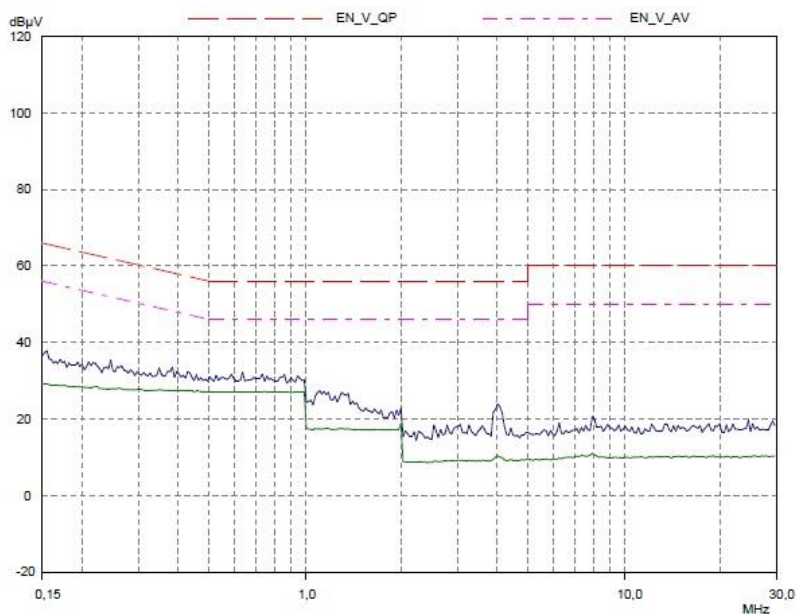


Figura 4.34: Espectro do ruído de fundo, medido pelo *receiver*.

Após aplicar o método teórico e o dispositivo para separar os componentes de modo comum e modo diferencial, fez-se a comparação dos resultados obtidos nos dois métodos.

A Figura 4.35 mostra a comparação, da tensão de modo comum, entre os resultados obtidos pelo método da separação teórica e pelo uso do dispositivo separador de ruídos.

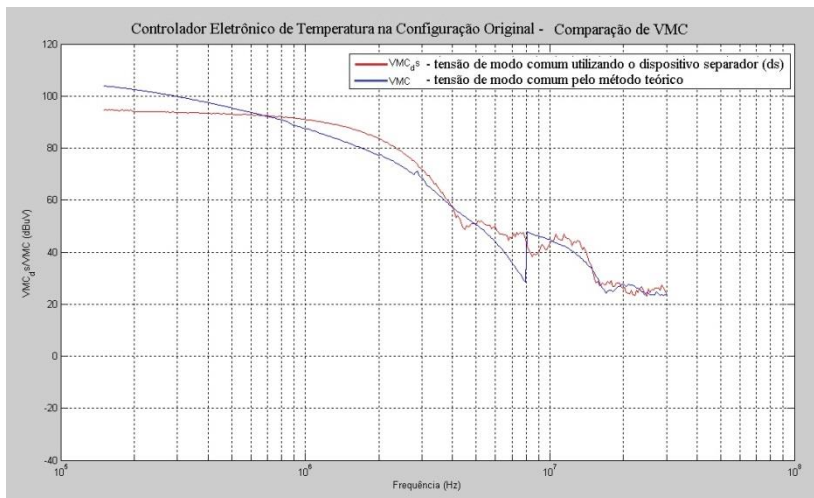


Figura 4.35: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Observa-se na Figura 4.35 que os resultados se aproximam, ao comparar os dois métodos utilizados para separar as tensões de modo comum. Neste caso o erro ficou entre 1% e 20%, conforme cálculo realizado em uma planilha eletrônica, em toda a faixa de frequência analisada.

A Figura 4.36 mostra a comparação, da tensão de modo diferencial. Pode-se observar na Figura 4.36 que os resultados não se aproximam, tanto quanto as tensões de modo comum, ao comparar os dois métodos utilizados para separar as tensões de modo diferencial. Neste caso o erro ficou entre 1% e 30% na faixa de frequência de 150 kHz até 4 MHz. Na frequência acima de 4 MHz a variação do erro entre os resultados ficou superior a 100%, em decorrência do valor da tensão de modo diferencial ser muito próximo do valor do ruído de fundo e pela variação das tensões medidas de fase e neutro. Outro fator importante a ser considerado é o fato do controlador eletrônico não possuir aterramento.

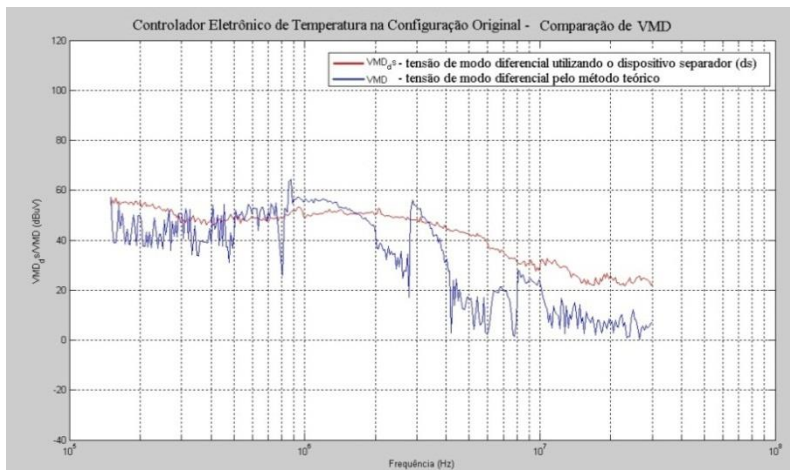


Figura 4.36: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Como o objetivo principal é verificar o componente de ruído predominante, em baixa frequência [9], [21], consegue-se constatar que o ruído de modo comum domina o ruído de modo diferencial.

A Figura 4.37 mostra a comparação, da tensão de fase, entre os resultados obtidos pelo método da separação teórica e pelo uso do dispositivo separador de ruídos.

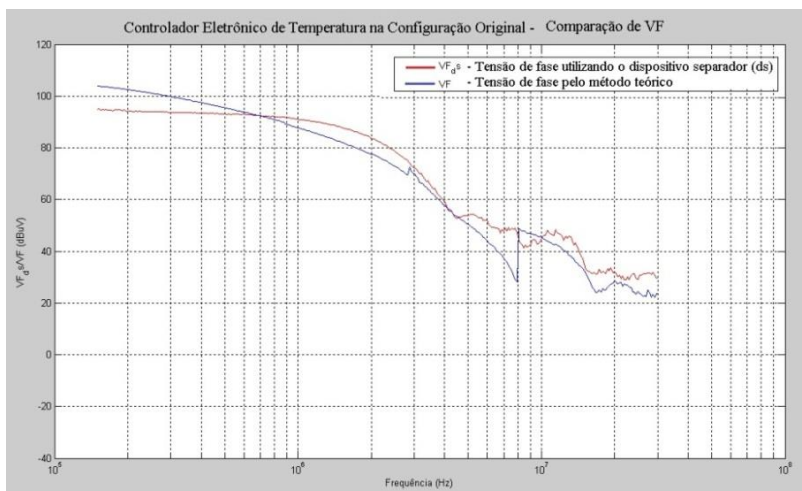


Figura 4.37: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Observa-se na Figura 4.37 que os resultados se aproximam, ao comparar os dois métodos utilizados para determinar as tensões de fase. Neste caso o erro ficou entre 1% e 15% em toda a faixa de frequência analisada

Por fim, os dados do nível de ruídos, das tensões de modo comum e de modo diferencial, obtidos através do dispositivo separador podem ser utilizados em um projeto de filtro.

4.6.2. Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes

A Figura 4.38 e a Figura 4.39 apresentam os níveis de emissões conduzidas das tensões de modo comum e de modo diferencial, respectivamente, medidas pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador.

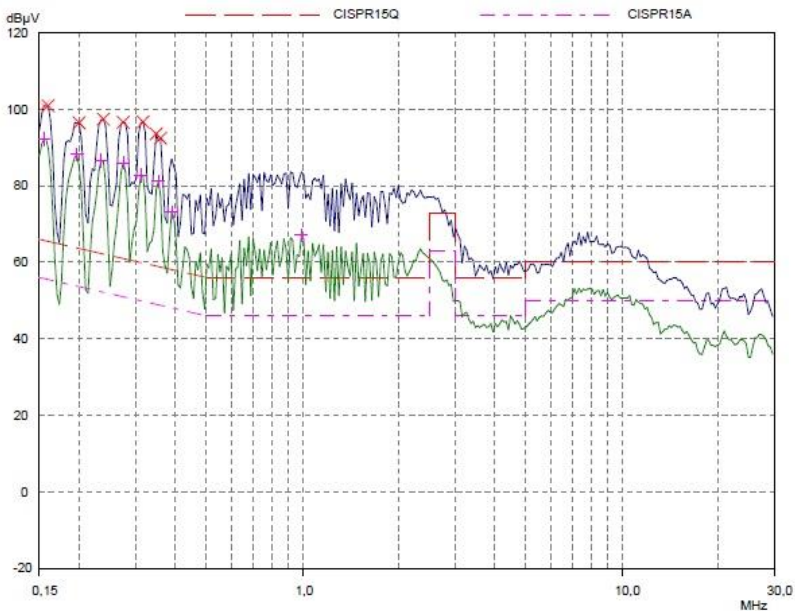


Figura 4.38: Espectro da tensão de modo comum do reator eletrônico, medida pelo *receiver*.

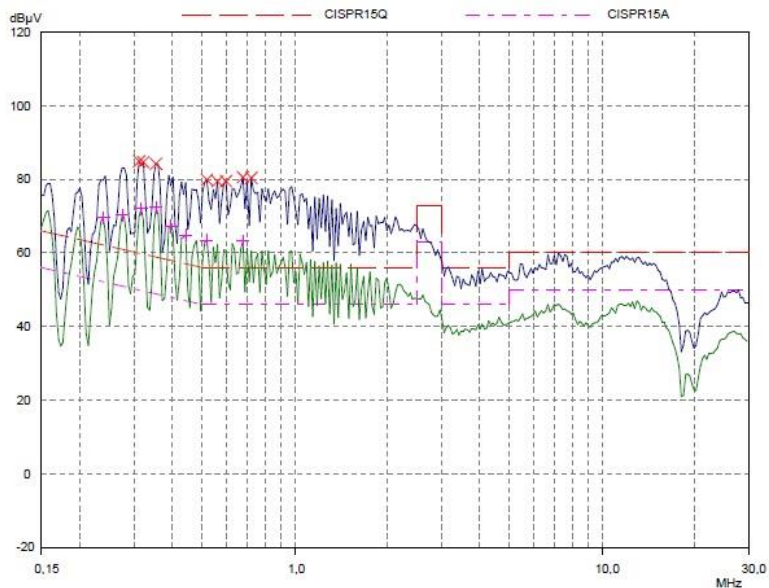


Figura 4.39: Espectro da tensão de modo diferencial do reator eletrônico, medida pelo receiver.

A Figura 4.40 apresenta os nível de emissões conduzidas das correntes de modo comum e modo diferencial.

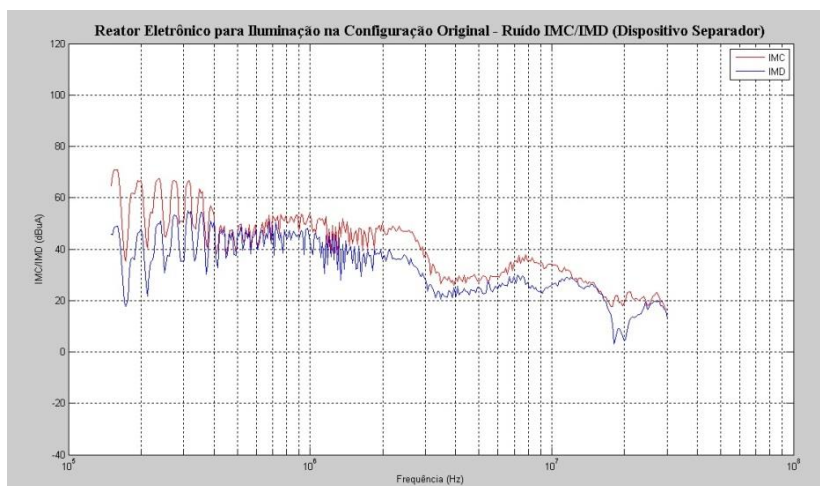


Figura 4.40: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.41 apresenta as tensões de fase e de neutro obtidas através dos dados do dispositivo separador de ruídos.

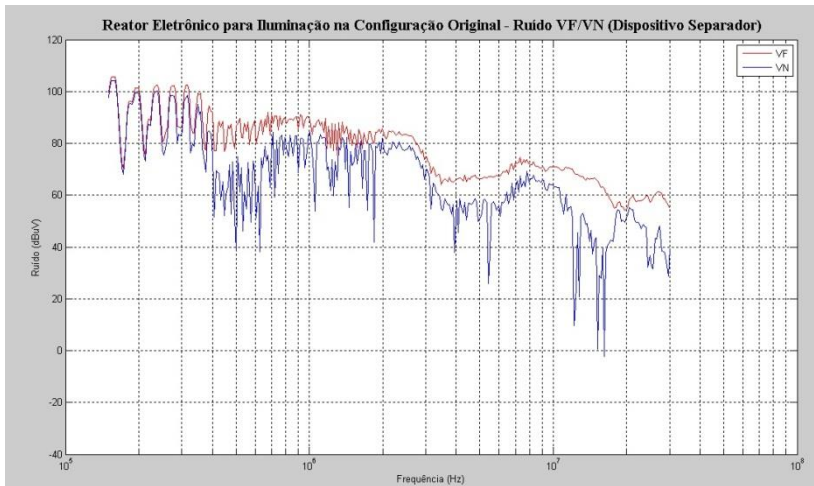


Figura 4.41: Espectro das tensões de fase e neutro – obtidas através dos dados do dispositivo separador.

Observa-se na Figura 4.41 que as características das curvas dos espectros das tensões de fase e neutro são semelhantes, embora não possuam a mesma magnitude, em virtude do problema de fabricação, mencionado anteriormente.

Faz-se necessário comparar os resultados gerados pelo método teórico com os dados do dispositivo separador, para uma análise mais detalhada.

A Figura 4.42 e a Figura 4.43 representam os espectros das tensões de modo comum e modo diferencial, respectivamente, comparando os resultados do método teórico com o dispositivo separador de ruídos.

Percebe-se na Figura 4.42 que o erro entre os dois métodos para separar o componente de modo comum é pequeno, em torno de 0,3% a 5% até a frequência de 10 MHz. Após esta frequência o erro passa a ser de 16% no ponto mais crítico. Esta diferença, em alta frequência, é em virtude da divergência entre os níveis de ruídos de fase e neutro.

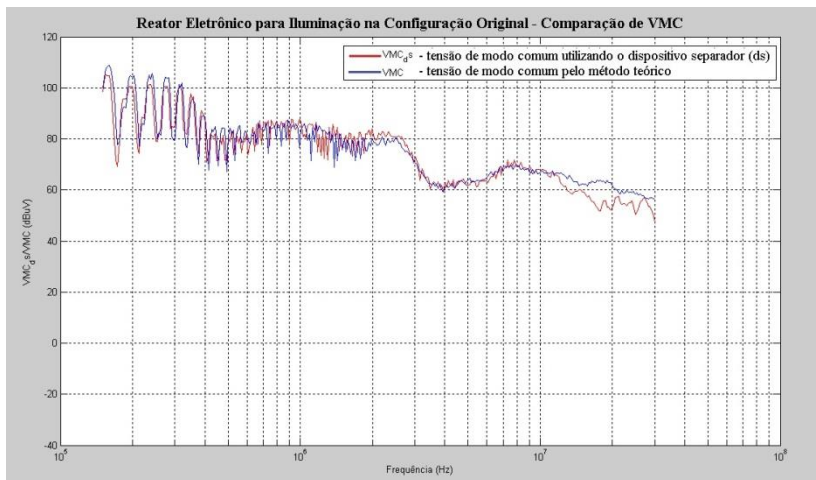


Figura 4.42: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador.

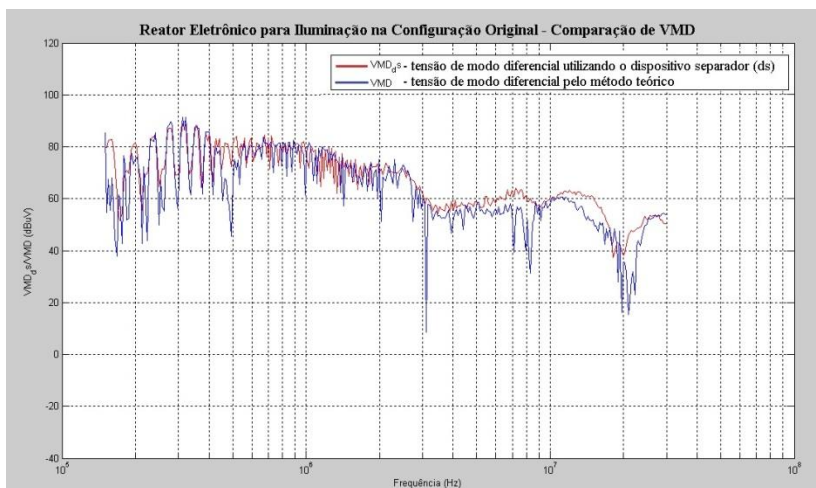


Figura 4.43: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador.

Percebe-se na Figura 4.43 que houve similaridade no componente de modo diferencial nos dois métodos apresentados. Tendo um erro de 0,8 a 20% no decorrer de toda a faixa de frequência. Observa-se também, que apareceram alguns picos, para baixo, na separação pelo método teórico, os quais não foram detectados pelo dispositivo

separador. Possivelmente, em algumas frequências foram mascarados pelo ruído de fundo.

A Figura 4.44 demonstra a comparação da tensão de fase obtida pelo método teórico e através da utilização do dispositivo separador.

Observa-se na Figura 4.44 que os espectros possuem as mesmas curvaturas, porém o erro entre os dois métodos apresentou uma pequena divergência, similar a diferença existente entre as magnitudes de fase e neutro, verificadas no primeiro ensaio de EMI conduzida.

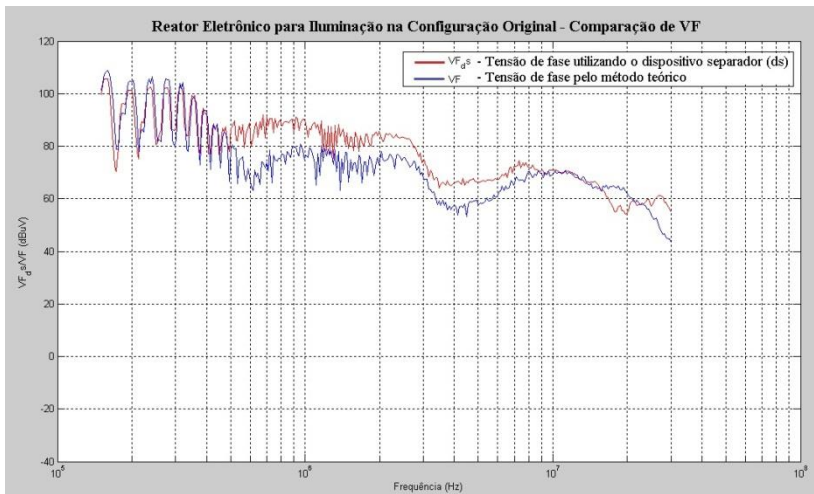


Figura 4.44: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador.

Analisando os dados apresentados, pode-se dizer que a utilização do dispositivo separador é viável. Inclusive quando o equipamento a ser ensaiado não possui as mesmas magnitudes dos níveis de ruído dos condutores fase e neutro, como o caso do reator eletrônico.

4.6.3. Estação de Solda

Destaca-se a escolha do caso mais crítico de emissão de ruído (em carga mínima) pela estação de solda para o estudo das correntes de modo comum e modo diferencial com o dispositivo separador.

A Figura 4.45 e a Figura 4.46 apresentam os níveis de emissões conduzidas das tensões de modo comum e de modo diferencial, respectivamente, medidas pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador.

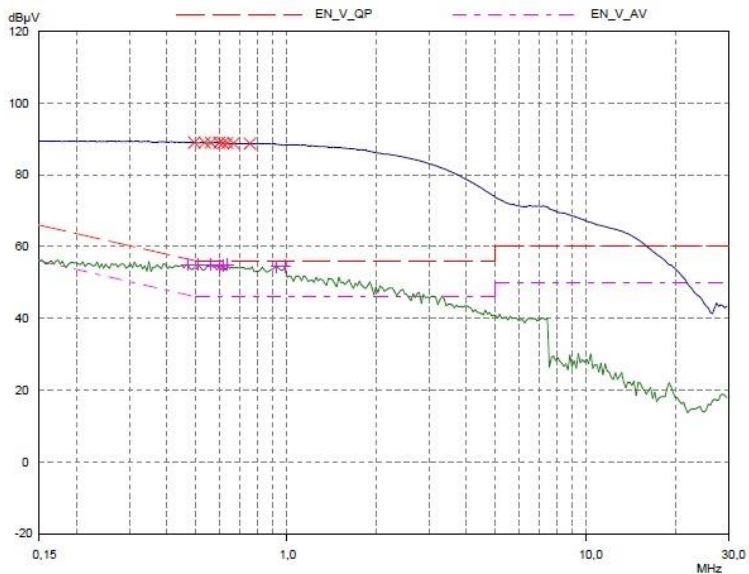


Figura 4.45: Espectro da tensão de modo comum da estação de solda, medida pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador de ruídos.

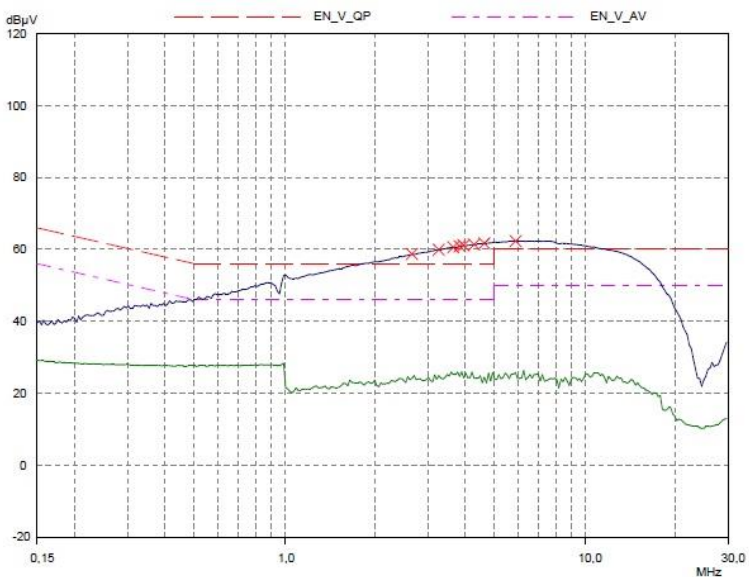


Figura 4.46: Espectro da tensão de modo diferencial da estação de solda, medida pelo *receiver* utilizando o dispositivo separador de ruídos.

Percebe-se na Figura 4.45e na Figura 4.46 que o componente de ruído de modo comum predomina em toda a faixa de frequência analisada.

A Figura 4.47 apresenta os níveis de emissões conduzidas das correntes de modo comum e modo diferencial.

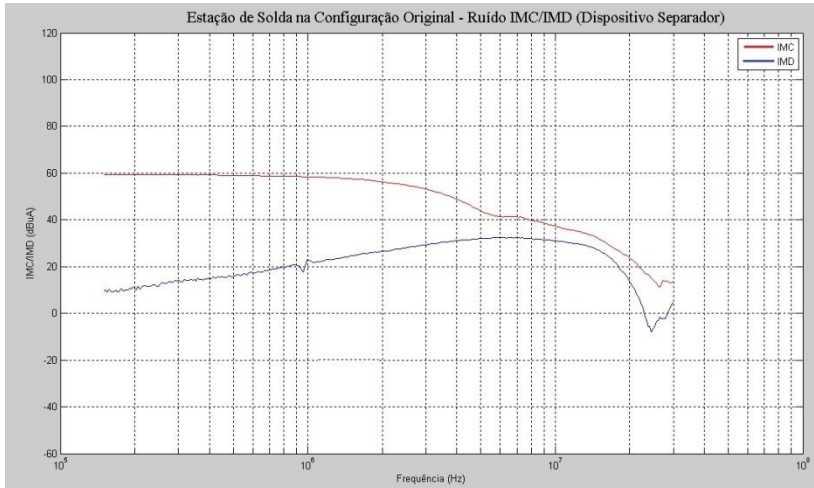


Figura 4.47: Espectro das correntes de modo comum e modo diferencial – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.48 apresenta as tensões de fase e de neutro obtidas através dos dados das tensões e correntes de modo comum e modo diferencial.

Observa-se na Figura 4.48 que as magnitudes das tensões de fase e neutro são praticamente as mesmas, como o esperado. Há uma pequena variação no espectro de alta frequência, decorrente de características específicas de fabricação, conforme pode ser constatado através da Figura 4.29. Estas características não serão analisadas por não fazer parte do escopo deste trabalho.

Isto indica que os resultados da separação dos componentes de modo comum e modo diferencial estão coerentes. Portanto, podem ser comparados com os dados gerados pelo método da separação teórica.

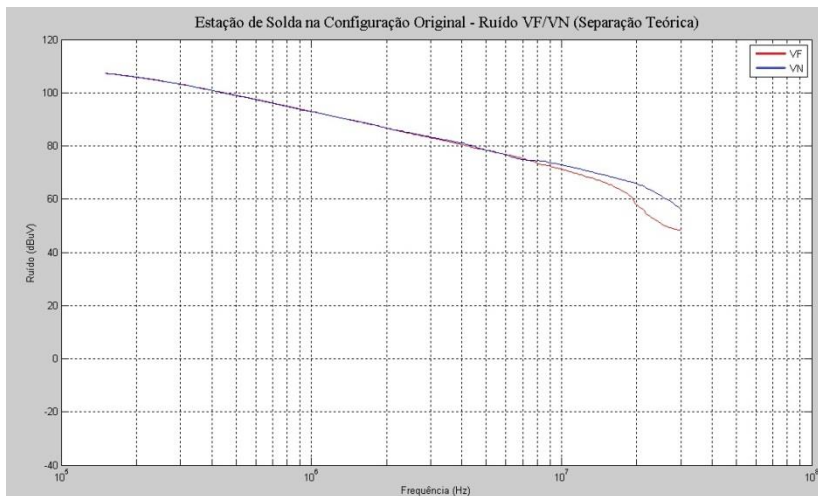


Figura 4.48: Espectro das tensões de fase e neutro – plotadas via programa de computador.

A Figura 4.49 mostra a comparação, da tensão de modo comum, entre os resultados obtidos pelo método da separação teórica e pelo uso do dispositivo separador de ruídos.

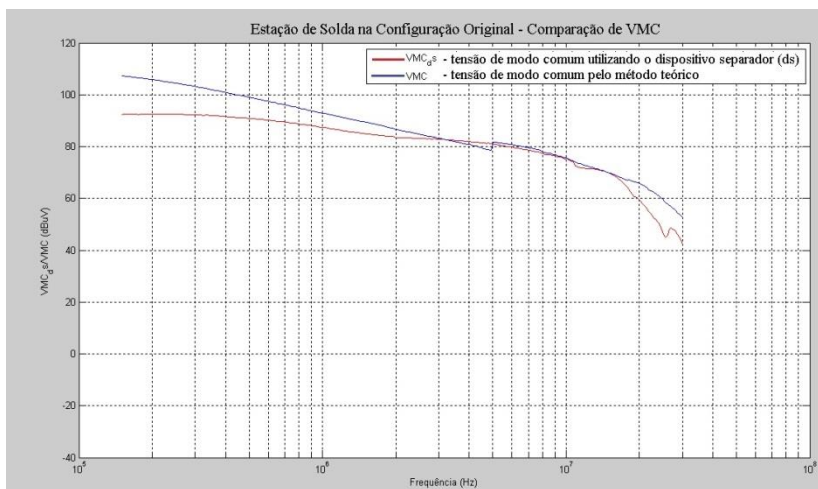


Figura 4.49: Espectro comparando a tensão de modo comum pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Pode-se observar na Figura 4.49 que os resultados se aproximam, ao comparar os dois métodos utilizados para separar as tensões de modo comum, tendo um erro de 1% a 20% em toda a faixa de frequência.

A Figura 4.50 mostra a comparação, da tensão de modo diferencial, entre os resultados obtidos pelo método da separação teórica e pelo uso do dispositivo separador de ruídos.

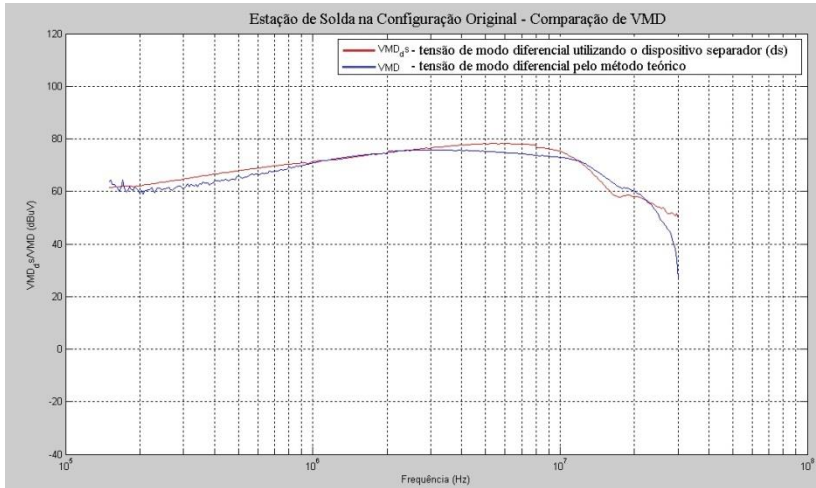


Figura 4.50: Espectro comparando a tensão de modo diferencial pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Observa-se na Figura 4.50 que o erro entre os dois métodos, também foi pequeno, entre 1% e 14% em praticamente toda a faixa de frequência.

A Figura 4.51 mostra a comparação, da tensão de fase, entre os resultados obtidos pelo método da separação teórica e pelo uso do dispositivo separador de ruídos.

Observa-se na Figura 4.51 que os resultados se aproximam, ao comparar os dois métodos utilizados para separar as tensões de fase. Neste caso, o erro ficou entre 1% e 20% em toda a faixa de frequência analisada.

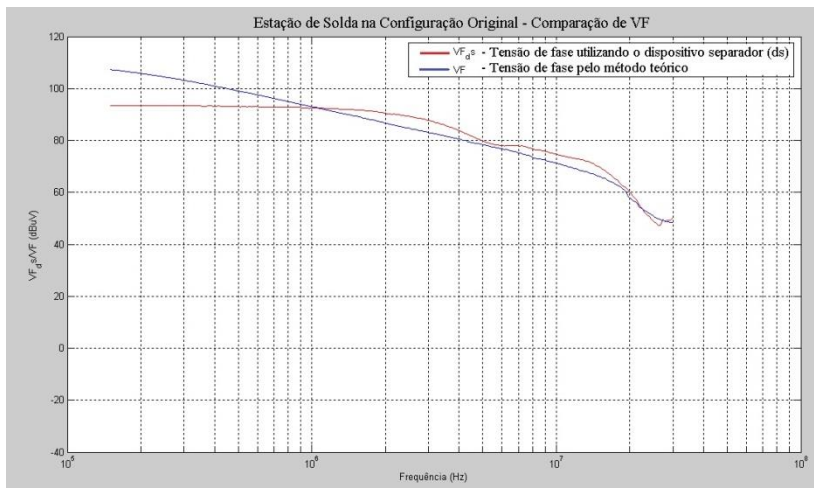


Figura 4.51: Espectro comparando a tensão de fase pelo método teórico e com o uso do dispositivo separador – plotadas via programa de computador.

Através dos resultados expostos, pode-se afirmar que os dados dos níveis de ruídos, das tensões de modo comum e modo diferencial, obtidos através do dispositivo separador poderão ser utilizados em um projeto de filtro.

4.7. Projeto de Filtro de EMI

Após identificar o componente de ruído dominante dos equipamentos, fez-se o projeto de filtro (descrito no capítulo 3), baseado em [9], [21], [23] para colocar estes equipamentos em conformidade com a norma de emissão conduzida.

Sabe-se que o objetivo deste estudo é propor uma ferramenta de diagnóstico para fazer a separação das correntes de modo comum e modo diferencial. Portanto, fez-se o projeto de filtro de EMI, para cada equipamento, utilizando os dados obtidos através das medidas com o dispositivo separador de ruídos.

Com os dados da medição de emissões conduzida do equipamento em teste, utilizando o dispositivo separador, determina-se a atenuação necessária para o ruído de modo comum $(V_{a_MC})_{dB}$ e para o ruído de modo diferencial $(V_{a_MD})_{dB}$, através das equações (3.1) e (3.2).

Através da curva de atenuação de modo comum e modo diferencial, gerada pelos dados de $(V_{a_MC})_{dB}$ e $(V_{a_MD})_{dB}$, determina-se a frequência de corte para os ruídos de modo comum e modo diferencial. Sabe-se que a frequência de corte para o ruído de modo comum, f_{c_MC} , pode ser obtida ao traçar uma reta com inclinação de 40dB/dec que seja tangente à curva de atenuação $(V_{a_MC})_{dB}$. A frequência de corte de modo comum é determinada pelo ponto no qual a reta intercepta a linha horizontal. A frequência de corte do ruído de modo diferencial, f_{c_MD} , é obtida da mesma maneira, sendo que a reta a ser traçada será tangente à curva $(V_{a_MD})_{dB}$ [21].

Percebeu-se durante o processo para determinar a frequência de corte tanto de modo comum, quanto de modo diferencial, a necessidade de demonstrar a curva de atenuação, somente, nos pontos de maior magnitude do ruído e nas frequências mais baixas [21]. Portanto, optou-se em plotar, também, a curva de atenuação apenas para o espectro de baixa frequência. Como não há uma frequência definida, depende de cada equipamento.

Para os casos analisados a curva de atenuação foi gerada até a frequência de 1MHz. Este procedimento tem o intuito de verificar a necessidade de determinar a curva de atenuação para todo o espectro de frequência.

Os valores da frequência de corte de modo comum e modo diferencial serão utilizados para calcular os demais componentes do filtro, através das equações (3.3), (3.4) e (3.5).

Após determinar todos os componentes do filtro, conforme topologia apresentada na Figura 3.6, fez-se as placas de circuito impresso para cada equipamento. Esta placa foi acoplada entre a rede de alimentação e o equipamento gerador de ruídos.

Todos os equipamentos foram submetidos, novamente, aos ensaios de emissão conduzida, para verificar a viabilidade de fazer um projeto de filtro utilizando os dados obtidos através do dispositivo separador de ruídos.

4.7.1. Controlador Eletrônico de Temperatura

A Figura 4.52 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. E a Figura 4.53 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

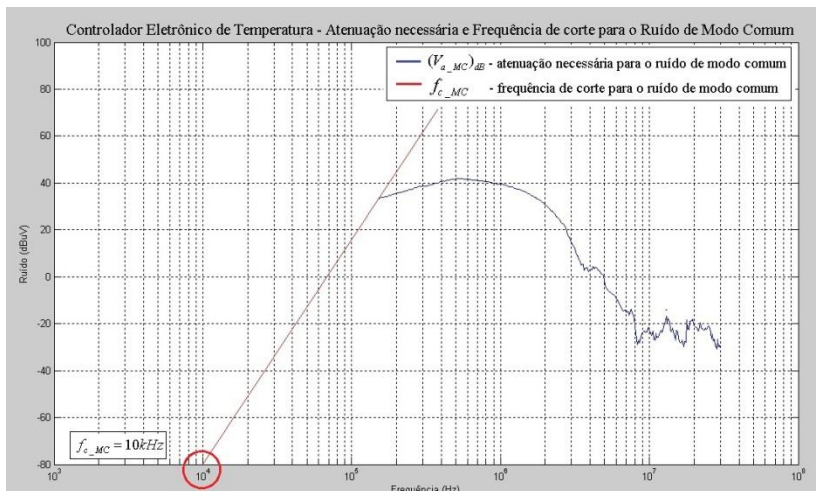


Figura 4.52: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

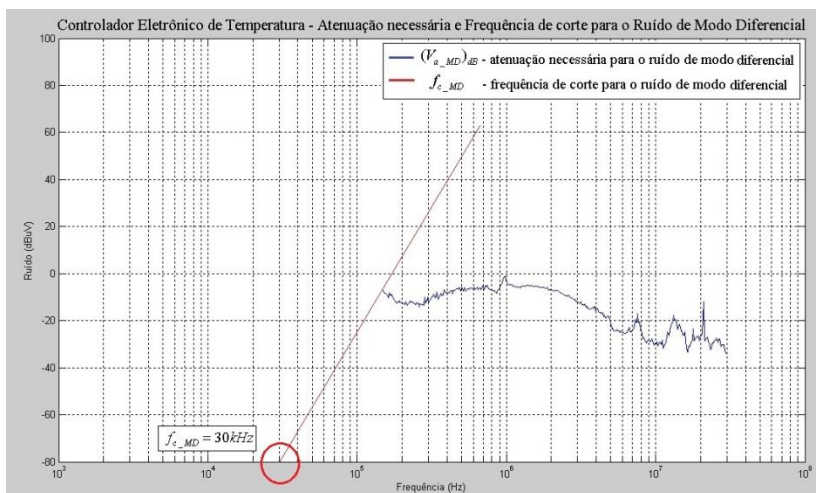


Figura 4.53: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

A frequência de corte para o ruído de modo comum, f_{c_MC} e a frequência de corte do ruído de modo diferencial, f_{c_MD} são obtidas através da linha vermelha, traçadas na Figura 4.52 e na Figura 4.53, que representa a linha de 40dB/dec.

A frequência de corte para o ruído de modo comum e modo diferencial pode ser observada na intersecção entre a linha de 40dB/dec e o eixo das frequências. Optou-se em estipular um valor fixo, de $-80dB\mu V$, para o eixo das frequências que atenda a todos os equipamentos estudados.

Sendo que a frequência de corte para o ruído de modo comum possui um valor de $f_{c_MC} = 10kHz$.

E a frequência de corte para o ruído de modo diferencial possui um valor de $f_{c_MD} = 30kHz$.

Aplicando o procedimento para determinar as frequências de corte visualizando apenas os ruídos atenuados no espectro de baixa frequência, tem-se a Figura 4.54 que mostra a atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum. E a Figura 4.55 que mostra a atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

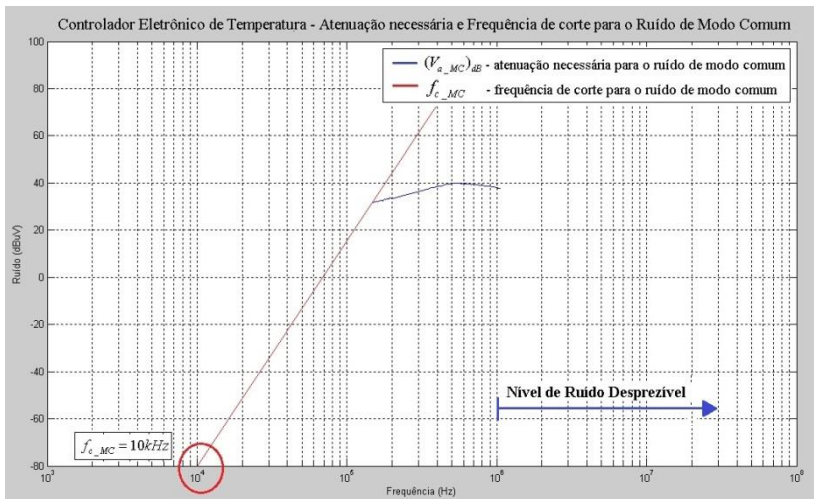


Figura 4.54: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

Ao analisar a Figura 4.54 e a Figura 4.55 percebe-se que os valores das frequências de corte de modo comum e modo diferencial são os mesmos ao comparar com os dados gerados através da curva de atenuação da Figura 4.52 e da Figura 4.53, considerando todo o espectro de frequência.

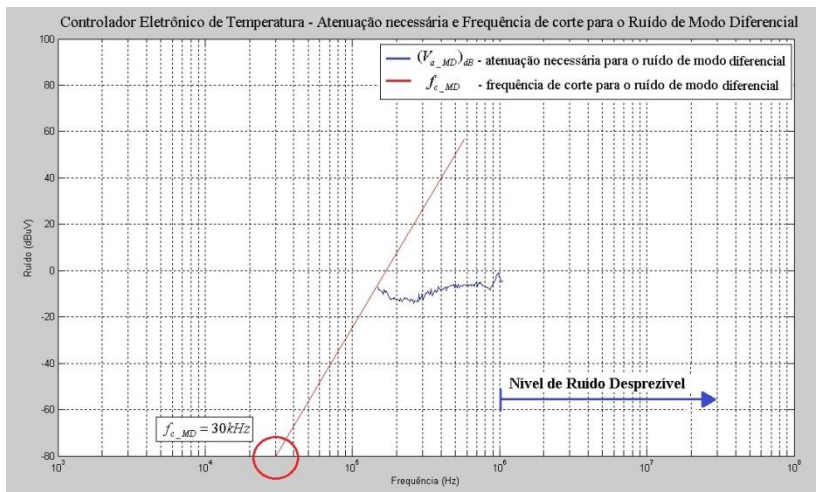


Figura 4.55: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Determinando os valores dos demais componentes do filtro:

a) Componentes de modo comum - L_{MC} e C_y

Para uma tensão de alimentação de 220V e operação em 60Hz, através de (3.3), tem-se:

$$C_y \geq 3,0nF$$

Adotando valor comercial para os capacitores tipo Y tem-se:

$$C_y = 3,3nF$$

Para $f_{c_MC} = 10kHz$ e $C_y = 3,3nF$, através de (3.4), tem-se:

$$L_{MC} = 39mH \text{ e } L_{dispers\tilde{a}o} = 560\mu H$$

Para $f_{c_MD} = 30kHz$ e $L_{dispers\tilde{a}o} = 560\mu H$, através de (3.5), tem-se:

$$C_{x1} = C_{x2} = C_{xMD} = 47\eta F$$

Os valores dos componentes calculados para o filtro de EMI que será utilizado no controlador eletrônico de temperatura podem ser visualizados na Tabela 4-2:

VALORES DOS COMPONENTES DO FILTRO DE EMI PROJETADO	
Componentes	Valores
$C_{Y1} = C_{Y2}$	$3,3nF$
L_{MC}	$39mH$
$C_{X1} = C_{X2}$	$47\eta F$
$L_{MD} = L_{dispersão}$	$560\mu H$

Tabela 4-2: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para o controlador eletrônico de temperatura

A Figura 4.56 representa a topologia adotada para filtros de EMI.

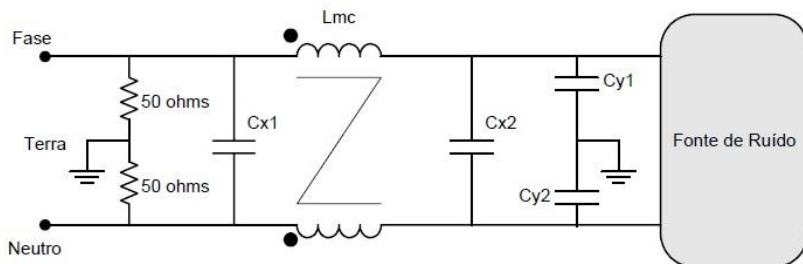


Figura 4.56: Topologia adotada para filtro de EMI.

As emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, medidas em carga mínima e com o uso do filtro de EMI projetado, são apresentadas na Figura 4.57.

Ao analisar a Figura 4.57, percebe-se que a atenuação decorrente da inserção do filtro de EMI projetado, na entrada da alimentação do controlador eletrônico de temperatura, fez com que as emissões ficassem dentro dos limites.

Sabe-se que não há uma margem estipulada para o equipamento estar em conformidade com a norma, sendo assim, o controlador eletrônico de temperatura com o filtro de EMI está em conformidade com a norma destinada a equipamentos domésticos.

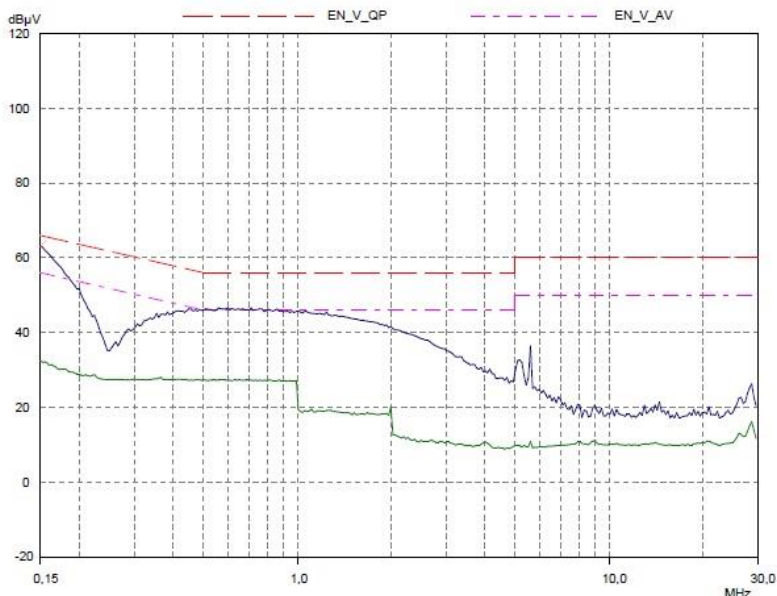


Figura 4.57: Espectro das emissões conduzidas do controlador eletrônico de temperatura, em carga mínima, medidas com a inserção de filtro de EMI.

Fez-se o projeto de filtro de EMI, para os demais equipamentos, utilizando os dados obtidos através das medidas com o dispositivo separador de ruídos, seguindo todos os procedimentos descritos no capítulo 3, conforme referência [9], [21], [23].

Desenvolveram-se os projetos de filtro de EMI, conforme o projeto do controlador eletrônico de temperatura. Portanto, não serão expostos detalhadamente todos os passos seguidos para obter os valores dos componentes de modo comum e modo diferencial. Optou-se por demonstrar a curva de atenuação e a reta tangencial, para cada equipamento, determinando a frequência de corte e os valores dos demais componentes do filtro obtidos através das equações (3.3), (3.4) e (3.5).

4.7.2. Reator Eletrônico para Lâmpada Fluorescente

A Figura 4.58 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. A Figura 4.59 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Aplicando o procedimento para determinar as frequências de corte visualizando apenas a atenuação até a frequência de 1 MHz, tem-se a Figura 4.60 e a Figura 4.61 que apresentam a atenuação até 1 MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum e de modo diferencial, respectivamente. Ao comparar os resultados, percebe-se que os valores das frequências de corte de modo comum e modo diferencial são iguais.

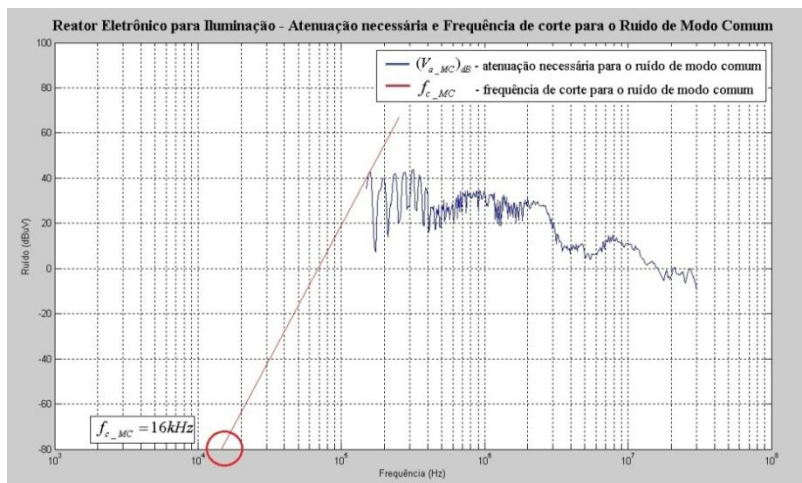


Figura 4.58: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

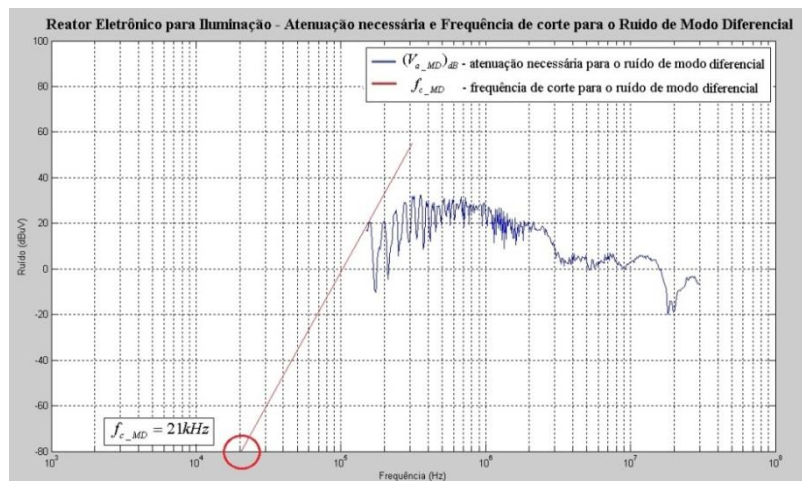


Figura 4.59: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Sendo que a frequência de corte para o ruído de modo comum possui um valor de $f_{c_MC} = 16\text{kHz}$.

E a frequência de corte para o ruído de modo diferencial possui um valor de $f_{c_MD} = 21\text{kHz}$.

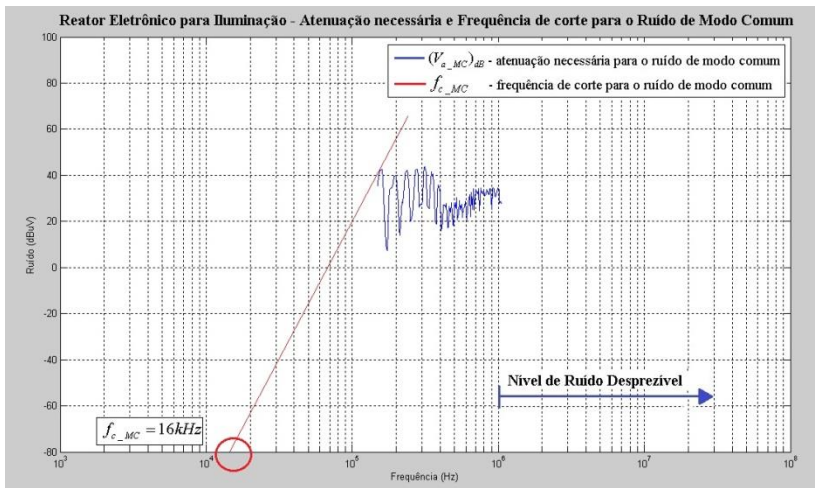


Figura 4.60: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

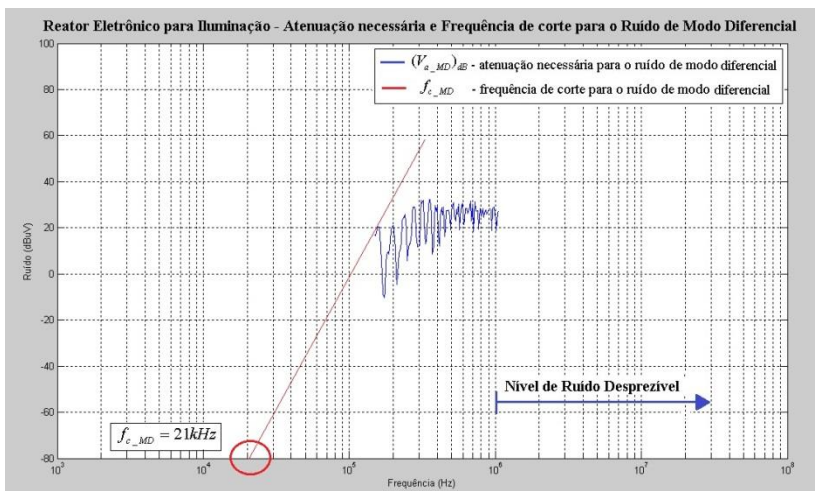


Figura 4.61: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Os valores dos componentes calculados para o filtro de EMI que será utilizado reator eletrônico podem ser visualizados na Tabela 4-3.

VALORES DOS COMPONENTES DO FILTRO DE EMI PROJETADO	
Componentes	Valores
$C_{Y1} = C_{Y2}$	$3,3nF$
L_{MC}	$15mH$
$C_{X1} = C_{X2}$	$300nF$
$L_{MD} = L_{dispersão}$	$220\mu H$

Tabela 4-3: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para o reator eletrônico.

A Figura 4.62 e a Figura 4.63 representam os espectros das emissões conduzidas dos condutores fase e neutro, respectivamente, medidas no reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes após a inserção do filtro de EMI projetado.

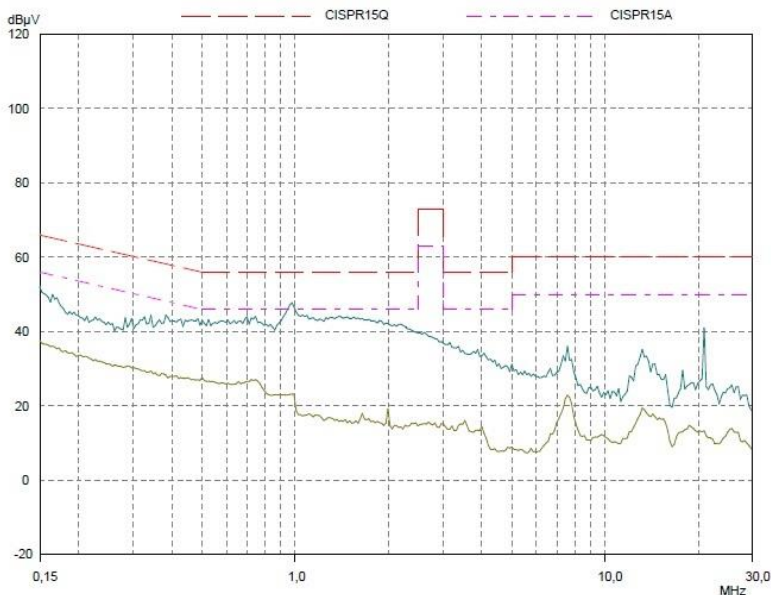


Figura 4.62: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor fase após a inserção de filtro de EMI.

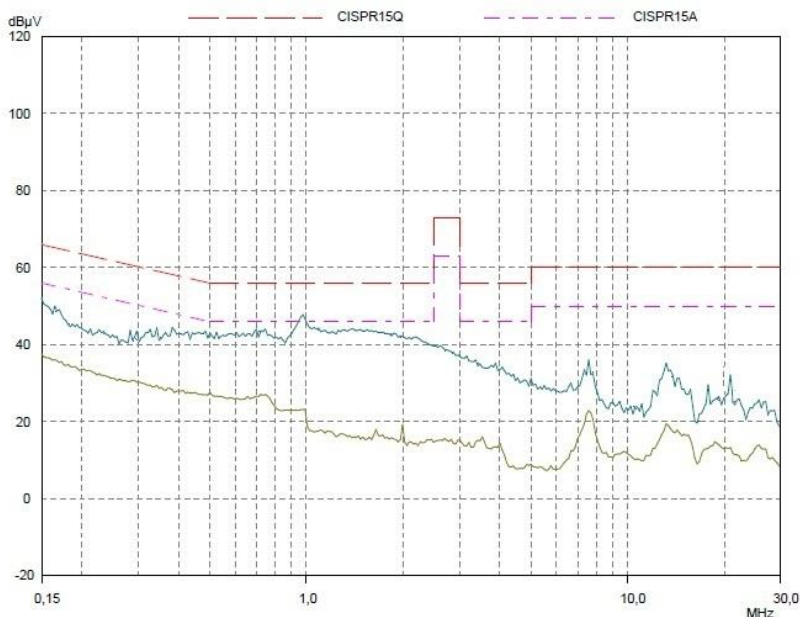


Figura 4.63: Espectro das emissões conduzidas do reator eletrônico, medidas no condutor neutro após a inserção de filtro de EMI.

Percebe-se na Figura 4.62 e na Figura 4.63 que os níveis de ruído, tanto do condutor fase quanto do condutor neutro, estão em conformidade com a norma CISPR 15.

4.7.3. Estação de Solda

A Figura 4.64 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum. A Figura 4.65 mostra a atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Aplicando o procedimento para determinar as frequências de corte visualizando o ruído atenuado até 1 MHz, tem-se a Figura 4.66 que mostra a atenuação necessária até 1 MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum. E a Figura 4.67 que mostra a atenuação necessária até 1 MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial. Ao analisar estas figuras, percebe-se que os valores da frequência de corte para o modo comum e a frequência de corte determinada para o modo diferencial são as mesmas.

A frequência de corte para o ruído de modo comum possui um valor de $f_{c_MC} = 10kHz$.

E a frequência de corte para o ruído de modo diferencial possui um valor de $f_{c_MD} = 30kHz$.

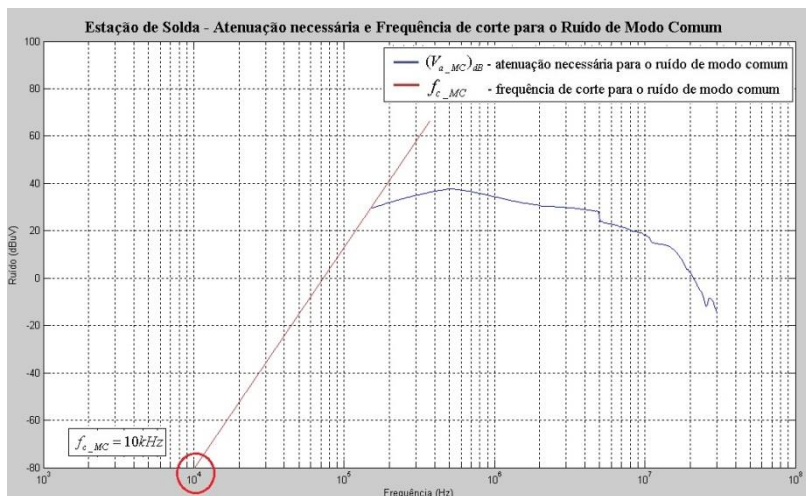


Figura 4.64: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

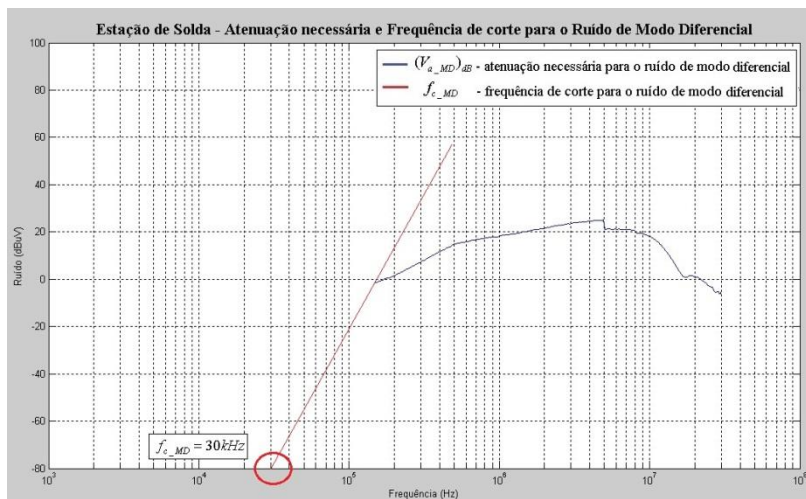


Figura 4.65: Atenuação necessária e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

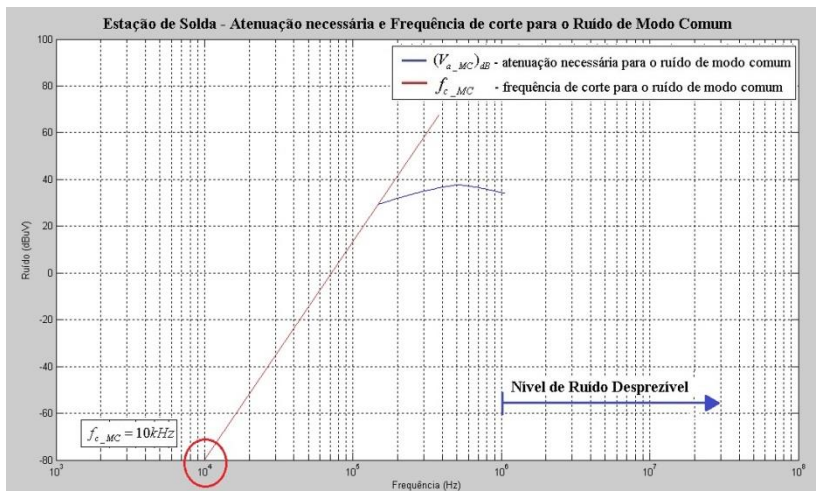


Figura 4.66: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo comum.

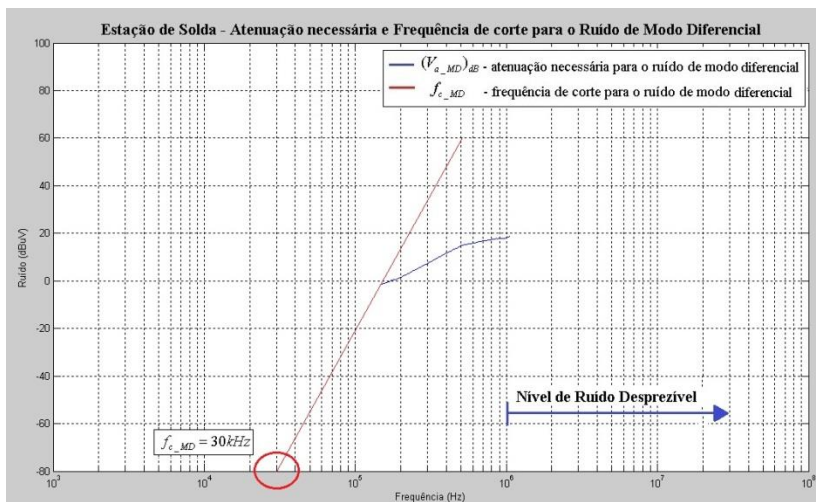


Figura 4.67: Atenuação necessária até 1MHz e a frequência de corte para o ruído de modo diferencial.

Os valores dos componentes calculados para o filtro de EMI que será utilizado na estação de solda podem ser visualizados na Tabela 4-4.

VALORES DOS COMPONENTES DO FILTRO DE EMI PROJETADO	
Componentes	Valores
$C_{Y1} = C_{Y2}$	$3,3nF$
L_{MC}	$39mH$
$C_{X1} = C_{X2}$	$47nF$
$L_{MD} = L_{dispersão}$	$560\mu H$

Tabela 4-4: Valores dos componentes do filtro de EMI projetado para a estação de solda.

As emissões conduzidas medidas na estação de solda em carga mínima e com o uso do filtro de EMI projetado são apresentadas na Figura 4.68.

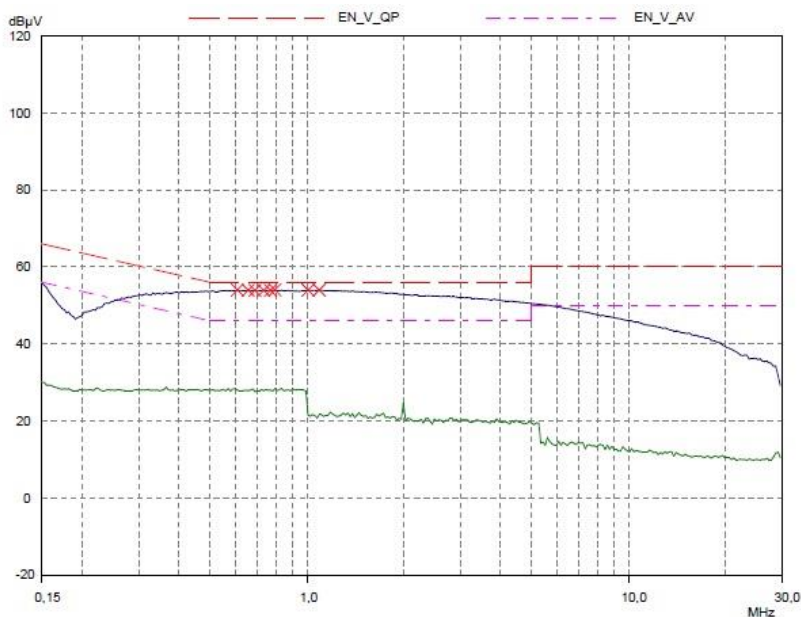


Figura 4.68: Espectro das emissões conduzidas da estação de solda, em carga mínima, medidas com a inserção de filtro de EMI.

Ao analisar a Figura 4.68, percebe-se que a atenuação decorrente da inserção do filtro de EMI projetado, na entrada da alimentação da

estação de solda, fez com que as emissões ficassem dentro dos limites estipulados pela norma CISPR 14.

Destaca-se que o foco deste trabalho, ao aplicar a técnica corretiva de EMI, é comprovar a viabilidade de fazer um projeto de filtro de EMI específico para cada equipamento, conforme referência [9], [21]. No entanto, há várias topologias de filtro de EMI que não foram aplicadas por não fazer parte do escopo desta pesquisa.

4.8. Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os equipamentos utilizados para fazer a análise dos componentes de ruídos de modo comum e modo diferencial. O modo de propagação das correntes de modo comum e modo diferencial foram predominantes para a escolha dos equipamentos. Foram analisados dois equipamentos sem aterramento, o controlador de temperatura eletrônico e o reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes e um equipamento com aterramento, a estação de solda, por possuir características similares ao controlador eletrônico de temperatura.

Tanto nos equipamentos sem aterramento, quanto no equipamento com aterramento, foram realizadas as análises dos componentes de modo comum e modo diferencial através do método teórico e utilizando o dispositivo separador.

Percebeu-se que os resultados de ambos os equipamentos foram satisfatórios, tendo um erro pequeno entre os dois métodos. Isto indica que o dispositivo separador de ruídos, conforme a referência [6], pode ser utilizado para fazer a separação dos ruídos de modo comum e modo diferencial em equipamentos que não estão em conformidade com a norma.

Através das análises, pode-se observar que o dispositivo separador gera, também, um resultado satisfatório em equipamentos que possuem magnitudes diferentes entre os condutores fase e neutro, como no caso do reator eletrônico de temperatura.

Comprovou-se a viabilidade da aplicação da técnica de redução de EMI, através de um projeto de filtro de ruídos específico para cada equipamento. De acordo com os resultados, percebe-se que o dispositivo separador de ruídos é uma ferramenta de diagnóstico que tem funcionalidade e pode ser utilizada para determinar o ruído dominante ao longo das emissões do espectro de frequência. Logo, o processo para minimizar as emissões fica menos trabalhoso, tornando-se mais eficaz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As interferências eletromagnéticas, causadas por aparelhos elétricos e eletrônicos de uso doméstico, estão ficando cada vez mais evidentes. Esses aparelhos, além de susceptíveis, também são geradores de ruído eletromagnética, principalmente emissões conduzidas, cujo meio de propagação dá-se através da rede elétrica.

Neste trabalho foram estudadas as emissões conduzidas geradas por equipamentos de uso doméstico, principalmente os que possuem controlador eletrônico de temperatura. Sabe-se que as emissões conduzidas são um combinado das correntes de modo comum e modo diferencial. Portanto, o estudo foi voltado para os componentes de propagação de modo comum e modo diferencial, propondo a utilização de um dispositivo separador de ruídos com uma metodologia diferenciada, utilizando duas LISN na configuração de ensaio, conforme especificado em [1].

O dispositivo separador de ruídos demonstrou ser eficiente ao diagnosticar o modo predominante na emissão conduzida de um equipamento. Em geral, foi possível obter resultados satisfatórios, tendo em média um erro de 12%, ao comparar os resultados gerados pelo dispositivo separador com os dados do método teórico.

Ao analisar os resultados do controlador eletrônico de temperatura e da estação de solda, percebe-se que os dados obtidos com os ensaios de emissão conduzida realizados na estação de solda foram mais regulares e coerentes. Este resultado é atribuído ao fato da estação de solda possuir aterramento. Logo, a propagação de modo comum se faz via aterramento e não através de capacitância parasita.

Ao utilizar as duas técnicas para fazer a separação dos componentes de modo comum e modo diferencial, percebe-se que o método teórico é mais trabalhoso. Tem-se a necessidade de fazer as medições nos condutores fase e neutro (separadamente), utilizar uma planilha eletrônica para fazer os cálculos pertinentes e aplicar os resultados em um software simulador (MatLab) para obter os componentes de ruído de modo comum e modo diferencial.

Já a técnica de medição utilizando um dispositivo separador de ruídos com duas LISN na configuração de ensaio, faz o diagnóstico imediato dos componentes de modo comum e modo diferencial.

Ao determinar o componente de ruído predominante em um determinado equipamento, os trabalhos e custos são reduzidos. Através da análise do espectro consegue-se verificar rapidamente o ruído de maior magnitude e minimizá-lo até deixá-lo em níveis aceitáveis pela norma. Visto que, o custo em um laboratório para creditar o equipamento é elevado.

O objetivo de utilizar técnica corretiva com a aplicação de um filtro de EMI projetado para reduzir a EMI dos equipamentos estudados foi alcançado. Todos os equipamentos ficaram em conformidade com a norma após a inserção do filtro projetado. Logo, comprova-se a viabilidade deste projeto de filtro de EMI, conforme [9], [21], sendo que o filtro foi elaborado de acordo com o modo de propagação da emissão conduzida, atuando tanto nas emissões de modo comum e modo diferencial.

Outro fator relevante, em relação ao filtro de EMI, está relacionado com o projeto. Percebeu-se ao longo deste processo que não há necessidade de considerar todo o espectro de frequência para determinar as frequências de corte para o modo comum e modo diferencial [21].

A seguir, são sugeridos alguns tópicos para trabalhos futuros, tais como:

- Desenvolvimento de um programa para fazer a separação dos componentes de modo comum e modo diferencial a partir da inserção dos dados obtidos através das medidas realizadas nos condutores fase e neutro;
- Continuidade dos estudos sobre separação dos componentes de emissão de modo comum e modo diferencial, utilizando o dispositivo separador, estendendo o estudo para outros tipos de equipamentos;
- Fazer um estudo com diversos equipamentos relacionando os três tipos de redes de rejeição: a rede de rejeição de modo comum, a rede de rejeição de modo diferencial e a rede de rejeição alternável;

- Aplicar as técnicas preventivas e corretivas de redução de EMI, e estudar os efeitos causados por essas técnicas na emissão radiada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*: Wiley, 2011.
- [2] C. R. Paul, *Introduction to electromagnetic compatibility*, 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006.
- [3] V. P. Kodali and M. Kanda, *Emc/Emi: Selected Readings*: IEEE, 1996.
- [4] V. P. Kodali and I. E. C. Society, *Engineering electromagnetic compatibility: principles, measurements, and technologies*: IEEE Press, 1996.
- [5] A. K. Ries, "Contribuição ao Estudo da Interferência Eletromagnética em Fontes Chaveadas para Uso Comercial," ed. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [6] C. R. P. a. K. B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions," ed, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 30, pp. 553-560, Nov 1988.
- [7] I. E. COMMISSION., "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1: Radio disturbance a and immunity measuring apparatus," ed, CISPR 16-1, Geneva, 1993.
- [8] I. E. COMMISSION., "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2:Methods of measurement of disturbance and immunity," ed, CISPR 16-2, Geneva, 1996.
- [9] M. B. d. Liz, "Contribuição para a Redução da Interferência Eletromagnética em Fontes Chaveadas," ed. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [10] L. Tihanyi, *Electromagnetic compatibility in power electronics*: IEEE Press, 1995.
- [11] V. P. KODALI, "Engineering Eletromagnetic Compatibility - Principles, Measurements, and Technologies," in *IEEE Press, Piscataway, NJ*, ed, 1996.
- [12] L. C. M. Schlichting, "Contribuição ao Estudo da Compatibilidade Eletromagnética Aplicada aos Conversores Estáticos," ed. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- [13] W. V. Junior, "Aplicação Coordenada das Técnicas de Medição, Simulação Numérica, e Otimização para o Mapeamento do

- Ambiente Eletromagnético em Hospitais," ed. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- [14] M. B. d. Liz, "Introdução à Compatibilidade Eletromagnética em Conversores Estáticos," ed. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- [15] I. E. COMMISSION., " Electromagnetic Compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission. ," ed, CISPR 14 - 1, Geneva, 2005.
- [16] J. Stahl, *et al.*, "Characterization of a modified LISN for effective separated measurements of common mode and differential mode EMI noise," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE*, 2010, pp. 935-941.
- [17] C. R. Paul, "A comparison of the contributions of common-mode and differential-mode currents in radiated emissions," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, vol. 31, pp. 189-193, 1989.
- [18] M. C. Caponet and F. Profumo, "Devices for the separation of the common and differential mode noise: design and realization," in *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE*, 2002, pp. 100-105 vol.1.
- [19] M. C. Caponet, *et al.*, "Common and differential mode noise separation: comparison of two different approaches," in *Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual*, 2001, pp. 1383-1388 vol. 3.
- [20] E. F. Magnus, "Desenvolvimento de uma Ferramenta para ensaios de EMI conduzida de Baixo Custo," ed. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2001.
- [21] S. Fu-Yuan, *et al.*, "A procedure for designing EMI filters for AC line applications," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 11, pp. 170-181, 1996.
- [22] N. Liu and Y. Yang, "A Common Mode and Differential Mode Integrated EMI Filter," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International*, 2006, pp. 1-5.
- [23] L. Yuang-Shung and S. Yu, "Line filter design of switching mode power supply using software approximation for conducted emission separation," in *Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on*, 2003, pp. 1339-1344 Vol.2.
- [24] V. Serrao, *et al.*, "Common and differential mode EMI filters for power electronics," in *Power Electronics, Electrical Drives*,

Automation and Motion, 2008. SPEEDAM 2008. International Symposium on, 2008, pp. 918-923.

- [25] L. Yu-Kang, *et al.*, "A software-based CM and DM measurement system for the conducted EMI," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 47, pp. 977-978, 2000.
- [26] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic devices and circuit theory*: Prentice-Hall, 1972.
- [27] I. E. COMMISSION., "Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment.," CISPR 15, Geneva, 2005.

ANEXO A – Data Sheet do Transformador

Disponível em: <http://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/255871/SIRENZA-LF-428.html>

LF-428/LF-432
Wideband
RF/Pulse
Transformers
.01-50 MHz/.01-25 MHz

**DESCRIPTION**

The LF series offers a variety of transformer configurations over the 10 KHz to 100 MHz frequency range.

Typical applications are: Interstage coupling, voltage/current transformation, and pulse transformation.

The transformer circuitry is packaged in an epoxy housing. All models are designed to meet MIL-T-55631 and are recommended for use over the -54°C to $+100^{\circ}\text{C}$ temperature range.

GUARANTEED MINIMUM PERFORMANCE DATA**SPECIFICATIONS FOR MODEL LF-428**

Type: 50 ohm unbalanced	
200 ohm balanced	
DC isolated	
-1 dB Bandwidth, MHz	.01-50
Midband insertion loss dB	.5
Amplitude unbalance dB	1.0
Phase unbalance (deviation from 180°) ^a	10
VSWR	2:1

SPECIFICATIONS FOR MODEL LF-432

Type: 50 ohm unbalanced	
600 ohm balanced	
DC isolated	
-1 dB Bandwidth, MHz	.01-25
Midband insertion loss dB	.75
Amplitude unbalance dB	.75
Phase unbalance (deviation from 180°) ^a	15
VSWR	1.5:1

NOTE:

^a -1 dB bandwidth is measured relative to midband loss.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS:

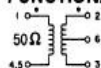
Input power 2 w, limited by $(I_{PC2} + I_{RF2}) \leq P_{max}$
Temperature range -54°C to $+100^{\circ}\text{C}$

ENVIRONMENTAL CONDITIONS**GUARANTEED ENVIRONMENTAL PERFORMANCE:**

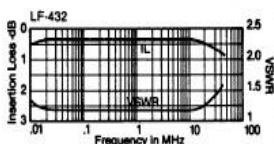
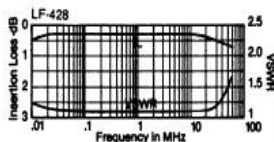
All units are designed to meet their specifications over -54°C to $+100^{\circ}\text{C}$ and after exposure to any or all of the following tests per MIL-STD-202E.

Exposure	Method	Condition	Test
Thermal Shock	107D	B	
Altitude	105C	G	
H.F. Vibration	204C	D	
Mechanical Shock	213B	C	
Random Vibration	214	IIF	
(15 minutes per axis)			
Solderability	208C		
Terminal Strength	211A	C	
Resistance to Soldering Heat	210A	B	

Sealed units, meet the requirements of Method 106D of MIL-STD-202E when exposed to humidity.

FUNCTIONAL SCHEMATIC

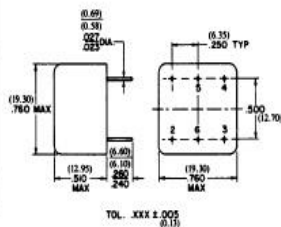
Specifications subject to change without notice.

TYPICAL PERFORMANCE**PACKAGE****MATERIAL:**

Header: Epoxy
Leads: Phosphor Bronze, Grade A, Spring temper

FINISH:

Header: Glossy red Diallyl Phthalate
Leads: Silver plated per QQ-S-365A, Type I, Grade B



TOL. .XXX ± .005
(0.15)

8.10.04 Rev. A

ANEXO B – Data Sheet do Transformador Utilizado no Dispositivo Separador

Disponível em: <http://www.arrow.com/item/detail/pulse/cx2060>

RF TRANSFORMERS Surface Mount and Through Hole



- Operating bandwidth of .08 MHz to 400 Mhz
- Peak IR reflow temperature rating of 235°C
- Excellent insertion loss and return loss
- Various impedance ratios available

Electrical Specifications @ 25°C — Operating Temperature -40°C to +85°C

Part Number	Impedance Ratio ¹ (Pri:Sec)	Turns Ratio ¹ (Pri:Sec)	Bandwidth ² (3 dB, MHz)	Schematic	Primary Pins
SURFACE MOUNT					
CX2050	1:1	1:1	.15-400	A	4-6
CX2052	1:1CT	1:1CT	.08-200	B	4-6
CX2054	1:4CT	1:2CT	.20-350	B	4-6
CX2059	1:9	1:3	.15-200	A	4-6
THROUGH HOLE					
CX2060	1:1	1:1	.15-400	A	4-6
CX2062	1:1CT	1:1CT	.08-200	B	4-6
CX2064	1:4CT	1:2CT	.20-350	B	4-6
CX2065	1:4CT	1:2CT	.02-250	B	4-6
CX2068	1:12.25	1:3.5	.20-150	C	1-3

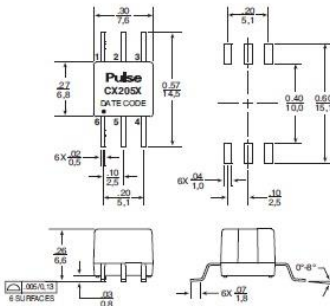
NOTE: Optional Tape & Reel packaging can be ordered by adding a "T" suffix to the surface mount part numbers (ex. CX2050T). Bandwidth is referenced to midband loss.

Mechanicals

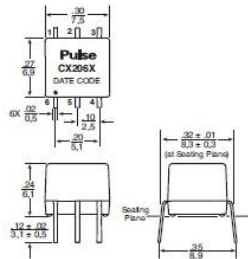
Schematics

STRA

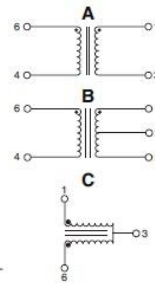
Surface Mount



Through Hole



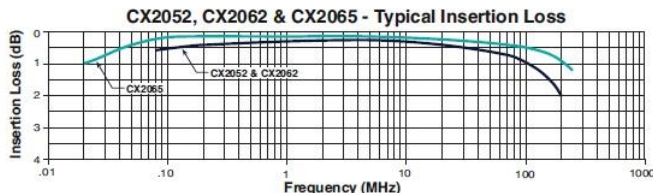
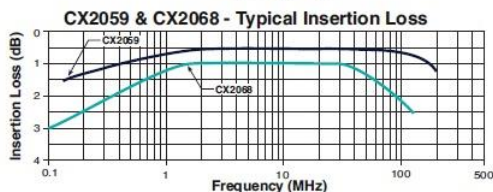
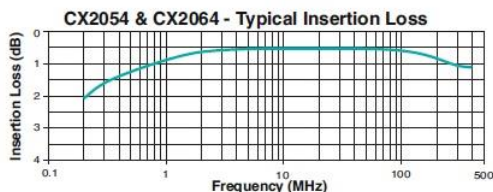
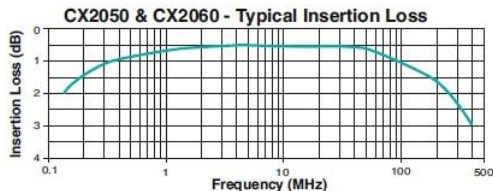
Dimensions: **inches**
mm
Unless otherwise specified,
all tolerances are ± **.010**
0.25



RF Power 0.25 watts
Absolute DC Current 30 mA
Weight 0.6 grams
Tape & Reel 475/reel
Tube 65/tube

RF TRANSFORMERS

Surface Mount and Through Hole



Application Notes

- Bandwidth specifications are for a 75 Ω system.
- Materials used in the products are UL94-V0 recognized. Products meet the requirements of IEC 695-2-2 (Needle Flame Test).

Notes from Tables

- Impedance and turns ratios are specified primary:secondary. (CT=Center Tap).
- Bandwidth is referenced to midband loss.
- The insertion loss of these transformers is verified from -40°C to +85°C. Contact Pulse Applications Engineering for extended temperature performance data.
- Return loss performance changes with change in temperature.

For More Information :

UNITED STATES (Worldwide)	UNITED KINGDOM (Northern Europe)	FRANCE (Southern Europe)	SINGAPORE (Southern Asia)	TAIWAN, R.O.C. (Northern Asia)	HONG KONG (China/Hong Kong)	DISTRIBUTOR
12220 World Trade Drive San Diego, CA 92128 U.S.A. http://www.pulseeng.com TEL: 858 674 8100 FAX: 858 674 8262	1 & 2 Huxley Road The Surrey Research Park Guildford, Surrey GU2 5RE United Kingdom TEL: 44 1483 401700 FAX: 44 1483 401701	Zone Industrielle F-30270 Orgelet France TEL: 33 3 84 35 04 04 FAX: 33 3 84 25 46 41	150 Kampong Ampat #07-01/02 KA Centre Singapore 388324 TEL: 65 6287 8998 FAX: 65 6280 0080	3F-4, No. 81, Sec. 1 HsinTai Wu Road Hsi-Chih, Taipei Hsien Taiwan, R.O.C. Tel: 886 2 2698 0228 FAX: 886 2 2698 0948	9/F, Phase 2, Tai Sang Shatin Warehouse Centre 6 Wong Chuk Yeung Street Folan, Shatin, Hong Kong TEL: 852 2788 6588 FAX: 852 2776 1055	

Performance warranty of products offered on this data sheet is limited to the parameters specified. Data is subject to change without notice. Other brand and product names mentioned herein may be products and/or registered trademarks of their respective owners.

♻️ Printed on recycled paper. ©2003, Pulse Engineering, Inc. All Rights Reserved.

C206.A (10/03)

ANEXO C – Data Sheet dos Capacitores Tipo X2

Disponível em: <http://datasheet.octopart.com/B32924C3225M-EPCOS-datasheet-25713.pdf>



Film Capacitors

EMI Suppression Capacitors (MKP)

Series/Type: B32921 ... B32926
Date: May 2005

© EPCOS AG 2005. Reproduction, publication and dissemination of this data sheet, enclosures hereto and the information contained therein without EPCOS' prior express consent is prohibited.

Purchase orders are subject to the General Conditions for the Supply of Products and Services of the Electrical and Electronics Industry recommended by the ZVEI (German Electrical and Electronic Manufacturers' Association), unless otherwise agreed.



EMI suppression capacitors (MKP)

B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

Typical applications

- X2 class for interference suppression
- "Across the line" applications

Climatic

- Max. operating temperature: 125 °C
- Climatic category (IEC 60068-1): 40/105/56

Construction

- Dielectric: polypropylene (MKP)
- Plastic case (UL 94 V-0)
- Epoxy resin sealing (UL 94 V-0)

Features

- Very small dimensions
- Self-healing properties

Terminals

- Parallel wire leads, lead-free tinned
- Standard lead lengths: 6 – 1 mm
- Special lead lengths available on request

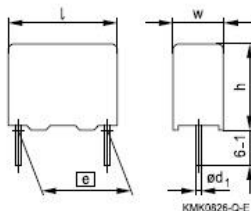
Marking

Manufacturer's logo, lot number, date code, rated capacitance (coded), cap. tolerance (code letter), rated AC voltage, series number, sub-class (X2), dielectric code (MKP), climatic category, passive flammability category, approvals.

Delivery mode

Bulk (untaped)
Taped (Ammo pack or reel)
For taping details, refer to chapter "Taping and packing".

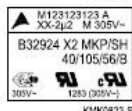
Dimensional drawing



Dimensions in mm

Lead spacing e	Lead diameter d_1	Type
± 0.4		
10	0.6	B32921
15	0.8	B32922
22.5	0.8	B32923
27.5	0.8	B32924
37.5	1.0	B32926

Marking examples

 $e = 10$ mm $e \geq 15$ mm/ $C_R \leq 1$ μ F $e = 22.5, 27.5, 37.5$ mm/ $C_R > 1$ μ F

Approvals

Marks of conformity	Standards	Certificate
	EN 13240, IEC 60384-14	40005536/40010694
	UL 1414 / UL 1283	E97863 / E157153
	CSA C22.2 No.1 / No. 8	E97863 / E157153 (approved by UL)
	CQC (GB/T 14472-1998)	CQC001007-14859



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC



Overview of available types

Lead spacing	10 mm	15 mm	22.5 mm	27.5 mm	37.5 mm
Type	B32921	B32922	B32923	B32924	B32926
C_n (μ F)					
0.010					
0.022					
0.033					
0.047					
0.068					
0.10					
0.15					
0.22					
0.33					
0.47					
0.56					
0.68					
0.82					
1.0					
1.5					
2.2					
3.3					
4.7					
5.6					
6.8					
8.2					
10					



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

Ordering codes and packing units

Lead spacing	C _R	Max. dimensions w × h × l	Ordering code (composition see below)	Ammo pack	Reel	Untaped
mm	μF	mm		pcs./unit	pcs./unit	pcs./unit
10	0.010	4.0 × 9.0 × 13.0	B32921C3103+***	1000	1700	1000
	0.022	4.0 × 9.0 × 13.0	B32921C3223+***	1000	1700	1000
	0.033	4.0 × 9.0 × 13.0	B32921C3333+***	1000	1700	1000
	0.047	5.0 × 11.0 × 13.0	B32921C3473+***	830	1300	1000
	0.047	6.0 × 12.0 × 13.0	B32921A2473+***	680	1100	1000
	0.068	6.0 × 12.0 × 13.0	B32921A2683M***	680	1100	1000
	0.068	6.0 × 12.0 × 13.0	B32921C3683+***	680	1100	1000
	0.10	6.0 × 12.0 × 13.0	B32921A2104M***	680	1100	1000
	0.10	6.0 × 12.0 × 13.0	B32921C3104M***	680	1100	1000
15	0.033	5.0 × 10.5 × 18.0	B32922C3333+***	1170	1300	1000
	0.047	5.0 × 10.5 × 18.0	B32922C3473+***	1170	1300	1000
	0.068	6.0 × 11.0 × 18.0	B32922A2683+***	960	1100	1000
	0.068	5.0 × 10.5 × 18.0	B32922C3683+***	1170	1300	1000
	0.10	6.0 × 11.0 × 18.0	B32922A2104+***	960	1100	1000
	0.10	5.0 × 10.5 × 18.0	B32922C3104+***	1170	1300	1000
	0.15	7.0 × 12.5 × 18.0	B32922A2154+***	830	900	1000
	0.15	6.0 × 12.0 × 18.0	B32922C3154+***	960	1100	1000
	0.22	8.5 × 14.5 × 18.0	B32922A2224+***	680	700	500
	0.22	8.0 × 14.0 × 18.0	B32922T2224+***	730	750	500
	0.22	7.0 × 12.5 × 18.0	B32922C3224+***	830	900	1000
	0.22	8.0 × 14.0 × 18.0	B32922T3224+***	730	750	500
	0.33	9.0 × 17.5 × 18.0	B32922A2334+***	640	700	500
	0.33	13.0 × 14.0 × 18.0	B32922T2334+***	–	500	300
	0.33	8.0 × 14.0 × 18.0	B32922C3334M***	730	750	500
	0.33	8.5 × 14.5 × 18.0	B32922D3334+***	680	700	500
	0.33	13.0 × 14.0 × 18.0	B32922T3334+***	–	500	300
	0.47	9.0 × 17.5 × 18.0	B32922C3474+***	640	700	500
	0.56	11.0 × 18.5 × 18.0	B32922C3564+***	–	550	250
	0.68	11.0 × 18.5 × 18.0	B32922C3684M***	–	550	250

Composition of ordering code

+ = Capacitance tolerance code:

M = ±20%

K = ±10%

*** = Packaging code:

289 = Ammo pack

199 = Reel

000 = Untaped (lead length 6 – 1 mm)

(Closer tolerances on request)



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

X2



Ordering codes and packing units

Lead spacing	C _R	Max. dimensions w × h × l	Ordering code (composition see below)	Ammo pack	Reel	Untaped
mm	μF	mm		pcs./unit	pcs./unit	pcs./unit
22.5	0.33	8.5 × 16.5 × 26.5	B32923A2334+***	480	500	510
	0.33	6.0 × 15.0 × 26.5	B32923C3334M***	680	700	720
	0.33	7.0 × 16.0 × 26.5	B32923D3334+***	580	600	630
	0.33	7.5 × 14.0 × 26.5	B32923T3334+***	550	500	570
	0.47	8.5 × 16.5 × 26.5	B32923A2474M***	480	500	510
	0.47	10.5 × 16.5 × 26.5	B32923B2474+***	390	400	540
	0.47	8.5 × 16.5 × 26.5	B32923C3474+***	480	500	510
	0.56	8.5 × 16.5 × 26.5	B32923C3564M***	480	500	510
	0.68	10.5 × 18.5 × 26.5	B32923A2684M***	390	400	540
	0.68	10.5 × 20.5 × 26.5	B32923B2684+***	390	400	540
	0.68	10.5 × 16.5 × 26.5	B32923C3684+***	390	400	540
	0.82	10.5 × 18.5 × 26.5	B32923C3824M***	390	400	540
	1.0	12.0 × 22.0 × 26.5	B32923A2105M***	–	–	450
	1.0	11.0 × 20.5 × 26.5	B32923C3105+***	370	350	510
	1.5	12.0 × 22.0 × 26.5	B32923C3155M***	–	–	450
	1.5	14.5 × 29.5 × 26.5	B32923D3155+***	–	–	260
	2.2	14.5 × 29.5 × 26.5	B32923C3225+***	–	–	260

Composition of ordering code

+ = Capacitance tolerance code:

M = ±20%

K = ±10%

*** = Packaging code:

289 = Ammo pack

189 = Reel

000 = Untaped (lead length 6 – 1 mm)

(Closer tolerances on request)



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

Ordering codes and packing units

Lead spacing mm	C _R μF	Max. dimensions w × h × l mm	Ordering code (composition see below)	Ammo pack pcs./unit	Reel pcs./unit	Untaped pcs./unit
27.5	0.68	11.0 × 19.0 × 31.5	B32924C3684+***	–	350	320
	0.82	11.0 × 19.0 × 31.5	B32924C3824+***	–	350	320
	1.0	11.0 × 21.0 × 31.5	B32924A2105+***	–	350	320
	1.0	11.0 × 19.0 × 31.5	B32924C3105+***	–	350	320
	1.5	13.5 × 23.0 × 31.5	B32924A2155M***	–	250	260
	1.5	14.0 × 24.5 × 31.5	B32924B2155+***	–	–	260
	1.5	12.5 × 21.5 × 31.5	B32924C3155+***	–	300	280
	2.2	18.0 × 27.5 × 31.5	B32924A2225+***	–	–	200
	2.2	14.0 × 24.5 × 31.5	B32924C3225+***	–	–	260
	3.3	21.0 × 31.0 × 31.5	B32924A2335M***	–	–	180
	3.3	18.0 × 27.5 × 31.5	B32924C3335M***	–	–	200
	3.3	16.0 × 32.0 × 31.5	B32924D3335+***	–	–	220
	4.7	22.0 × 36.5 × 31.5	B32924A2475M***	–	–	160
	4.7	18.0 × 33.0 × 31.5	B32924C3475M***	–	–	200
	4.7	21.0 × 31.0 × 31.5	B32924D3475M***	–	–	180
	5.6	22.0 × 36.5 × 31.5	B32924C3565+***	–	–	160
37.5	2.2	14.0 × 25.0 × 41.5	B32926C3225+***	–	–	115
	3.3	18.0 × 32.5 × 41.5	B32926A2335+***	–	–	90
	3.3	16.0 × 28.5 × 41.5	B32926C3335+***	–	–	100
	4.7	20.0 × 39.5 × 41.5	B32926A2475M***	–	–	75
	4.7	18.0 × 32.5 × 41.5	B32926C3475+***	–	–	90
	5.6	20.0 × 39.5 × 41.5	B32926A2565M***	–	–	75
	5.6	18.0 × 32.5 × 41.5	B32926C3565+***	–	–	90
	6.8	28.0 × 42.5 × 41.5	B32926A2685M***	–	–	55
	6.8	20.0 × 39.5 × 41.5	B32926C3685+***	–	–	75
	8.2	28.0 × 42.5 × 41.5	B32926A2825M***	–	–	55
	8.2	20.0 × 39.5 × 41.5	B32926C3825+***	–	–	55
10.0	28.0 × 42.5 × 41.5	B32926C3106+***	–	–	55	

Composition of ordering code

+ = Capacitance tolerance code:

M = ±20%

K = ±10%

*** = Packaging code:

289 = Ammo pack

189 = Reel

000 = Untaped (lead length 6 – 1 mm)

(Closer tolerances on request)



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

X2

Technical data

Standard version (A/B/T): B3292*A.... / B3292*B.... / B3292*T....

Miniaturized version (C/D): B3292*C.... / B3292*D....

Max. operating temperature $T_{op,max}$	+125 °C (for $C_R \leq 1 \mu F$ with A/B/T version) +110 °C (for $C_R > 1 \mu F$ or C/D version)			
Dissipation factor $\tan \delta$ (in 10^{-3}) at 20 °C (upper limit values)		$C_R \leq 0.1 \mu F$	$0.1 \mu F < C_R \leq 2.2 \mu F$	$C_R > 2.2 \mu F$
	at 1 kHz	1.0	1.0	2.0
	100 kHz	5.0	–	–
Insulation resistance R_{ins} or time constant $\tau = C_R \cdot R_{ins}$ at 20 °C, rel. humidity $\leq 65\%$ (minimum as-delivered values)	$C_R \leq 0.33 \mu F$	$C_R > 0.33 \mu F$		
	100 000 M Ω	30 000 s		
DC test voltage	2121 V, 2 s			
Passive flammability category to IEC 40 (CO) 752	B			
Maximum continuous AC voltage V_{AC}	310 V (50/60 Hz)			
Rated AC voltage (IEC 60384-14)	305 V (50/60 Hz)			
Maximum continuous DC voltage V_{DC}	760 V (630 V for C/D version)			
Operating AC voltage V_{op} at high temperature	$T_A \leq 110 \text{ °C}$	$V_{op} = V_{AC}$ (continuously)		
	$T_A \leq 110 \text{ °C}$	$V_{op} = 1.25 \cdot V_{AC}$ (1000 h)		
	$110 \text{ °C} < T_A \leq 125 \text{ °C}$	$V_{op} = V_{AC}$ (1000 h) (only for A/B/T version)		
Damp heat test	56 days / 40 °C / 93% relative humidity			
Limit values after damp heat test	Capacitance change $ \Delta C/C $	$\leq 5\%$		
	Dissipation factor change $\Delta \tan \delta$	$\leq 0.5 \cdot 10^{-3}$ (at 1 kHz)		
	Insulation resistance R_{ins}	$\leq 1.0 \cdot 10^{-3}$ (at 10 kHz)		
	or time constant $\tau = C_R \cdot R_{ins}$	$\geq 50\%$ of minimum as-delivered values		



B32921 ... B32926

X2 / 305 VAC

Pulse handling capability

"dV/dt" represents the maximum permissible voltage change per unit of time for non-sinusoidal voltages, expressed in V/ μ s.

"k₀" represents the maximum permissible pulse characteristic of the waveform applied to the capacitor, expressed in V²/ μ s.

Note:

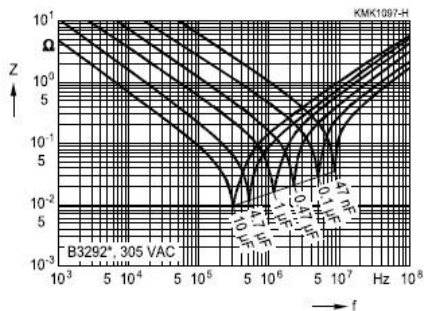
The values of dV/dt and k₀ provided below must not be exceeded in order to avoid damaging the capacitor.

dV/dt and k₀ values

Lead spacing	10 mm		15 mm		22.5 mm		27.5 mm		37.5 mm	
	A/B/T	C/D	A/B/T	C/D	A/B/T	C/D	A/B/T	C/D	A/B/T	C/D
dV/dt in V/ μ s	550	475	400	340	200	170	150	120	100	80
k ₀ in V ² / μ s	473000	408500	344000	292400	172000	146200	129000	103200	86000	68800

Impedance Z versus frequency f

(typical values)



ANEXO D – Data Sheet dos Capacitores Tipo Y2

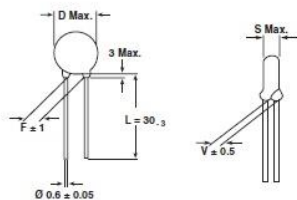
Disponível em: <http://datasheet.octopart.com/WYO472MCMCF0KR-Vishay-datasheet-161821.pdf>

WYO

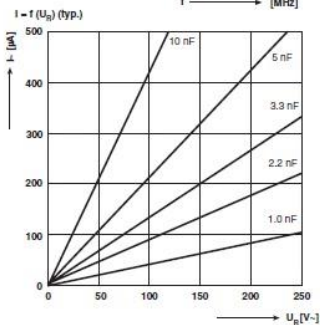
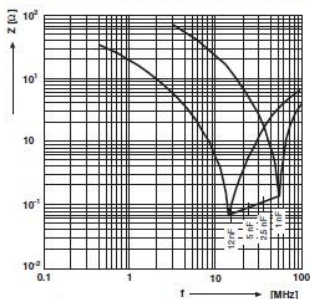
Vishay Draloric



Ceramic AC Capacitors Class X1, 440 V_{AC}/Class Y2, 250 V_{AC}



• Dimensions in mm

 Impedance (Z) as a function of frequency (f) at T_a = 20 °C (average). Measurement with lead length 6 mm.

DESIGN:

Disc capacitors with epoxy coating

RATED VOLTAGE U_R:

(X1):	440 V _{AC} , 50 Hz (IEC 60384-14.2)
(Y2):	250 V _{AC} , 50 Hz (IEC 60384-14.2)
	250 V _{AC} , 60 Hz (UL1414, CSA C22.2)

DIELECTRIC STRENGTH BETWEEN LEADS:

Component test:

2500 V _{AC} , 50 Hz, 2 s, for parts with pitch ≥ 7.5 mm
As repeated test admissible only once with
2000 V _{AC} , 50 Hz, 2 s
Random sampling test (destructive test):
1500 V _{AC} , 50 Hz, 60 s

DIELECTRIC STRENGTH OF BODY INSULATION:

 2000 V_{AC}, 50 Hz, 60 s (destructive test)

DISSIPATION FACTOR tan δ:
 $\leq 25 \cdot 10^{-3}$
INSULATION RESISTANCE R_{is}:
 $\geq 6 \cdot 10^9 \Omega$
CATEGORY TEMPERATURE RANGE θ_A:

(- 40 to + 125) °C

CLIMATIC CATEGORY ACC. TO EN60068-1:

40/125/21

COATING:

Epoxy, dipped, insulating, flame retarding acc. to UL 94V-0

TAPING AND SPECIAL LEAD CONFIGURATIONS:

On request

MARKING (EXAMPLE):


WYO 1 nF to 2.5 nF



WYO 3.3 nF to 12 nF

All approval marks are also shown on the label.



Ceramic AC Capacitors
Class X1, 440 V_{AC}/Class Y2, 250 V_{AC}

WYO
Vishay Draloric

ORDERING INFORMATION, CERAMIC X1 / Y2 CAPACITORS WYO						
CAPACITANCE (pF)	TOL. (%)	D x s (mm)	F ± 1* (mm)	d ± 0.05* (mm)	V ± 0.5* (mm)	ORDERING CODE
1000	± 20 %	6.5 x 4.5	5.0	0.6	1.4	WYO1020CM000KR
1500		8.0 x 4.5				WYO1520CM000KR
1800		8.0 x 4.5				WYO1820CM000KR
2200		9.0 x 4.5				WYO2220CM000KR
2500		9.0 x 4.5				WYO2520CM000KR
3300		10.0 x 4.5				WYO3320CM000KR
4700		12.0 x 4.5	WYO4720CM000KR		1.6	WYO5020CM000KR
5000		12.0 x 4.5	WYO5020CM000KR			
6800		17.0 x 4.5	WYO6820CM000KR			
8200		17.0 x 4.5	WYO8220CM000KR			
0.010 µF		21.0 x 4.5	WYO1030CM000KR			
0.012 µF		21.0 x 4.5	WYO1230CM000KR			

* Standard lead configuration, other lead spacing and diameter available on request.

ORDERING CODE			
□	7th digit	Capacitance Tolerance	± 20 % = M
□□	10th to 12th digit	Lead Configuration (see General Information)	
R	14th digit	RoHS Compliant Component	

APPROVALS							
IEC 60384 - 14 / 2 nd Issue (1993) incl. Am. 1 (1995) - Safety Tests							
EN 132 400 (1994) - Safety Tests							
That approval together with the CB Test Certificate substitutes the national approval of the following nations:							
Belgium	France	Italy	Austria	China	Japan	Spain	
Denmark	Greece	Luxembourg	Portugal	Singapore	Poland	United Kingdom	
Germany	Ireland	Netherlands	Sweden	Slovenia	Hungaria	Czech Republic	
Finland	Iceland	Norway	Switzerland	Korea	Israel		
Y2 - Capacitor: CB-Test Certificate:			DE-1-11476-A1	1 nF ... 12 nF	250 Vac		
X1 - Capacitor: CB-Test Certificate:			DE-1-11148-A1	1 nF ... 12 nF	440 Vac		
Minimum thickness of insulation: 0.4 mm							
Underwriters Laboratories Inc.							
UL 1414	Line-by-pass component			1 nF ... 12 nF	250 Vac		
	Agency Files / Licences		E 183 844 V1 S2				
Canadian Standards Association							
CSA C22.2	Line-by-pass component			1 nF ... 12 nF	250 Vac		
No 1-98	Agency Files / Licences		E 183 844 V1 S2				

ORDERING INFORMATION							
WYO	103	M	CM	CE0	K	R	
SERIES	CAP. VALUE	TOLERANCE	RATED VOLTAGE	LEAD CONFIGURATION	INTERNAL CODE	RoHS COMPLIANT	

Document Number: 22202
Revision: 31-Jan-06

For technical questions contact: slcap@vishay.com

www.vishay.com

46