

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**STANISLAU DE LIRA KASZUBOWSKI**

**TÉCNICA PARA SEPARAÇÃO DE RUÍDOS DE MODO COMUM E  
DIFERENCIAL EM EMISSÕES CONDUZIDAS**

**FLORIANÓPOLIS, 2025.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**STANISLAU DE LIRA KASZUBOWSKI**

**TÉCNICA PARA SEPARAÇÃO DE RUÍDOS DE MODO COMUM E  
DIFERENCIAL EM EMISSÕES CONDUZIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa  
Catarina como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro em  
Eletrônica.

Orientador:  
Prof. Dr. Luis Carlos Martinhago  
Schilichting

**FLORIANÓPOLIS, 2025.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Kaszubowski, Stanislaw

TÉCNICA PARA SEPARAÇÃO DE RUÍDOS DE MODO COMUM E DIFERENCIAL  
EM EMISSÕES CONDUZIDAS / Stanislaw Kaszubowski; orientação  
de Luis Schilichting. – Florianópolis, SC,  
2025.

66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Eletrônica. Departamento Acadêmico  
de Eletrônica.

Inclui Referências.

1. Compatibilidade Eletromagnética. 2. Emissões Conduzidas.
3. Ruído de Modo Comum. 4. Ruído de Modo Diferencial.
5. Separação de Ruídos. I. Schilichting, Luis.
- II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. TÉCNICA  
PARA SEPARAÇÃO DE RUÍDOS DE MODO COMUM E DIFERENCIAL  
EM EMISSÕES CONDUZIDAS.

# **TÉCNICA PARA SEPARAÇÃO DE RUÍDOS DE MODO COMUM E DIFERENCIAL EM EMISSÕES CONDUZIDAS**

**STANISLAU DE LIRA KASZUBOWSKI**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 27 de março de 2025.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **LUIS CARLOS MARTINHAGO SCHLICHTING**  
Data: 10/04/2025 13:44:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Luis Carlos Martinhago Schlichting, Dr.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA CLAUDIA DE ALMEIDA CASTRO**  
Data: 10/04/2025 14:15:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Maria Cláudia de Almeida Castro, Dr.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente  
 **JOABEL MOIA**  
Data: 10/04/2025 13:57:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Joabel Moia, Dr.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) e seu corpo docente, pelo compromisso inabalável com a excelência acadêmica e por proporcionarem um ambiente de aprendizado transformador ao longo de minha jornada.

Ao meu orientador, Dr. Luis Carlos Martinhago Schlichting, pela orientação inestimável, pelo conhecimento compartilhado e pela paciência demonstrada durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À minha mãe Idalina, por seu apoio incondicional e crença constante em meu potencial; ao meu pai Julio, cuja trajetória pessoal e profissional é minha maior fonte de inspiração; e aos meus irmãos Julia e Emmanuel, pela presença e companheirismo durante toda esta jornada acadêmica.

Aos amigos e colegas que tornaram esta caminhada mais significativa: Allan, André, Beatriz, Bruno, Elisa, Felipe, Guido, Gabriel, Laura, Marina, Natalia, Ramon, Sofia, Thais e Victor. O apoio e o compartilhamento de conhecimento foi muito importante nessa jornada.

À equipe da Doutor-IE, pelo ambiente profissional estimulante que contribuiu significativamente para minha formação técnica e pelo suporte que possibilitou a conciliação entre compromissos acadêmicos e profissionais durante este período.

“Os obstáculos são aquelas coisas assustadoras  
que você vê quando tira os olhos do seu objetivo.”  
(Henry Ford)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e validação de uma metodologia para separação de ruídos de modo comum e diferencial em emissões conduzidas. Em um contexto onde a proliferação de dispositivos eletrônicos intensifica os desafios relacionados à compatibilidade eletromagnética, torna-se fundamental a criação de ferramentas que auxiliem no diagnóstico e mitigação de interferências. O método proposto baseia-se na utilização de um dispositivo separador de correntes de modo comum e diferencial. A abordagem permite discriminar os diferentes componentes do ruído, fornecendo uma visualização clara das características específicas de cada modo de propagação. A metodologia foi validada experimentalmente através de ensaios realizados em diferentes equipamentos eletrônicos, após uma etapa preliminar de verificação da compatibilidade entre os instrumentos de medição utilizados. Os resultados comprovaram a eficácia do dispositivo separador na identificação das faixas de frequência onde cada tipo de ruído predomina, possibilitando um dimensionamento mais assertivo de filtros de interferência eletromagnética. Esta capacidade de análise independente das componentes de modo comum e diferencial representa uma contribuição significativa para a área de compatibilidade eletromagnética, uma vez que permite o desenvolvimento de soluções mais eficientes e econômicas para o controle de emissões conduzidas, favorecendo tanto o ambiente acadêmico quanto o industrial.

**Palavras-chave:** Compatibilidade Eletromagnética. Emissões Conduzidas. Ruído de Modo Comum. Ruído de Modo Diferencial. Separação de Ruídos.

## **ABSTRACT**

This work presents the development and validation of a methodology for separating common mode and differential mode noise in conducted emissions. In a context where the proliferation of electronic devices intensifies the challenges related to electromagnetic compatibility, it becomes fundamental to create tools that assist in the diagnosis and mitigation of interferences. The proposed method is based on utilizing a common mode and differential mode current separator device. This approach allows for discriminating between different noise components, providing a clear visualization of the specific characteristics of each propagation mode. The methodology was experimentally validated through tests conducted on different electronic equipment, after a preliminary stage of verifying compatibility between the measurement instruments used. The results confirmed the effectiveness of the separator device in identifying frequency ranges where each type of noise predominates, enabling more assertive dimensioning of electromagnetic interference filters. This capability for independent analysis of common mode and differential mode components represents a significant contribution to the field of electromagnetic compatibility, as it allows for the development of more efficient and economical solutions for controlling conducted emissions, benefiting both academic and industrial environments.

**Keywords:** Electromagnetic Compatibility. Conducted Emissions. Common Mode Noise. Differential Mode Noise. Noise Separation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ambiente eletromagnético típico.....                                                                | 20 |
| Figura 2 – Emissão irradiada.....                                                                              | 21 |
| Figura 3 – Emissão conduzida.....                                                                              | 21 |
| Figura 4 – Correntes de modo comum e diferencial.....                                                          | 22 |
| Figura 5 – Filtro de EMI genérico para fontes chaveadas.....                                                   | 23 |
| Figura 6 – Correntes de modo comum e diferencial.....                                                          | 26 |
| Figura 7 – LISN especificada pela FCC.....                                                                     | 27 |
| Figura 8 – Circuito equivalente LISN.....                                                                      | 28 |
| Figura 9 – Transformador.....                                                                                  | 29 |
| Figura 10 – LISN R&S HM6060-2.....                                                                             | 32 |
| Figura 11 – LISN R&S ENV216.....                                                                               | 32 |
| Figura 12 – Cabo RG213.....                                                                                    | 33 |
| Figura 13 – Cabo RG58.....                                                                                     | 33 |
| Figura 14 – PCB Transformador 1:1.....                                                                         | 35 |
| Figura 15 – Esquemático da placa somadora.....                                                                 | 36 |
| Figura 16 – Esquemático da placa subtratora.....                                                               | 37 |
| Figura 17 – Placa somadora.....                                                                                | 38 |
| Figura 18 – Placa subtratora.....                                                                              | 38 |
| Figura 19 – Diagrama de Blocos do Ensaio de Emissão Conduzida Utilizando o Dispositivo Separador de Ruído..... | 40 |
| Figura 20 – Lâmpada 6W 110-240V 6.400K.....                                                                    | 41 |
| Figura 21 – Ensaio convencional lâmpada.....                                                                   | 41 |
| Figura 22 – Ensaio com dispositivo lâmpada.....                                                                | 42 |
| Figura 23 – Placa somadora durante o ensaio.....                                                               | 43 |
| Figura 24 – Fonte ATX 500W.....                                                                                | 43 |
| Figura 25 – Ensaio convencional Fonte ATX 500W.....                                                            | 44 |
| Figura 26 – Ensaio com dispositivo Fonte ATX 500W.....                                                         | 44 |
| Figura 27 – Ruído na Fase LISN1 x LISN2.....                                                                   | 46 |
| Figura 28 – Ruído no Neutro LISN1 x LISN2.....                                                                 | 46 |
| Figura 29 – Teste com cabo RG213.....                                                                          | 47 |
| Figura 30 – Teste com cabo RG 58.....                                                                          | 47 |
| Figura 31 – Teste cabo RG 58 x Transformador 1:1.....                                                          | 48 |
| Figura 32 – Lâmpada ruído total - PEAK e AVG.....                                                              | 49 |
| Figura 33 – Lâmpada placa somadora - modo comum.....                                                           | 50 |
| Figura 34 – Lâmpada placa subtratora - modo diferencial.....                                                   | 50 |
| Figura 35 – Fonte ruído total - PEAK e AVG.....                                                                | 51 |
| Figura 36 – Fonte placa somadora - modo comum.....                                                             | 52 |
| Figura 37 – Fonte placa subtratora - modo diferencial.....                                                     | 53 |
| Figura 38 – Lâmpada: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro)                              |    |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| - PEAK.....                                                                       | 55 |
| Figura 39 – Lâmpada: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) |    |
| - AVG.....                                                                        | 55 |
| Figura 40 – Lâmpada: Ruído total PEAK (azul claro) e AVG (azul escuro).....       | 56 |
| Figura 41 – Fonte: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - |    |
| PEAK.....                                                                         | 57 |
| Figura 42 – Fonte: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - |    |
| AVG.....                                                                          | 58 |
| Figura 43 – Fonte: Ruído total PEAK (azul claro) e AVG (azul escuro).....         | 58 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Especificações Transformador 1:1..... | 29 |
| Tabela 2 – Especificações Transformador 2:1..... | 32 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                                                                                                  |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações                                                                                             |
| CISPR  | <i>Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques</i><br>(Comitê Internacional Especial de Rádio Interferência) |
| DC     | <i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)                                                                                        |
| EMC    | <i>Electromagnetic Compatibility</i> (Compatibilidade Eletromagnética)                                                           |
| EMI    | <i>Electromagnetic Interference</i> (Interferência Eletromagnética)                                                              |
| FCC    | <i>Federal Communications Commission</i> Comissão Federal de Comunicações                                                        |
| PCB    | <i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impresso)                                                                        |
| LabCEM | Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética                                                                                   |
| LISN   | <i>Line Impedance Stabilization Network</i> (Rede de Estabilização de Impedância de Linha)                                       |
| RF     | Radiofrequência                                                                                                                  |

## SUMÁRIO

|                                                         |               |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                | <b>15</b>     |
| 1.1 Justificativa.....                                  | 16            |
| 1.2 Definição do Problema.....                          | 16            |
| 1.3 Objetivo Geral.....                                 | 17            |
| 1.4 Objetivos Específicos.....                          | 17            |
| 1.5 Estrutura do Trabalho.....                          | 18            |
| <br><b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                 | <br><b>19</b> |
| 2.1 Conceito de Compatibilidade Eletromagnética.....    | 19            |
| 2.2 Tipos de Emissões.....                              | 20            |
| 2.2.1 Emissão Irradiada.....                            | 20            |
| 2.2.2 Emissão Conduzida.....                            | 21            |
| 2.3 Correntes de Modo Comum e Diferencial.....          | 22            |
| 2.4 Filtros de EMI.....                                 | 22            |
| 2.5 Normas de EMC.....                                  | 24            |
| 2.6 Medição de Emissões.....                            | 24            |
| 2.6.1 Medição de Emissões Conduzidas.....               | 25            |
| 2.6.1.1 Rede de estabilização de impedância - LISN..... | 25            |
| 2.6.1.2 Tensões e Correntes Durante o Ensaio.....       | 27            |
| 2.7 Transformadores.....                                | 29            |
| <br><b>3 METODOLOGIA.....</b>                           | <br><b>31</b> |
| 3.1 Validação dos Equipamentos.....                     | 32            |
| 3.2 Dispositivo Separador.....                          | 34            |
| 3.2.1 Validação do Transformador.....                   | 35            |
| 3.2.2 Desenvolvimento do Dispositivo Separador.....     | 36            |
| 3.3 Teste de Emissões com o Dispositivo Separador.....  | 39            |
| 3.3.1 Esquemático do Ensaio de Emissão Conduzida.....   | 39            |
| 3.3.2 Ensaio Lâmpada 6W 110-240V 6.400K.....            | 40            |
| 3.3.3 Ensaio Fonte ATX 500W.....                        | 43            |
| <br><b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>           | <br><b>45</b> |
| 4.1 Equivalência entre LISNs.....                       | 45            |
| 4.2 Equivalência entre Cabos.....                       | 47            |
| 4.3 Transformador 1:1.....                              | 48            |
| 4.4 Lâmpada 6W 110-240V 6.400K.....                     | 49            |
| 4.5 Fonte ATX 500W.....                                 | 51            |
| 4.6 Análise e comparação dos resultados.....            | 53            |
| 4.6.1 Fonte e Cabos.....                                | 53            |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 4.6.2 Transformador.....                          | 54        |
| 4.6.3 Dispositivo Separador.....                  | 54        |
| 4.6.3.1 <i>Lampada 6W 110-220V</i> .....          | 54        |
| 4.6.3.2 <i>Fonte ATX 500W</i> .....               | 57        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                | <b>60</b> |
| <b>5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros.....</b>  | <b>60</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                           | <b>62</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                | <b>64</b> |
| <b>ANEXO A – Datasheet transformador 1:1.....</b> | <b>65</b> |
| <b>ANEXO B – Datasheet transformador 2:1.....</b> | <b>66</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado das tecnologias eletrônicas, dispositivos eletroeletrônicos se tornaram fundamentais em diversas áreas, desde a automação industrial até os eletrodomésticos utilizados no dia a dia. No entanto, esse aumento no uso de dispositivos eletrônicos gera um ambiente carregado de interferências eletromagnéticas, que podem afetar o desempenho e a confiabilidade de outros equipamentos. A capacidade de um dispositivo operar corretamente em um ambiente eletricamente "contaminado", sem causar ou sofrer interferência, é conhecida como Compatibilidade Eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility* - EMC) (PAUL, 2006).

As emissões conduzidas são um tipo de interferência eletromagnética que se propaga através dos cabos de alimentação ou sinais de um dispositivo, podendo prejudicar a operação de outros equipamentos conectados à mesma rede. Para garantir que os dispositivos funcionem corretamente e atendam às regulamentações, muitas vezes, é necessário implementar filtros que atenuem tais emissões (PAUL, 2006).

Porém, o desenvolvimento de filtros eficientes depende de uma análise detalhada das fontes de ruído, que podem se manifestar em modo comum ou modo diferencial. A capacidade de separar essas componentes de modo correto é essencial para projetar filtros que ofereçam uma solução eficaz para o problema da interferência eletromagnética (*Electromagnetic Interference* - EMI), otimizando o desempenho dos dispositivos eletrônicos e reduzindo o risco de não conformidade com as normas vigentes (ALMEIDA, 2013).

Este trabalho busca investigar e propor um dispositivo para a separação das correntes de modo comum e diferencial durante os ensaios de emissões conduzidas. Tal abordagem visa otimizar o processo de desenvolvimento de filtros de EMI, garantindo um controle mais assertivo das interferências e possibilitando a criação de soluções mais eficientes e econômicas.

## 1.1 Justificativa

As normas internacionais de EMC, como as normas do Comitê Internacional Especial de Rádio Interferência (*Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques* - CISPR), estabelecem limites rigorosos para as emissões eletromagnéticas, tanto radiadas quanto conduzidas (SCHLICHTING, 2003).

Neste contexto, torna-se fundamental a criação de ferramentas que possam facilitar o diagnóstico e a separação do ruído de modo comum e diferencial, facilitando a identificação do ruído predominante e permitindo que os filtros EMI sejam projetados de forma mais assertiva, resultando em um produto mais eficiente, com menor custo de produção e em conformidade com as normas regulamentadoras.

Além disso, a separação adequada das correntes de modo comum e diferencial durante os testes de emissão conduzida traz benefícios diretos para o processo de desenvolvimento de novos produtos eletrônicos. Ao permitir a aplicação de soluções corretivas ainda na fase de projeto, o uso de dispositivos que separam esses tipos de ruídos reduz a necessidade de ajustes posteriores e retrabalho, o que contribui para a redução de custos e de tempo na produção.

Dessa forma, este trabalho se justifica pela necessidade de ferramentas que auxiliem no processo de diagnóstico de EMI, o que representa uma contribuição significativa tanto para a indústria quanto para a área acadêmica. O desenvolvimento de um dispositivo capaz de separar as correntes de modo comum e diferencial é essencial para alcançar esses objetivos e melhorar o controle sobre as emissões conduzidas.

## 1.2 Definição do Problema

Durante os ensaios da emissão conduzida convencional, que busca atender a norma CISPR, a medição obtida é dada pela soma dos ruídos de modo comum e diferencial, o que impede a distinção clara entre os dois, dificultando a aplicação de técnicas para a redução de EMI. Além disso, essa limitação faz com

que o projeto dos filtros EMI seja sobredimensionado, pois não é possível focar em elementos específicos para atenuar de forma otimizada cada tipo de ruído. Sem a separação adequada, há a tendência de superdimensionar os filtros para cobrir ambos os modos de forma genérica, elevando os custos e tornando o projeto menos eficiente.

Atualmente, o Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética (LabCEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) não dispõe de metodologia específica para discriminar os ruídos de modo comum e diferencial. Esta limitação impacta diretamente o desenvolvimento de pesquisas avançadas e o projeto de filtros EMI otimizados.

Para resolver essa questão, a proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso é: é possível desenvolver uma metodologia para separar os ruídos de modo comum e diferencial das emissões conduzidas e aplicá-la no LabCEM?

### **1.3 Objetivo Geral**

Validar uma metodologia para separar ruídos de modo comum e diferencial em emissões conduzidas

### **1.4 Objetivos Específicos**

Apresentando o objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre conceitos necessários para a elaboração deste trabalho;
- b) Avaliar a compatibilidade e calibração entre redes de estabilização de impedância de linha (*Line Impedance Stabilization Network* - LISN) de diferentes fabricantes;
- c) Desenvolver e implementar um dispositivo capaz de discriminar e quantificar independentemente as emissões de ruído de modo comum e diferencial em circuitos eletrônicos;

- d) Realizar análises experimentais do dispositivo separador em equipamentos eletrônicos;

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos que se desenvolvem de maneira progressiva. Na introdução, estabelecemos as bases do estudo, delineando a problemática central e os objetivos que norteiam a investigação.

A fundamentação teórica, apresentada no segundo capítulo, reúne os conceitos essenciais extraídos da literatura científica, fornecendo o alicerce necessário para compreensão da pesquisa e sustentação das análises posteriores. Em seguida, o terceiro capítulo detalha os procedimentos metodológicos adotados, descrevendo os instrumentos e métodos empregados para alcançar os objetivos propostos.

No quarto capítulo, é apresentada a análise dos resultados obtidos através dos experimentos práticos. Os dados coletados são examinados à luz do referencial teórico previamente estabelecido, permitindo uma discussão aprofundada dos achados da pesquisa.

Por fim, o quinto capítulo sintetiza as principais contribuições do estudo, apresentando as conclusões e reflexões finais. Nele, convergem as descobertas e insights obtidos ao longo da investigação, oferecendo uma visão integrada dos resultados alcançados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica essencial para a compreensão do trabalho. Inicialmente, são abordados os conceitos básicos de compatibilidade eletromagnética. Em seguida, são detalhados os mecanismos de propagação dos ruídos de modo comum e diferencial, bem como suas características e impactos nos sistemas eletrônicos. Posteriormente, são apresentados os métodos de medição de EMI conduzida. Por fim, são discutidas as normas regulamentadoras, fornecendo o embasamento necessário para o desenvolvimento do dispositivo separador proposto.

### 2.1 Conceito de Compatibilidade Eletromagnética

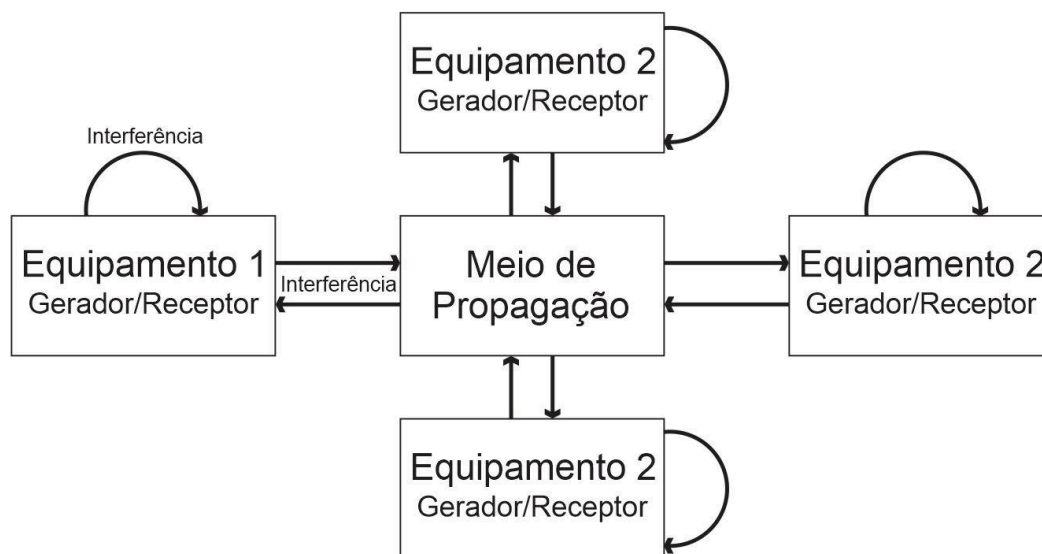
A Compatibilidade Eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility* - EMC) é definida como a capacidade de um equipamento eletrônico funcionar satisfatoriamente em seu ambiente eletromagnético sem introduzir perturbações intoleráveis a outros equipamentos presentes neste mesmo ambiente (PAUL, 2006).

Este conceito abrange duas dimensões principais: a primeira refere-se à habilidade do dispositivo de operar conforme previsto sem degradação de desempenho na presença de interferências eletromagnéticas; a segunda diz respeito à não geração de interferências que possam comprometer o funcionamento de outros equipamentos (SCHLICHTING, 2003).

Para um sistema ser considerado eletromagneticamente compatível, ele deve atender a três critérios fundamentais: não causar interferência em outros sistemas; não ser suscetível a emissões de outros sistemas; e não causar interferência em si mesmo. Esta última condição é particularmente importante em equipamentos complexos, onde diferentes subsistemas podem interferir entre si (PAUL, 2006).

A Figura 1 ilustra um ambiente eletromagnético típico, onde múltiplos dispositivos eletrônicos interagem entre si. Neste cenário, cada equipamento pode assumir simultaneamente três papéis: atuar como fonte geradora de interferência eletromagnética, comportar-se como receptor suscetível a interferências externas, ou ainda sofrer interferências originadas de seus próprios circuitos.

**Figura 1 – Ambiente eletromagnético típico**



Fonte: autoria própria (2025).

## 2.2 Tipos de Emissões

As interferências eletromagnéticas podem se propagar de diferentes formas no ambiente. Em termos de EMC, estas emissões são classificadas em dois tipos principais: irradiadas e conduzidas (PAUL, 2006).

### 2.2.1 Emissão Irradiada

A emissão irradiada ocorre quando a energia eletromagnética se propaga através do espaço, geralmente de ar atmosférico, na forma de ondas eletromagnéticas, sem necessidade de um meio físico condutor. Este tipo de emissão é particularmente significativo em frequências mais altas, onde os circuitos eletrônicos podem atuar como antenas involuntárias, tanto na transmissão quanto na recepção de interferências (PAUL, 2006).

A Figura 2 ilustra um ambiente eletromagnético típico, onde dois dispositivos eletrônicos interagem entre si gerando interferências irradiadas.

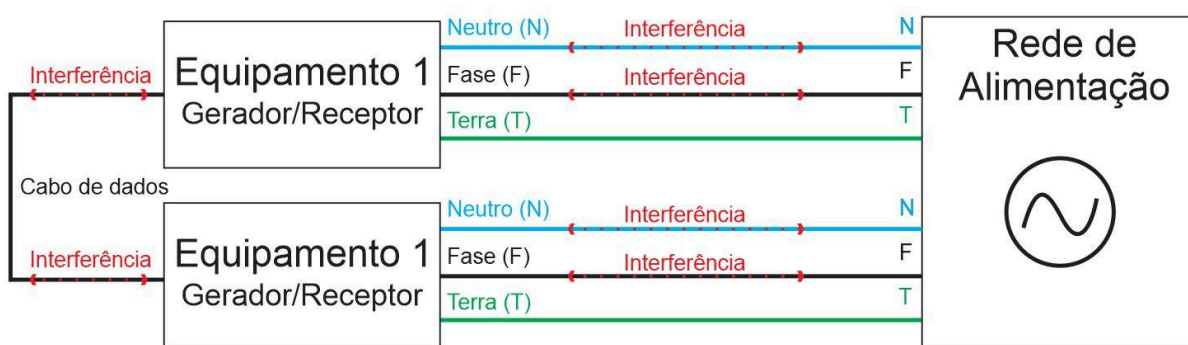
**Figura 2 – Emissão irradiada**

Fonte: autoria própria (2025).

### 2.2.2 Emissão Conduzida

As emissões conduzidas, por sua vez, propagam-se através de meios físicos condutores, principalmente pelos cabos de alimentação, linhas de dados e demais condutores que interligam os equipamentos. As interferências conduzidas são particularmente preocupantes em ambientes onde diversos equipamentos compartilham a mesma rede de alimentação, podendo afetar o funcionamento de dispositivos distantes de sua fonte geradora (PAUL, 2006).

A Figura 3 ilustra um ambiente eletromagnético típico, onde diferentes dispositivos eletrônicos interagem entre si gerando interferências conduzidas.

**Figura 3 – Emissão conduzida**

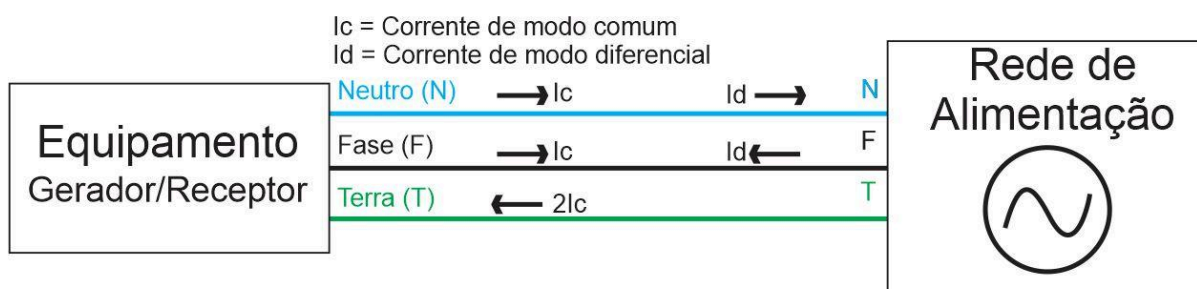
Fonte: autoria própria (2025).

## 2.3 Correntes de Modo Comum e Diferencial

As correntes podem ser classificadas em dois tipos: modo comum e modo diferencial. Este comportamento pode ser observado em qualquer parte de um sistema eletrônico, seja nas trilhas de uma placa de circuito impresso (*Printed Circuit Board* - PCB), em cabos de interconexão, ou nas linhas de alimentação. A corrente de modo diferencial flui em um condutor e retorna em sentido oposto por outro condutor. Já na corrente de modo comum, o fluxo ocorre no mesmo sentido em ambos os condutores, utilizando uma referência (como o terra ou plano de terra) como caminho de retorno (PAUL, 2006).

A Figura 4 ilustra os caminhos de propagação das correntes de modo comum e diferencial, entre a rede de alimentação e um equipamento eletrônico, gerador ou receptor de ruído.

**Figura 4 – Correntes de modo comum e diferencial**



Fonte: autoria própria (2025).

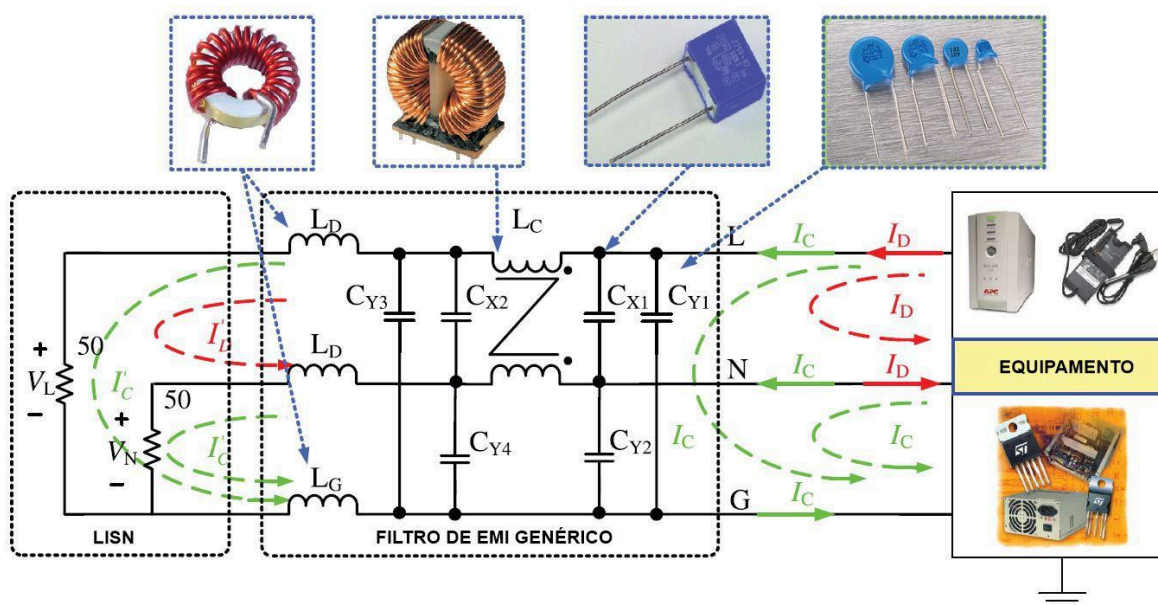
## 2.4 Filtros de EMI

Filtros EMI passivos são componentes fundamentais em fontes de alimentação chaveadas, sendo amplamente implementados para garantir a conformidade com os limites de EMI conduzida (ALMEIDA, 2013).

A principal função destes filtros é atenuar as emissões de modo diferencial e modo comum geradas durante a operação da fonte, assegurando que as correntes de ruído medidas permaneçam abaixo dos limites estabelecidos (TARATEERASETH, 2012).

A Figura 5 apresenta um filtro EMI genérico para fontes de alimentação chaveadas. No projeto deste filtro, estão presentes componentes específicos que atuam na atenuação de ruídos de modo comum e modo diferencial. Segundo Tarateeraseth (2012), cada componente desempenha funções específicas no controle das emissões eletromagnéticas. O Indutor de Modo Comum (LC) atenua o ruído de modo comum e contribui para a redução do ruído de modo diferencial. O Indutor de Modo Diferencial (LD) atenua exclusivamente o ruído de modo diferencial. O Capacitor X (CX) atenua exclusivamente o ruído de modo diferencial e é conectado entre linha e neutro. O Capacitor Y (CY) atenua tanto o ruído de modo comum quanto o de modo diferencial e é conectado entre linha/neutro e terra.

**Figura 5 – Filtro de EMI genérico para fontes chaveadas**



Fonte: Tarateeraseth (2012).

O projeto destes filtros, representa um desafio significativo para engenheiros de eletrônica de potência. A seleção da topologia adequada e o dimensionamento correto dos componentes são essenciais para atingir o desempenho ideal de filtragem com eficiência de custo e volume. (TARATEERASETH, 2012).

Segundo Paul (2006) outros métodos podem ser utilizados para a redução de EMI, tal como, remover o condutor terra em equipamentos cujo gabinete não é metálico, já que há um bloqueio do caminho natural das correntes de modo comum.

## 2.5 Normas de EMC

A proliferação de dispositivos eletrônicos intensificou os desafios relacionados à compatibilidade eletromagnética, tornando necessário o estabelecimento de normas regulamentadoras. Estas normas padronizam os procedimentos de teste e unidades de medida para emissões irradiadas e conduzidas, permitindo a comparabilidade de resultados independentemente do ambiente de avaliação (SCHLICHTING, 2003).

O sistema normativo de EMC é composto por duas categorias: normas governamentais, que são mandatórias e estabelecem requisitos mínimos de conformidade; e normas corporativas, desenvolvidas pelos próprios fabricantes para garantir níveis superiores de qualidade em seus produtos. Neste contexto, destaca-se o Comitê Internacional Especial de Rádio Interferência (*Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques* - CISPR) que tem suas recomendações amplamente adotadas por diversos países e agências reguladoras (SCHLICHTING, 2003).

Entre as classificações normativas importantes, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) estabelece distinções específicas para diferentes tipos de equipamentos:

Equipamento classe A: equipamento com características próprias para instalação em estações de telecomunicações. Estes equipamentos podem causar problemas de radiointerferência se instalados em ambientes ou áreas residenciais. Equipamento classe B: equipamento destinado ao uso em ambiente doméstico ou residencial com características próprias para as instalações do usuário, para a instalação em redes de acesso ou para situações de local não fixo de uso (exemplos: equipamento portátil alimentado por baterias). Estes equipamentos podem ser utilizados em estações de telecomunicações. (ANATEL, 2018).

Esta classificação demonstra a importância de considerar o ambiente de instalação e o propósito do equipamento no processo de certificação e conformidade em EMC.

## 2.6 Medição de Emissões

A medição de interferências eletromagnéticas requer procedimentos específicos e padronizados, pois envolve diversas variáveis que podem influenciar

os resultados. Para garantir a confiabilidade e comparabilidade das medições realizadas em diferentes laboratórios e condições, foram estabelecidas normas técnicas que definem os métodos de ensaio e limites de emissão. Estas normas são periodicamente atualizadas para acompanhar o desenvolvimento tecnológico e as novas necessidades do mercado, assegurando que os equipamentos eletrônicos mantenham níveis adequados tanto de emissão quanto de imunidade a interferências eletromagnéticas (SCHLICHTING, 2003).

### 2.6.1 Medição de Emissões Conduzidas

Diversos sistemas eletrônicos compartilham a rede elétrica para sua alimentação, criando uma interconexão onde o próprio meio que fornece energia pode se transformar em caminho para interferências indesejadas. As linhas de distribuição em corrente alternada, com seus condutores ramificados por toda infraestrutura e acessíveis através de múltiplas tomadas, constituem não apenas um sistema de fornecimento de energia, mas também um eficiente meio de propagação para emissões eletromagnéticas conduzidas. Esta característica dual da rede elétrica pode resultar na transferência de perturbações entre equipamentos fisicamente distantes, mas eletricamente conectados (OTT, 2009).

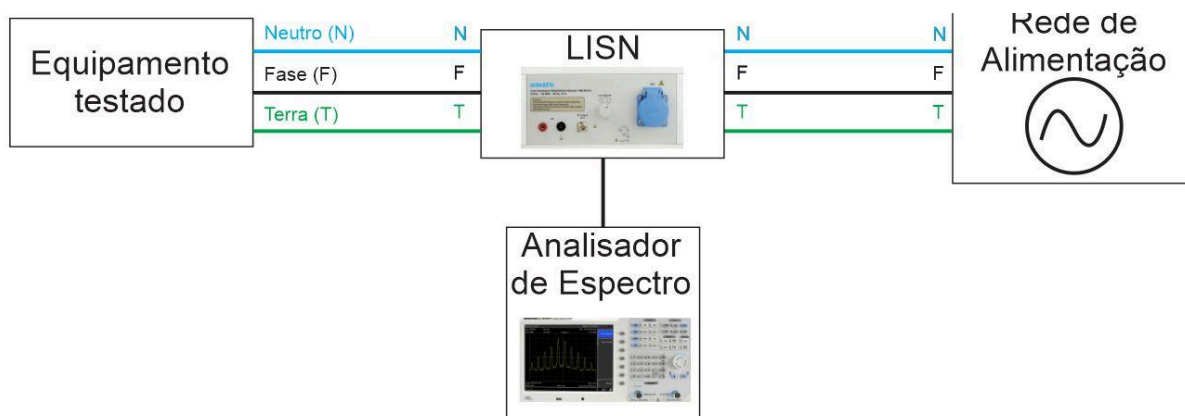
#### 2.6.1.1 Rede de estabilização de impedância - LISN

As normas de emissões conduzidas estabelecem limites para a tensão de ruído que um produto pode transmitir de volta à rede elétrica. Esta tensão é medida entre os condutores energizados (fase e neutro) e o terra. É a impedância da linha de alimentação que converte a corrente de ruído gerada pelo equipamento em tensão de ruído mensurável (OTT, 2009).

A impedância da linha de alimentação apresenta significativa variação ao longo do espectro de frequências estabelecido pela norma (150 kHz a 30 MHz), oscilando entre 2 e 450 ohms (OTT, 2009). Esta instabilidade compromete a precisão e repetibilidade das medições, uma vez que a tensão de ruído medida depende diretamente da impedância encontrada.

A Figura 6 apresenta a solução utilizada para contornar esta limitação e padronizar as condições de teste, utiliza-se a LISN, que proporciona uma impedância controlada entre o equipamento sob teste e a rede elétrica, além de evitar que ruídos presentes na rede externa influenciem na medida (SCHLICHTING, 2003).

**Figura 6 – Correntes de modo comum e diferencial**



Fonte: autoria própria (2025).

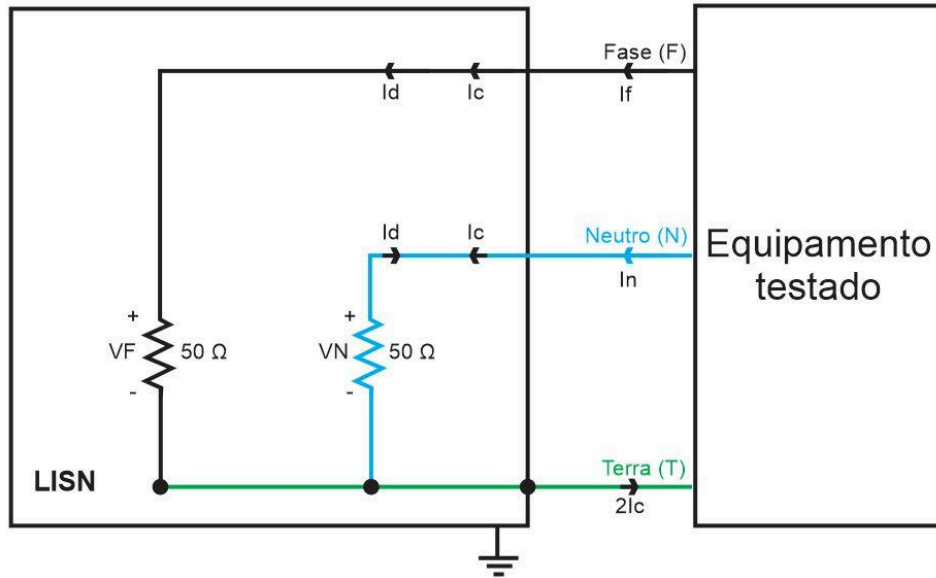
A Figura 7 apresenta a LISN especificada pela Comissão Federal de Comunicações (Federal Communications Commission – FCC), que é uma agência independente do governo dos Estados Unidos responsável por regular as comunicações por rádio, televisão, cabo, satélite e internet no país. A função dos capacitores de  $1\ \mu\text{F}$  entre a fase e terra e neutro e terra é desviar as interferências externas provenientes da rede de alimentação, para que não contaminem a medida (SCHLICHTING, 2003).

Da mesma forma, os indutores de  $50\ \mu\text{H}$  têm a função de bloquear esse ruído, outros capacitores de  $0,1\ \mu\text{F}$  servem para impedir que qualquer componente de corrente contínua sobrecarregue a entrada do receptor de teste. Os capacitores apresentam baixa impedância em toda a faixa de frequência de medição, enquanto o indutor oferece alta impedância. Os resistores de  $1\ \text{k}\Omega$  atuam como caminhos para descarregar os capacitores de  $0,1\ \mu\text{F}$  quando os resistores de  $50\ \Omega$  forem removidos (PAUL, 2006).

Um resistor de  $50\ \Omega$  representa a impedância de entrada do receptor de teste (analisador de espectro), enquanto o outro é uma carga fictícia de  $50\ \Omega$  que garante que a impedância entre fase e o condutor de segurança, e entre neutro e o



Figura 8 – Circuito equivalente LISN



Fonte: Adaptado de Paul (2006).

Podemos observar também que o circuito apresenta correntes de modo comum e diferencial, sendo possível expressar as tensões medidas nos terminais de fase ( $\hat{V}_f$ ) e neutro ( $\hat{V}_n$ ) em função destes dois modos de propagação. Esta relação matemática está representada nas Equações 3 e 4:

$$\hat{V}_f = 50.(\hat{I}_c + \hat{I}_d) \quad (3)$$

$$\hat{V}_n = 50.(\hat{I}_c - \hat{I}_d) \quad (4)$$

O fluxo das correntes no sistema apresenta comportamentos distintos: a corrente de modo diferencial percorre um caminho que atravessa um resistor de 50 Ω em uma direção e retorna pelo outro resistor em sentido oposto. Em contraste, as correntes de modo comum seguem trajetórias paralelas, fluindo na mesma direção através de ambos os resistores de 50 Ω. Então se as correntes de modo diferencial e comum forem da mesma magnitude, as tensões de fase e neutro serão diferentes. Segundo Paul (2006), geralmente existe o domínio de um tipo de corrente sobre a

outra, deixando as magnitudes das tensões de fase e neutro muito próximas, conforme indicam as equações 5, 6, 7 e 8.

$$\hat{V}_f = 50. \hat{I}_c, \hat{I}_c \gg \hat{I}_d \quad (5)$$

$$\hat{V}_n = 50. \hat{I}_c, \hat{I}_c \gg \hat{I}_d \quad (6)$$

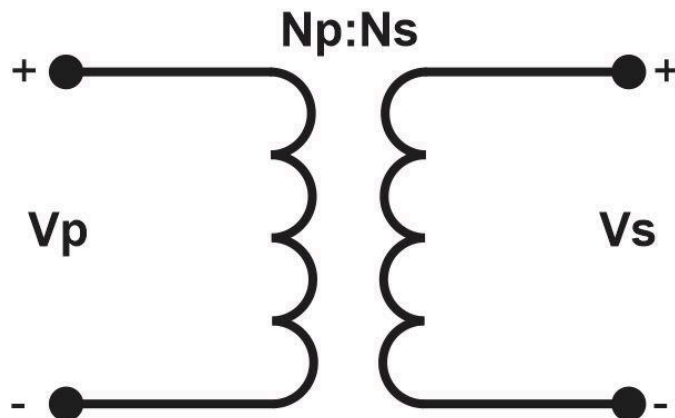
$$\hat{V}_f = 50. \hat{I}_d, \hat{I}_d \gg \hat{I}_c \quad (7)$$

$$\hat{V}_n = - 50. \hat{I}_d, \hat{I}_d \gg \hat{I}_c \quad (8)$$

## 2.7 Transformadores

A Figura 9 indica a simbologia de um transformador ideal que é um dispositivo eletromagnético composto por duas ou mais bobinas enroladas em torno de um núcleo. Conforme explica Boylestad (2002), seu funcionamento baseia-se no princípio da indução eletromagnética descoberto por Faraday. Quando uma corrente alternada percorre a bobina primária, ela gera um campo magnético variável no núcleo, que produz um fluxo atravessando a bobina secundária e induzindo uma tensão nela, permitindo a transferência de energia elétrica entre os circuitos sem que haja conexão física direta entre eles.

Figura 9 – Transformador



Fonte: autoria própria (2025).

Uma característica fundamental do transformador é a proporcionalidade entre a relação de tensões e a relação do número de espiras. Como demonstra Boylestad

(2002), esta propriedade é expressa matematicamente pela Equação 9, estabelecendo que a razão entre a tensão induzida no enrolamento primário ( $V_p$ ) e a tensão induzida no enrolamento secundário ( $V_s$ ) é idêntica à razão entre o número de espiras do primário ( $N_p$ ) e do secundário ( $N_s$ ).

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (9)$$

Outra função essencial é o casamento de impedâncias entre fontes e cargas, onde o transformador pode ser projetado para refletir a impedância da carga para o circuito primário. Este princípio é amplamente utilizado em sistemas de comunicação, amplificadores e circuitos de radiofrequência, onde a máxima transferência de potência é alcançada quando a impedância da fonte é igual à impedância da carga, otimizando assim a eficiência energética do sistema, (BOYLESTAD, 2002).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo tem como objetivo investigar e avaliar metodologias consolidadas para discriminação entre ruídos de modo comum e diferencial em análises de emissões conduzidas. Com esta finalidade, desenvolveu-se uma fundamentação teórica contemplando os princípios fundamentais da EMC, os diversos mecanismos pelos quais interferências se propagam em circuitos eletrônicos, focado na separação dos tipos de ruído.

Esta pesquisa enquadra-se na categoria exploratória, conforme os critérios estabelecidos por Gil (2002), uma vez que busca aprofundar a compreensão e familiaridade com o fenômeno de separação de ruídos em emissões conduzidas. A abordagem metodológica adotada é de natureza qualitativa, caracterizada por Malhotra (2010) como um processo investigativo flexível que privilegia a análise contextual e a interpretação dos fenômenos observados, permitindo uma visão holística do problema em estudo através da observação de casos específicos e suas particularidades, sem a necessidade de quantificações extensivas.

Após a fundamentação teórica sobre o tema, realizou-se uma investigação para o desenvolvimento e validação do dispositivo separador de ruídos. Inicialmente, procedeu-se com a caracterização e calibração das LISNs utilizadas no experimento (modelos R&S HM6060-2 e R&S ENV216), garantindo sua equivalência funcional através de medições comparativas nos terminais de fase e neutro, entre diferentes dispositivos, utilizando o analisador de espectro R&S HMS-X.

Em seguida, verificou-se a compatibilidade dos cabos modelo RG58 em relação aos cabos RG213 utilizados em setups certificados, assegurando a integridade e confiabilidade das medições subsequentes. Com o ambiente de teste devidamente validado, foram executadas medições de emissões conduzidas em dois equipamentos distintos selecionados para análise: Lâmpada de 6W 110-240V 6.400K e uma fonte de alimentação ATX de 500W.

A etapa seguinte consistiu no desenvolvimento do dispositivo separador propriamente dito, iniciando com testes do trafo MCL T2-1T de forma isolada para verificação de suas características operacionais. Posteriormente, implementou-se o

projeto completo em duas placas de circuito impresso distintas, cada uma dedicada à visualização de um tipo específico de ruído: modo comum e modo diferencial.

Por fim, realizou-se uma análise comparativa entre os resultados obtidos experimentalmente com o dispositivo separador desenvolvido e os valores teoricamente esperados, permitindo assim avaliar a eficácia e precisão do sistema proposto.

### 3.1 Validação dos Equipamentos

A validação é fundamental, pois o princípio de operação do dispositivo separador baseia-se em operações matemáticas de soma e subtração dos valores obtidos pelas duas LISNs. Para que os resultados sejam confiáveis, ambas devem apresentar características elétricas equivalentes; caso contrário, as discrepâncias introduziriam erros significativos na separação dos ruídos de modo comum e diferencial.

O processo de validação envolveu uma análise comparativa rigorosa, onde foram realizados testes paralelos de emissões conduzidas utilizando ambas as LISNs. Comparou-se especificamente as medições obtidas no terminal de fase de cada LISN, e posteriormente, as medições no terminal neutro. As Figuras 10 e 11 representam ambas as LISN validadas.

**Figura 10 – LISN R&S HM6060-2**

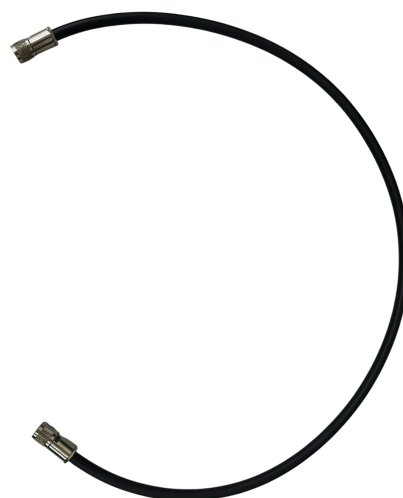


Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 11 – LISN R&S ENV216**

Fonte: autoria própria (2025).

Em seguida, verificou-se a compatibilidade dos cabos modelo RG 58 em relação aos cabos RG 213 utilizados nas medições convencionais do LabCEM. A alteração do modelo do cabo foi necessária devido ao desenvolvimento do dispositivo separador, o qual não suportaria cabos RG 213 em sua construção. Esta validação é necessária pois os cabos podem introduzir distorções, atenuações ou ressonâncias que influenciam significativamente as medições, especialmente em frequências mais elevadas, comprometendo a precisão dos resultados. As Figuras 12 e 13 representam ambos os tipos de cabo.

**Figura 12 – Cabo RG213**

Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 13 – Cabo RG58**



Fonte: autoria própria (2025).

### **3.2 Dispositivo Separador**

O dispositivo separador de ruído tem como objetivo principal separar o ruído de modo comum e diferencial.

A manipulação matemática dos sinais provenientes dos terminais de fase e neutro permite a discriminação das tensões de modo comum e diferencial. Realizando a soma dos sinais de fase e neutro, é isolado efetivamente o componente de modo comum, uma vez que as correntes de modo diferencial, por fluírem em direções opostas nesses condutores, geram tensões que se cancelam mutuamente nesta operação.

Inversamente, quando é aplicada a subtração entre os sinais de fase e neutro, ocorre o fenômeno complementar: as tensões geradas pelas correntes de modo comum, que fluem na mesma direção em ambos os condutores, são eliminadas pela operação de subtração. Simultaneamente, as tensões produzidas pelas correntes de modo diferencial são evidenciadas, tais operações serão realizadas por um transformador de radiofrequência (RF).

Para o desenvolvimento do dispositivo separador, adotamos uma abordagem iniciando pela caracterização individual dos componentes críticos antes da integração completa do sistema.

### 3.2.1 Validação do Transformador

A primeira etapa consistiu na validação do transformador de radiofrequência (RF), componente essencial para o funcionamento adequado do dispositivo separador. Selecionamos um transformador com relação de espiras 1:1, especialmente projetado para aplicações em RF, com faixa operacional entre 0,07 e 200 MHz.

Esta faixa de frequência é particularmente adequada para os ensaios de emissões conduzidas, que segundo a norma vigente, devem abranger o espectro de 150 kHz a 30 MHz. A ampla banda de operação do transformador garante a cobertura completa da faixa regulamentada, assim como a manutenção de suas características na mesma.

A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas detalhadas do transformador utilizado nesta etapa, retiradas do *datasheet* do transformador 1:1, vide Anexo A.

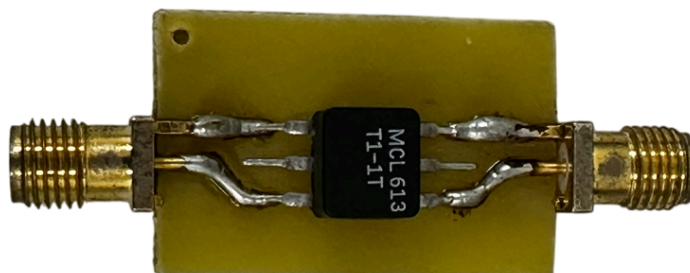
**Tabela 1 – Especificações Transformador 1:1**

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| Modelo           | Transformador RF MCL 613 T1-1T |
| Fabricante       | <i>Mini Circuits</i>           |
| Largura de Banda | 0,07 - 200 MHz                 |
| Tipo             | DC isolado 50Ω                 |

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 14 indica a PCB desenvolvida para acomodar o transformador 1:1, o circuito implementado permite a conexão direta entre a saída da LISN e a entrada do analisador de espectro.

**Figura 14 – PCB Transformador 1:1**



Fonte: autoria própria (2025).

Após a fabricação da placa de circuito impresso, testes de emissões conduzidas foram realizados em configuração idêntica, alternando entre o método tradicional (conexão direta da LISN ao analisador de espectro) e o método com o transformador inserido no caminho do sinal.

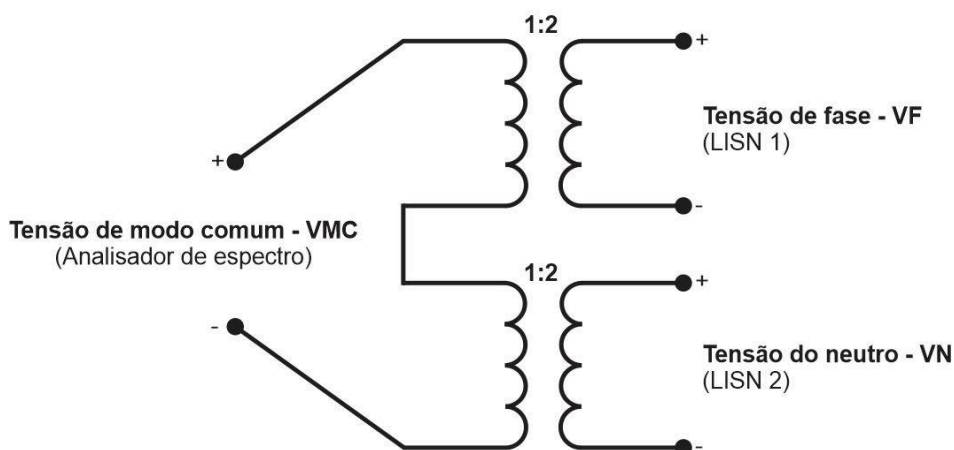
O objetivo desta etapa de validação foi confirmar que o transformador não introduz distorções significativas ou atenuações que pudessem comprometer a integridade das medições. A equivalência entre os resultados obtidos por ambos os métodos é essencial para assegurar que o componente mantém a fidelidade do sinal em toda a faixa de frequência relevante para os ensaios de EMC, validando assim sua incorporação como elemento fundamental no dispositivo separador em desenvolvimento.

### 3.2.2 Desenvolvimento do Dispositivo Separador

Considerando a necessidade de realizar operações matemáticas precisas com os sinais provenientes dos terminais de fase e neutro das LISNs, optamos por uma arquitetura dividida em dois circuitos distintos.

A Figura 15 apresenta o esquemático do circuito somador, cuidadosamente projetado para a combinação dos sinais provenientes dos terminais de fase e neutro. Este circuito desempenha papel fundamental na visualização e quantificação do ruído de modo comum presente nas emissões conduzidas.

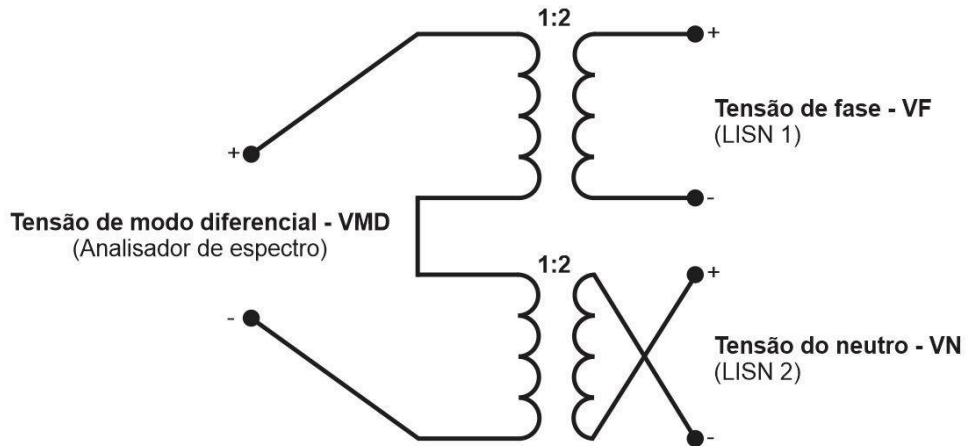
**Figura 15 – Esquemático da placa somadora**



Fonte: autoria própria (2025).

A Figura 16 apresenta o esquemático do circuito subtrator, projetado para capturar a diferença entre os sinais de fase e neutro. Este circuito é fundamental para a identificação do ruído de modo diferencial.

**Figura 16 – Esquemático da placa subtratora**



Fonte: autoria própria (2025).

Um aspecto crítico do projeto foi a seleção da razão de transformação dos transformadores de RF. Transformadores com relação 2:1 foram selecionados, uma decisão técnica deliberada para compensar o efeito natural da soma dos sinais. Se transformadores com relação 1:1 fossem utilizados, o sinal resultante na saída seria amplificado por um fator de dois em relação à tensão de modo comum - VMC e tensão de modo diferencial - VMD real, devido à natureza do circuito, conforme indicam as equações 10 e 11.

$$\hat{V}_f + \hat{V}_n = 2\hat{V}_{MC} \quad (10)$$

$$\hat{V}_f - \hat{V}_n = 2\hat{V}_{MD} \quad (11)$$

A escolha desta razão específica de transformação permite que o sinal apresentado ao analisador de espectro corresponda precisamente à amplitude do ruído, sem introduzir ganhos artificiais que poderiam distorcer a interpretação dos resultados. Esta calibração intrínseca ao circuito simplifica a análise posterior dos dados, eliminando a necessidade de compensações matemáticas adicionais durante a interpretação dos resultados.

Na etapa anterior foi validado o funcionamento do transformador 1:1 nos ensaios de emissões conduzidas, então foi selecionado um transformador 2:1 com as mesmas características, devido a solução apresentada no circuito.

A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas detalhadas do transformador utilizado para o desenvolvimento do dispositivo separador de ruído, retiradas do *datasheet* do transformador 2:1, vide Anexo B.

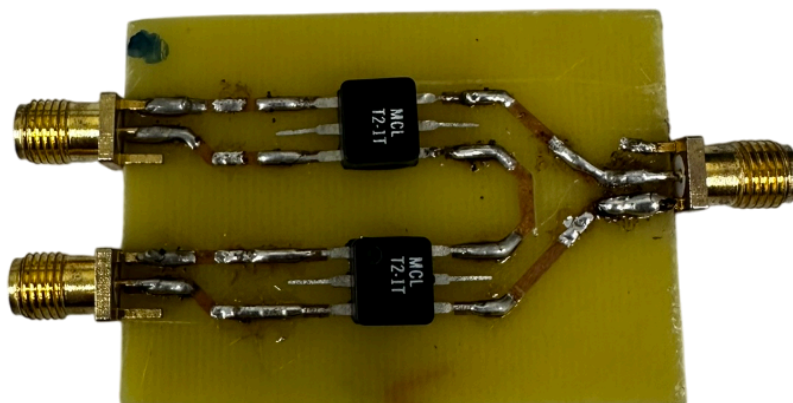
**Tabela 2 – Especificações Transformador 2:1**

|                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| Modelo           | Transformador RF MCL T2-1T |
| Fabricante       | <i>Mini Circuits</i>       |
| Largura de Banda | 0,07 - 200 MHz             |
| Tipo             | DC isolado 50 $\Omega$     |

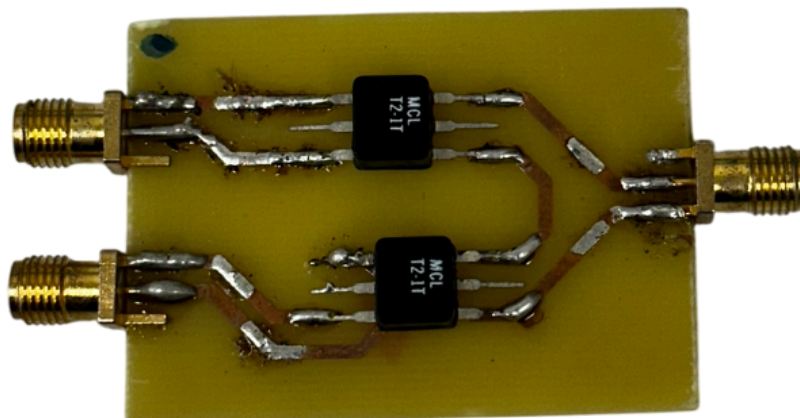
Fonte: Autoria própria (2025).

Com os esquemáticos definidos e os componentes criteriosamente selecionados, procedemos à fase de implementação física do projeto. A Figura 17 apresenta a PCB finalizada da placa somadora enquanto a Figura 18 apresenta a placa subtratora.

**Figura 17 – Placa somadora**



Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 18 – Placa subtratora**

Fonte: autoria própria (2025).

### **3.3 Teste de Emissões com o Dispositivo Separador**

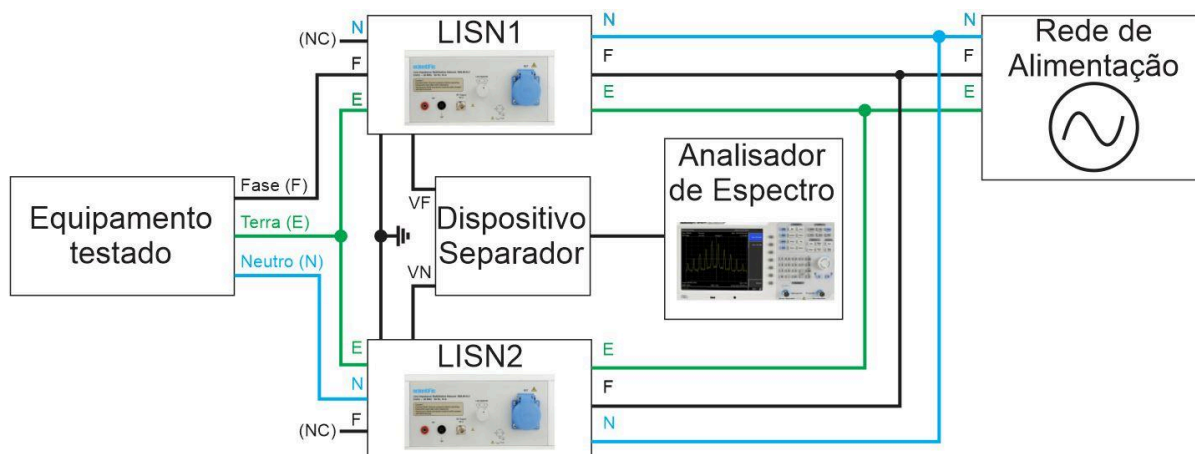
Com o objetivo de validar o funcionamento do dispositivo separador de ruído, conduzimos uma série de testes em diferentes equipamentos eletroeletrônicos. Estes ensaios foram fundamentais para comprovar a eficácia do sistema desenvolvido em condições reais de operação.

É importante ressaltar que a metodologia de teste utilizando o dispositivo separador apresenta diferenças significativas em relação ao procedimento convencional de medição de emissões conduzidas. A principal distinção reside na necessidade de utilização simultânea de duas LISNs, uma configuração que aumenta consideravelmente a complexidade do setup experimental.

#### **3.3.1 Esquemático do Ensaio de Emissão Conduzida**

A Figura 19 apresenta o diagrama de blocos detalhado da configuração experimental para os ensaios de emissões conduzidas utilizando o dispositivo separador. Este arranjo técnico foi projetado para garantir a correta separação dos modos de propagação.

**Figura 19 – Diagrama de Blocos do Ensaio de Emissão Conduzida Utilizando o Dispositivo Separador de Ruído**



Fonte: Adaptado de Almeida (2013).

No setup experimental, o condutor de fase do equipamento sob teste é conectado à entrada correspondente da LISN1, enquanto o condutor neutro é direcionado à entrada apropriada da LISN2. Para garantir a correta aquisição dos sinais, a saída da LISN1 deve ser configurada para monitorar o terminal de fase, e, analogamente, a saída da LISN2 deve ser selecionada para capturar o sinal do terminal neutro.

O condutor de terra do equipamento sob teste, quando presente, deve ser conectado simultaneamente aos terminais de terra de ambas as LISNs, assegurando um caminho comum. Além disso, a referência das duas LISNs, deve estar conectada ao plano de referência utilizado no teste.

As saídas de ambas as LISNs são então direcionadas para as entradas correspondentes do dispositivo separador, que processa os sinais e fornece na sua saída o componente específico de modo comum ou diferencial, dependendo da placa utilizada.

### 3.3.2 Ensaio Lâmpada 6W 110-240V 6.400K

Para a validação da técnica de separação de ruído a lâmpada 6W 110-240V 6.400K foi escolhida, conforme indica a Figura 20.

**Figura 20 – Lâmpada 6W 110-240V 6.400K**



Fonte: autoria própria (2025).

Primeiramente o equipamento foi medido em um ensaio de emissões conduzidas convencional conforme indica a Figura 21, analisando se o mesmo se enquadra dentro da norma vigente para esse tipo de equipamento, CISPR 15.

**Figura 21 – Ensaio convencional lâmpada**



Fonte: autoria própria (2025).

Após o ensaio convencional foi realizado o ensaio com o dispositivo separador de ruídos, alternando entre a placa somadora e subtratora a fim de

receber as medidas dos ruídos de modo comum e diferencial, para assim então comparar os resultados com o esperado teoricamente.

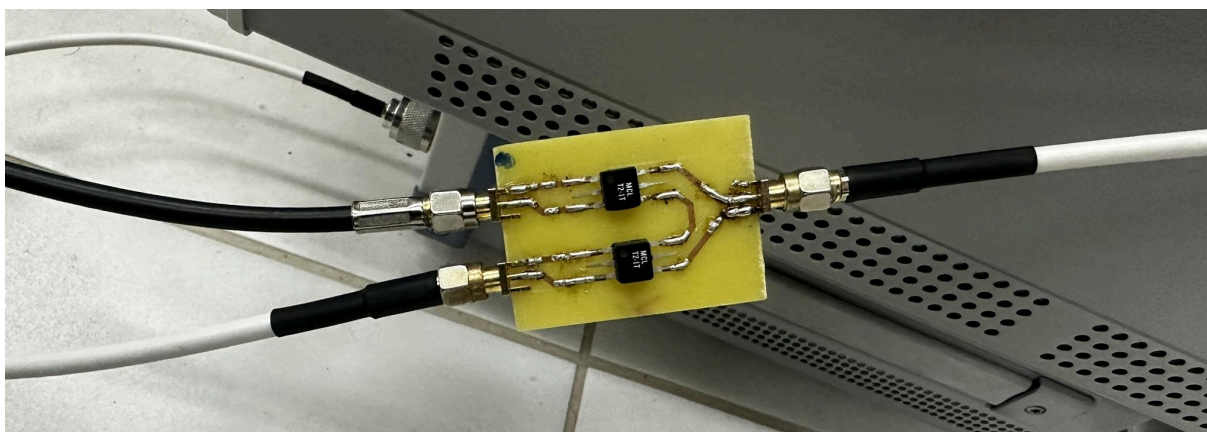
A Figura 22 mostra o ensaio com o dispositivo separador, montado de acordo com o esquemático apresentado na Figura 18, utilizando ambas as LISNs e alterando a ligação do dispositivo separador representado na Figura 23 conforme o necessário.

**Figura 22 – Ensaio com dispositivo lâmpada**



Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 23 – Placa somadora durante o ensaio**



Fonte: autoria própria (2025).

### 3.3.3 Ensaio Fonte ATX 500W

A fonte de alimentação ATX 500W, conforme indica a Figura 24, também foi escolhida para a validação da técnica de separação de ruído

**Figura 24 – Fonte ATX 500W**



Fonte: autoria própria (2025).

Primeiramente o equipamento foi medido em um ensaio de emissões conduzidas convencional conforme indica a Figura 25, analisando se o mesmo se enquadra dentro da norma vigente para esse tipo de equipamento, CISPR 22 classe B.

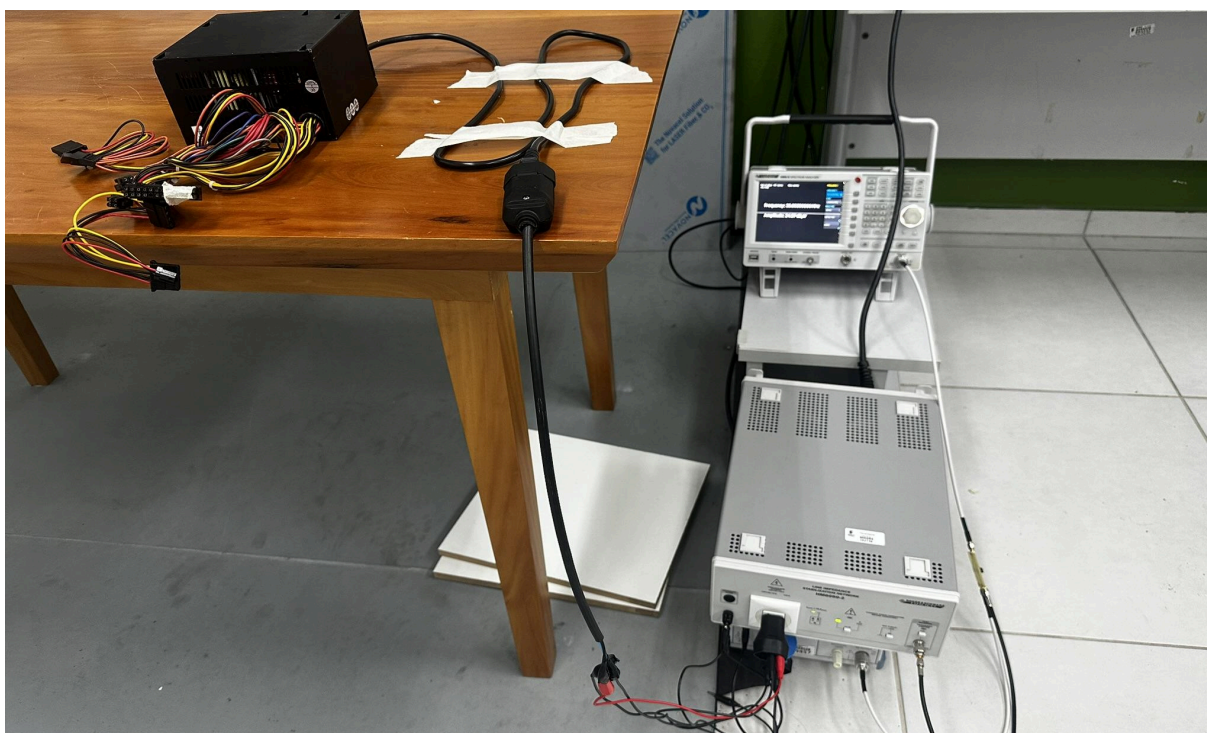
**Figura 25 – Ensaio convencional Fonte ATX 500W**



Fonte: autoria própria (2025).

Após o ensaio convencional foi realizado o ensaio com o dispositivo separador de ruídos, conforme indica a Figura 26, da mesma forma como foi realizado com a lâmpada, porém agora com a adição do condutor terra o qual o sistema conta.

**Figura 26 – Ensaio com dispositivo Fonte ATX 500W**



Fonte: autoria própria (2025).

## **4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Na seção de apresentação dos resultados, serão exibidos e analisados os dados obtidos através dos diversos ensaios de emissões conduzidas realizados, validando sistematicamente cada etapa da metodologia proposta. Inicialmente, serão apresentados os resultados referentes à equivalência entre as LISNs utilizadas (R&S HM6060-2 e R&S ENV216), fator fundamental para a confiabilidade do dispositivo separador.

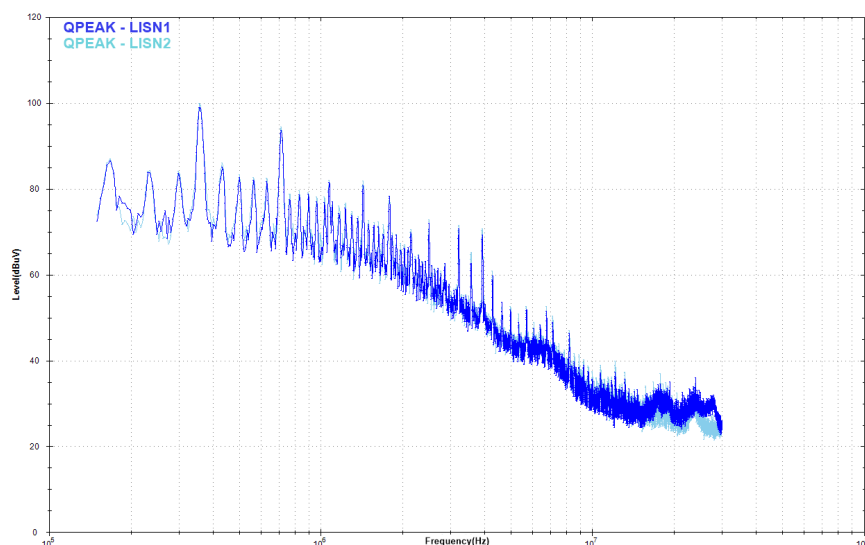
Em seguida, será demonstrada a equivalência entre os cabos RG213 e RG58, confirmando que a adaptação necessária para o projeto não compromete a precisão das medições. A validação do transformador 1:1 será então apresentada, verificando seu desempenho na faixa de frequência de 150 kHz a 30 MHz, conforme exigido pelas normas de EMC.

Por fim, serão analisados os resultados dos ensaios com os equipamentos selecionados: a lâmpada LED de 6W 110-240V 6.400K, avaliada segundo os limites estabelecidos pela norma CISPR 15, e a fonte ATX de 500W, verificada conforme os requisitos da CISPR 22 classe B. Para cada equipamento, serão apresentados os resultados do ensaio convencional e do ensaio com o dispositivo separador, permitindo a visualização e caracterização dos ruídos de modo comum e diferencial.

### **4.1 Equivalência entre LISNs**

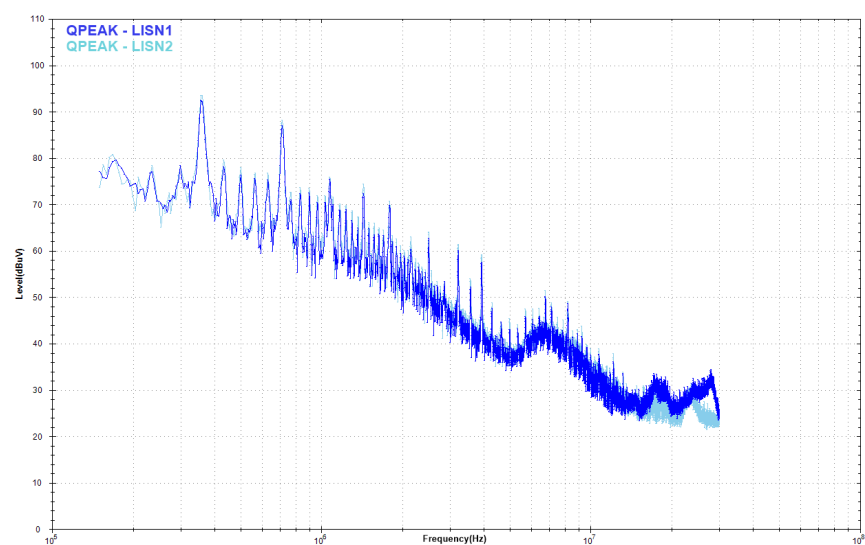
A Figura 27 evidencia os resultados do ensaio de emissões conduzidas realizado na fonte ATX, comparando simultaneamente as medições obtidas pelas LISNs HM6060-2 (traço azul escuro) e R&S ENV216 (traço azul claro) no condutor fase. Na Figura 28, mantendo-se a mesma configuração experimental, são apresentadas as medições correspondentes no condutor neutro.

**Figura 27 – Ruído na Fase LISN1 x LISN2**



Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 28 – Ruído no Neutro LISN1 x LISN2**



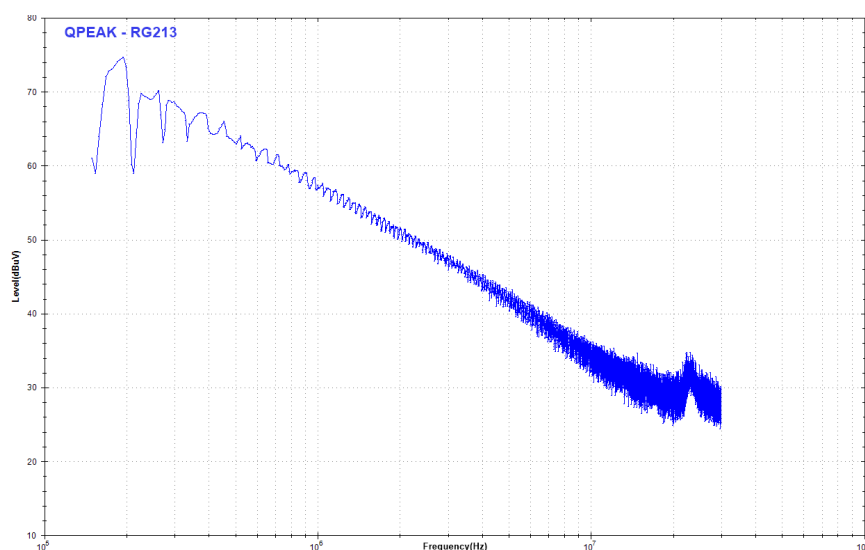
Fonte: autoria própria (2025).

É possível observar que os sinais coletados por ambas as LISNs são praticamente idênticos ao longo de toda a faixa de frequência do teste (150 kHz a 30 MHz). Nota-se apenas uma pequena diferença entre os sinais em frequências superiores a 10 MHz, porém ainda mantendo-se muito próximos.

## 4.2 Equivalência entre Cabos

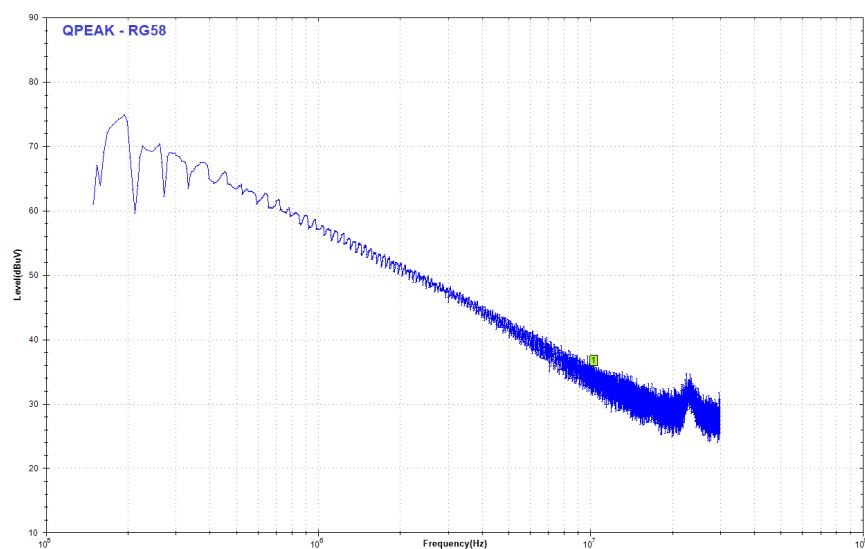
A Figura 29 apresenta o resultado do ensaio de emissão conduzida convencional realizado na lâmpada, exibindo o ruído de quase pico (*quasi-peak* - QPEAK) medido utilizando o cabo RG213. A Figura 30 demonstra o mesmo ensaio mantendo idêntica configuração experimental, porém substituindo o cabo pelo modelo RG58, permitindo assim avaliar a equivalência entre ambos para as medições.

**Figura 29 – Teste com cabo RG213**



Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 30 – Teste com cabo RG 58**



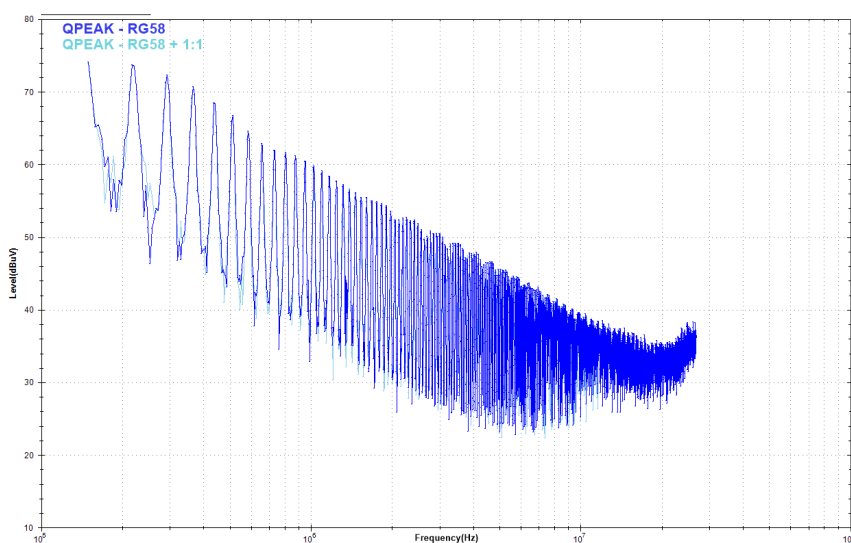
Fonte: autoria própria (2025).

A comparação entre as Figuras 29 e 30 revela comportamento equivalente de ambos os cabos durante o ensaio. Tanto o RG 213 quanto o RG 58 registram o mesmo pico inicial de aproximadamente 75 dB, e apresentam atenuação similar ao longo do espectro, finalizando a medição na faixa de 24-30 dB nas frequências mais elevadas.

### 4.3 Transformador 1:1

A Figura 31 apresenta os resultados comparativos do ensaio de emissões conduzidas na lâmpada genérica, contrastando as medições obtidas diretamente pelo cabo RG58 (traço azul escuro) com aquelas adquiridas através do conjunto cabo RG58 com transformador 1:1 (traço azul claro), permitindo avaliar o impacto da inserção do transformador no caminho do sinal.

**Figura 31 – Teste cabo RG 58 x Transformador 1:1**



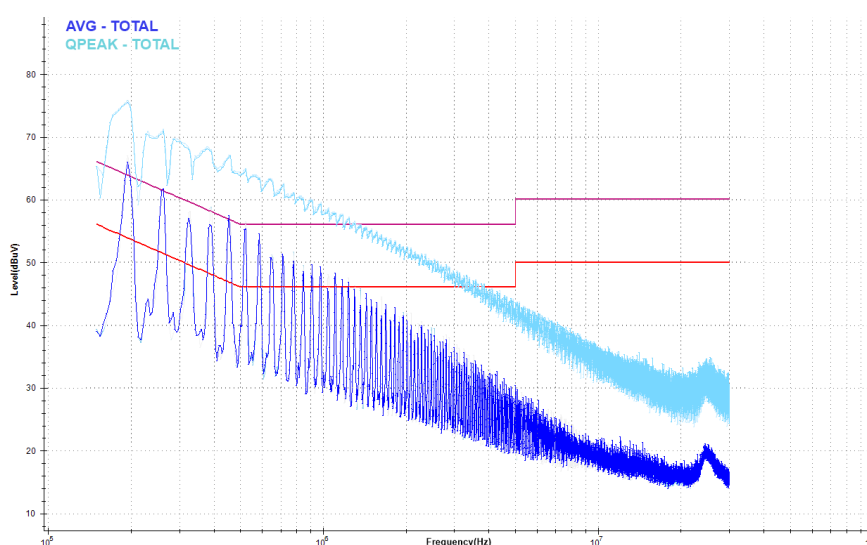
Fonte: autoria própria (2025).

Os gráficos evidenciam a equivalência entre o método convencional (apenas cabo) e a configuração com transformador 1:1 inserido no caminho do sinal. Ambas as medições apresentam resposta idêntica ao longo de toda a faixa de frequência do teste.

#### 4.4 Lâmpada 6W 110-240V 6.400K

A Figura 32 apresenta o resultado do ensaio de emissão conduzida convencional realizado na lâmpada, os ruídos de QPEAK e média (*average* - AVG) são representados pelos traços azul claro e escuro, respectivamente. O traço roxo indica o limite máximo permitido para o ruído de QPEAK, conforme estabelecido pela norma CISPR 15, enquanto o traço vermelho representa os limites para o ruído AVG.

**Figura 32 – Lâmpada ruído total - PEAK e AVG**

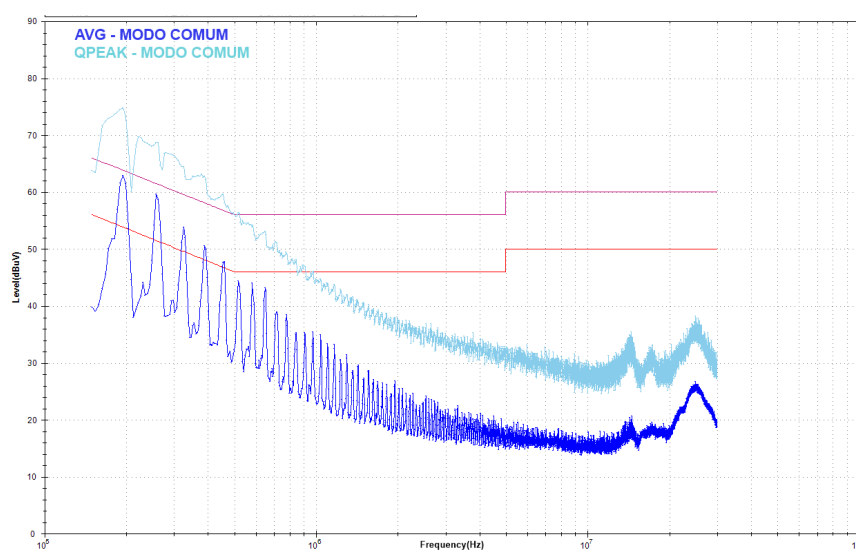


Fonte: autoria própria (2025).

É possível observar que, em ambas as categorias de QPEAK e AVG a lâmpada não atende aos limites estabelecidos pela norma. Em ambas as condições, a conformidade só é alcançada em frequências superiores a 1,5 MHz. Antes disso, especialmente no caso do ruído de QPEAK, os níveis de emissão permanecem acima do permitido até a frequência inicial do teste.

Na Figura 33 é apresentado o resultado da emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruído, na configuração da placa somadora, obtendo como resultado o ruído de modo comum, evidenciado pelo traço azul escuro (AVG) e azul claro (QPEAK).

**Figura 33 – Lâmpada placa somadora - modo comum**

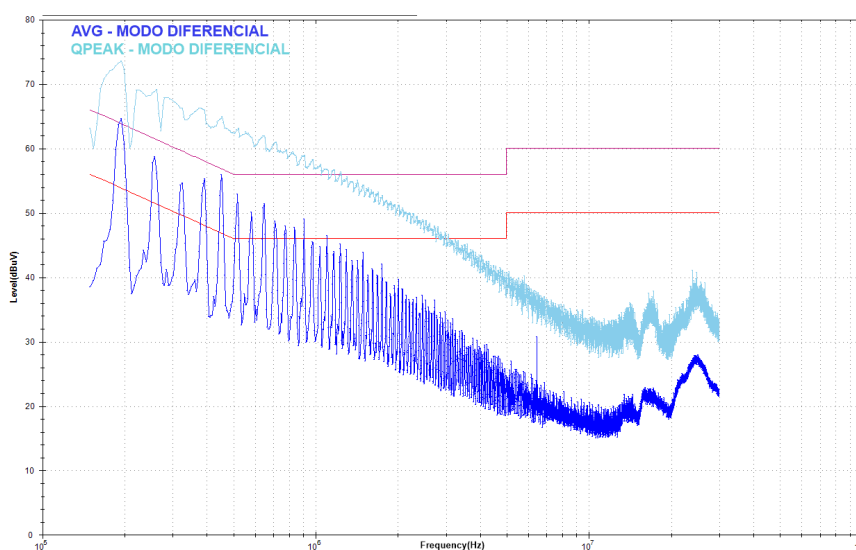


Fonte: autoria própria (2025).

Observando o ruído de modo comum ao longo da frequência dos testes este componente de ruído, de forma isolada, excede a norma em frequências mais baixas, porém em frequências altas fica bem abaixo das normas.

Na Figura 34 é apresentada a mesma configuração da Figura 33, porém agora utilizando a placa subtratora, nos retornando os ruídos de modo diferencial pelos traços azul claro (QPEAK) e azul escuro (AVG).

**Figura 34 – Lâmpada placa subtratora - modo diferencial**



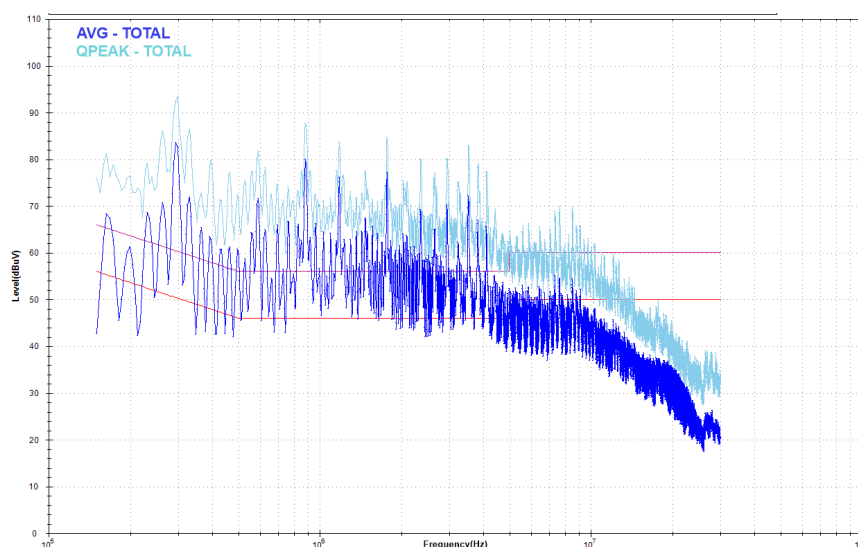
Fonte: autoria própria (2025).

Observando o ruído de modo diferencial é possível observar que apenas esse componente de forma isolada, também não está em conformidade com as normas, desde as frequências iniciais, até as intermediárias (1 MHz).

#### 4.5 Fonte ATX 500W

A Figura 35 apresenta o resultado do ensaio de emissão conduzida convencional realizado na fonte, os ruídos de QPEAK e AVG são representados pelos traços azul claro e escuro, respectivamente. O traço roxo indica o limite máximo permitido para o ruído de QPEAK, conforme estabelecido pela norma CISPR 22 classe B, enquanto o traço vermelho representa os limites para o ruído AVG.

**Figura 35 – Fonte ruído total - PEAK e AVG**



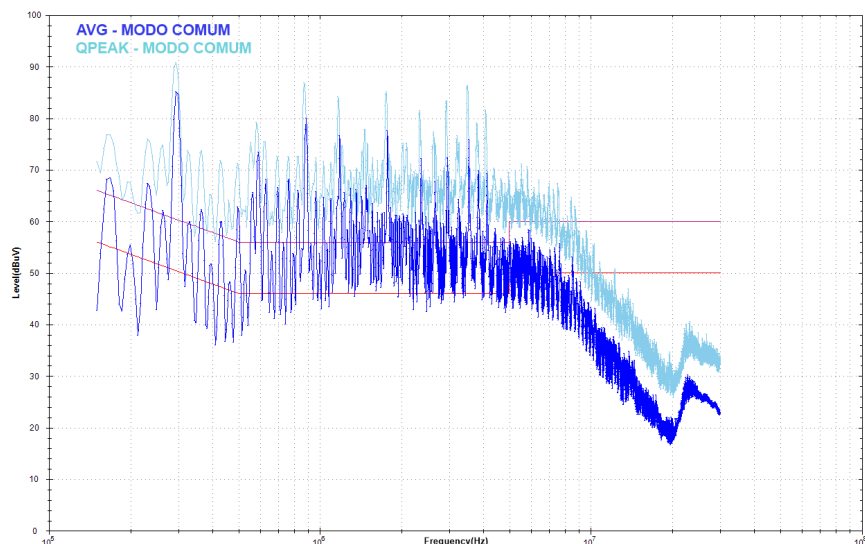
Fonte: autoria própria (2025).

É possível observar que, em ambas as categorias de QPEAK e AVG a fonte não atende aos limites estabelecidos pela norma. Em ambas as condições, a conformidade só é alcançada em frequências superiores a 10 MHz, em frequências anteriores o equipamento fica fora da norma em praticamente toda a faixa de frequência.

Na Figura 36 é apresentado o resultado da emissão conduzida utilizando o dispositivo separador de ruído, na configuração da placa somadora, obtendo como

resultado o ruído de modo comum, evidenciado pelo traço azul escuro (AVG) e azul claro (QPEAK).

**Figura 36 – Fonte placa somadora - modo comum**



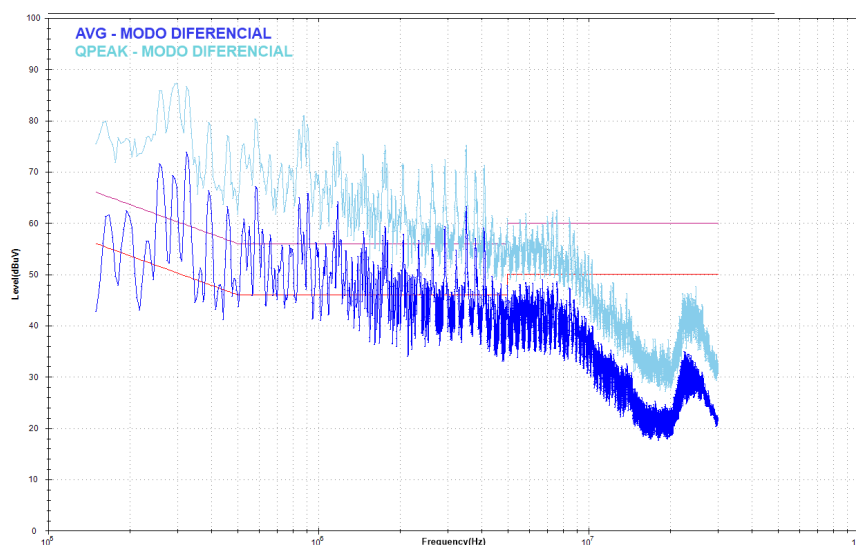
Fonte: autoria própria (2025).

Observando o ruído de modo comum ao longo da frequência dos testes este componente de ruído, de forma isolada, excede a norma em baixas, médias e até mesmo altas frequências, passando a ficar abaixo na norma apenas próximo dos 10 MHz.

Na Figura 37 é apresentada a mesma configuração da Figura 36, porém agora utilizando a placa subtratora, nos retornando os ruídos de modo diferencial pelos traços azul claro (QPEAK) e azul escuro (AVG).

Observando o ruído de modo diferencial é possível observar que apenas esse componente de forma isolada, também não está em conformidade com as normas, desde as frequências iniciais até as frequências um pouco mais altas (4 MHz).

**Figura 37 – Fonte placa subtratora - modo diferencial**



Fonte: autoria própria (2025).

## 4.6 Análise e comparação dos resultados

Com os resultados obtidos para cada componente utilizado na metodologia, é possível avaliar a eficácia do dispositivo separador de ruído.

A seguir, são discutidos os desempenhos dos principais componentes empregados no experimento, incluindo as LISNs e cabos, o transformador, o dispositivo separador propriamente dito e os equipamentos testados.

### 4.6.1 Fonte e Cabos

A equivalência entre as LISNs foi um fator determinante para garantir a confiabilidade dos ensaios. As medições realizadas com diferentes modelos de LISN demonstraram que ambas apresentaram respostas similares ao longo de toda a faixa de frequência avaliada, com pequenas variações apenas em frequências mais altas. Isso confirma que os dispositivos utilizados eram compatíveis entre si, não introduzindo desvios significativos nas medições.

Quanto à escolha dos cabos, foi realizada uma comparação entre os modelos RG213 e RG58. Os resultados indicaram que ambos os cabos

apresentaram comportamentos equivalentes, mantendo padrões de atenuação semelhantes ao longo do espectro de frequências testado. Isso valida a utilização do cabo RG58, que foi necessário para a implementação do dispositivo separador, sem comprometer a precisão das medições.

#### 4.6.2 Transformador

O transformador de relação 1:1 foi avaliado inicialmente para garantir que sua introdução no circuito não alterasse de forma significativa os níveis de ruído medidos. Os resultados demonstraram que a inclusão do trafo não distorceu nem atenuou os sinais de forma considerável, o que valida sua aplicação na metodologia.

#### 4.6.3 Dispositivo Separador

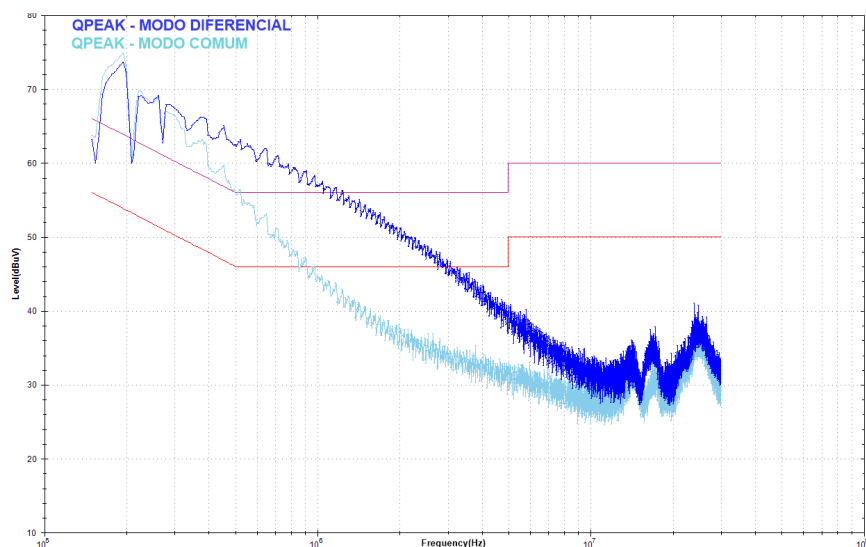
Ambos os equipamentos testados se apresentaram fora da conformidade com as normas de emissões, segundo os ensaios realizados do modo convencional.

##### 4.6.3.1 Lâmpada 6W 110-220V

A Figura 38 apresenta o gráfico comparativo entre o ruído de modo diferencial (traço azul escuro) e o ruído de modo comum (traço azul claro), ambos em seus valores de QPEAK, a Figura 39 apresenta os valores de AVG. Observa-se que o ruído de modo diferencial predomina ao longo de quase todo o espectro do ensaio, superando o ruído de modo comum em praticamente todo o espectro, exceto em frequências inferiores a 200 kHz.

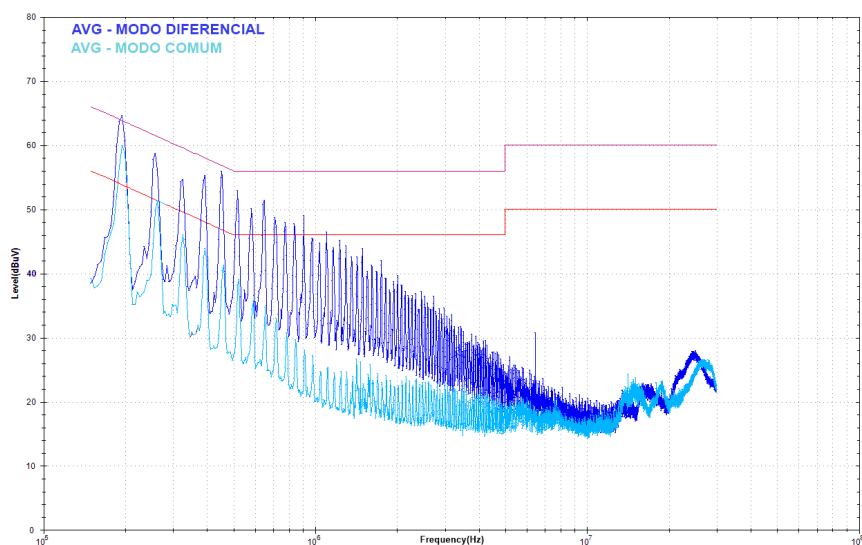
Segundo Paul (2006), era esperado que a lâmpada tivesse um domínio maior do ruído de modo diferencial ao longo de seu espectro de frequências, devido à sua configuração de apenas dois condutores (fase e neutro), o que limita a formação de correntes de modo comum, pois utilizam o condutor terra como caminho de retorno.

**Figura 38 – Lâmpada: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - PEAK**



Fonte: autoria própria (2025).

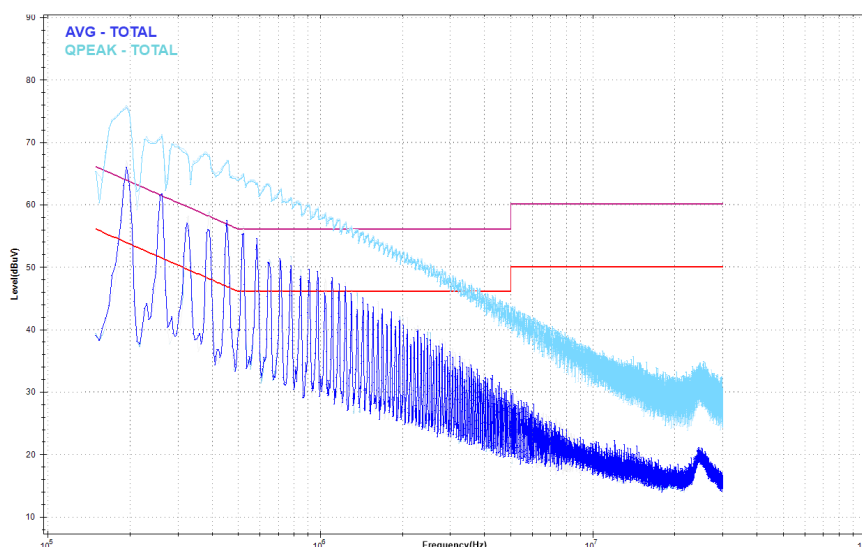
**Figura 39 – Lâmpada: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - AVG**



Fonte: autoria própria (2025).

A análise espectral dos ruídos separados revela características distintas de propagação. O ruído de modo comum apresenta níveis superiores aos limites normativos na faixa de frequências até 500 kHz, enquanto o ruído de modo diferencial excede os limites estabelecidos até 1,5 MHz, em seus valores de QPEAK e AVG.

**Figura 40 – Lâmpada: Ruído total PEAK (azul claro) e AVG (azul escuro)**



Fonte: autoria própria (2025).

Quando se dispõe apenas da medição do ruído total, conforme apresentado na Figura 40, o projeto do filtro EMI exige uma abordagem conservadora. Neste cenário, tanto os estágios de modo comum quanto os de modo diferencial precisam ser dimensionados para atenuar efetivamente as emissões até 1,5 MHz, garantindo que a lâmpada atenda aos requisitos normativos.

Em contrapartida, a utilização do dispositivo separador de ruídos permite uma estratégia de projeto significativamente mais refinada. Esta metodologia possibilita o dimensionamento específico dos componentes para cada modo de propagação:

- A. Filtro de Modo Comum: Dimensionado para proporcionar atenuação efetiva até 500 kHz;
- B. Filtro de Modo Diferencial: Projetado para atenuar emissões até 1,5 MHz.

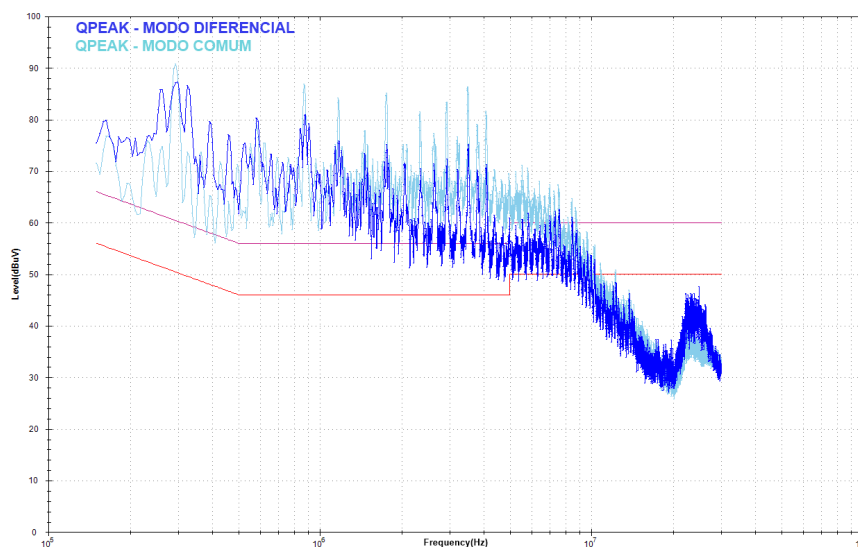
Esta abordagem seletiva resulta em uma otimização substancial no dimensionamento do filtro, eliminando a necessidade de sobredimensionar componentes destinados à atenuação de modo comum. Consequentemente, obtém-se uma redução no tamanho físico dos componentes, menor custo de implementação e potencial melhoria no desempenho global do sistema.

#### 4.6.3.2 Fonte ATX 500W

A Figura 41 apresenta o gráfico comparativo entre o ruído de modo diferencial (traço azul escuro) e o ruído de modo comum (traço azul claro), ambos em seus valores de QPEAK, a Figura 42 apresenta os valores de AVG. A análise do gráfico permite visualizar claramente a frequência em que cada componente predomina. Em frequências mais baixas, o ruído de modo diferencial é dominante; no entanto, acima de 1 MHz, o ruído de modo comum passa a apresentar valores mais elevados. O domínio de cada componente do ruído pode ser observado, através dessa metodologia já previamente implementada e validada por (PAUL, 2006; ALMEIDA, 2013; PAUL; HARDIN, 1998; WYATT, 2020).

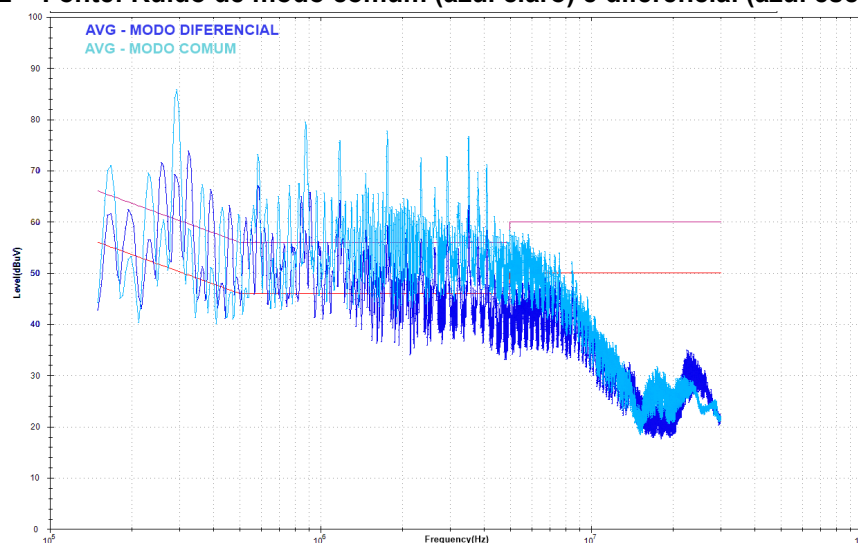
O ruído de modo comum apresenta níveis superiores aos limites normativos na faixa de frequências até 10 MHz, enquanto o ruído de modo diferencial excede os limites estabelecidos até 5 MHz, em seus valores de QPEAK e AVG.

**Figura 41 – Fonte: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - PEAK**



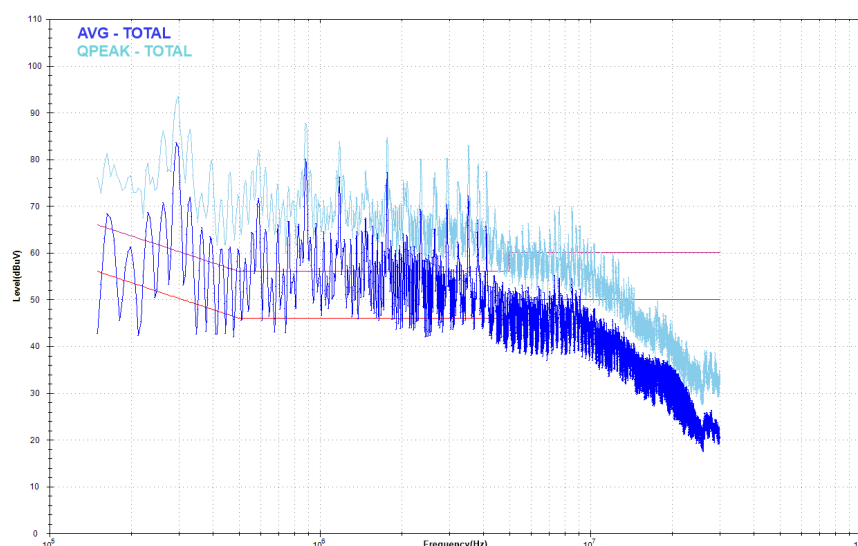
Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 42 – Fonte: Ruído de modo comum (azul claro) e diferencial (azul escuro) - AVG**



Fonte: autoria própria (2025).

**Figura 43 – Fonte: Ruído total PEAK (azul claro) e AVG (azul escuro)**



Fonte: autoria própria (2025).

Conforme apresentado na Figura 43, o projeto do filtro EMI sem a utilização do dispositivo separador deve atenuar as emissões até 10 MHz, em ambos os componentes de modo comum e diferencial, garantindo que a fonte atenda aos requisitos normativos.

Em contrapartida, utilizando o dispositivo separador de ruídos, obtém-se:

- A. Filtro de Modo Comum: Dimensionado para proporcionar atenuação efetiva até 10 MHz;

B. Filtro de Modo Diferencial: Projetado para atenuar emissões até 5 MHz.

A aplicação desta técnica resulta em uma otimização substancial no dimensionamento do filtro, eliminando a necessidade de sobredimensionar componentes destinados à atenuação de modo diferencial acima de 5 MHz, o que proporciona redução de custo e volume sem comprometer o desempenho do sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi validada a metodologia para separação de ruídos de modo comum e diferencial em emissões conduzidas, permitindo uma análise mais detalhada das interferências eletromagnéticas presentes em dispositivos eletrônicos. Através do desenvolvimento e testes experimentais do dispositivo separador, foi possível comprovar sua eficácia na visualização dos diferentes modos de ruído, fornecendo informações valiosas para o aprimoramento de técnicas de mitigação.

Os resultados obtidos demonstraram que a separação dos componentes de ruído possibilita um diagnóstico mais preciso das emissões conduzidas, permitindo um direcionamento mais eficiente no desenvolvimento de filtros EMI.

Além disso, os ensaios realizados com diferentes configurações de cabos, LISNs e transformadores reforçam a confiabilidade do método adotado, garantindo que os resultados obtidos não foram influenciados por variáveis externas. A equivalência entre os cabos RG213 e RG58, bem como a validação dos transformadores 1:1 e 2:1, confirmou que a implementação do dispositivo separador não introduziu distorções ou atenuações significativas nos sinais medidos.

Dessa forma, este estudo contribui para a área de compatibilidade eletromagnética ao fornecer uma ferramenta prática e acessível para a análise das emissões conduzidas no LabCEM. A metodologia proposta pode ser aplicada tanto em ambientes acadêmicos quanto na indústria, auxiliando no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos mais eficientes e em conformidade com as normas vigentes.

### 5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados obtidos e nas limitações identificadas, algumas sugestões para pesquisas futuras incluem:

- A. Aplicar os conhecimentos adquiridos na separação dos ruídos para projetar filtros EMI mais eficazes e direcionados, permitindo uma atenuação mais precisa de cada tipo de interferência e melhorando a conformidade dos dispositivos com as normas de compatibilidade eletromagnética;

- B. Expandir os testes para outros dispositivos eletrônicos, como inversores de frequência, sistemas de telecomunicações e equipamentos de potência, a fim de validar a metodologia em diferentes cenários.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Chaiane C. **Análise das emissões conduzidas utilizando técnicas de separação de ruído de modo comum e modo diferencial**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/106871>. Acesso em: 8 nov. 2024.

ANATEL. Ato nº 1.120, de 19 de fevereiro de 2018. **Atualiza os Requisitos Técnicos para Avaliação da Conformidade de Produtos para Telecomunicações**. Brasília, DF: ANATEL, 2018. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/95-atos-de-certificacao-de-produtos/2018/1181-ato-1120>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BOYLESTAD, R. L. **Introductory Circuit Analysis**. 10. ed. New Jersey: Pearson College Div, 2002. 1228 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. [S.l.]: Editora Atlas S.A., 2002. ISBN 978-85-224-7840-8.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 6. ed. [S.l.]: Bookman, 2010. ISBN 978-85-407-0062-8.

OTT, Henry. W. **Electromagnetic Compatibility Engineering**. Canada.: JOHN WILEY & SONS, 2009. 843 p. ISBN 978-0-470-18930-6.

PAUL, Clayton. R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. 2. ed. Canada.: JOHN WILEY & SONS, 2006. 983 p. ISBN 978-0471755005.

PAUL, Clayton. R.; HARDIN, Keith. B. **Diagnosis and reduction of conducted noise emissions**. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, 1988, Seattle. Anais [...]. Seattle: IEEE, 1988. p. 19-23. DOI: 10.1109/IEMC.1988.14080.

PEREZ, Reinaldo. **Handbook of electromagnetic compatibility**. San Diego: Academic Press, 1995. 1098 p.

SCHLICHTING, Luis. C. M. **Contribuição ao estudo da compatibilidade eletromagnética aplicada aos conversores estáticos**. Tese (Doutorado) — Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85109>. Acesso em: 1 fev 2025.

TARATEERASETH, V. **EMI filter design: Part III: Selection of filter topology for optimal performance.** IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, v. 1, n. 2, p. 60-73, 2012. DOI: 10.1109/MEMC.2012.6244975.

WYATT, Kenneth. **Review: Tekbox LISN Mate is valuable for evaluating filter circuits.** EDN – *The EMC Blog*, maio 2020. Disponível em: <https://www.edn.com/review-tekbox-lisn-mate-is-valuable-for-evaluating-filter-circuits/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Datasheet transformador 1:1

Disponível em:

[https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=T1-1T&srsId=AfmB0oo\\_C81YL2vMkXaziRBA1rDQjA\\_FqnxETTRgRSIZxoQRN4W\\_1FJX](https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=T1-1T&srsId=AfmB0oo_C81YL2vMkXaziRBA1rDQjA_FqnxETTRgRSIZxoQRN4W_1FJX)

Surface Mount

## RF Transformer

50Ω

0.08 to 200 MHz

T1-1T



Generic photo used for illustration purposes only

CASE STYLE: W38

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

## Maximum Ratings

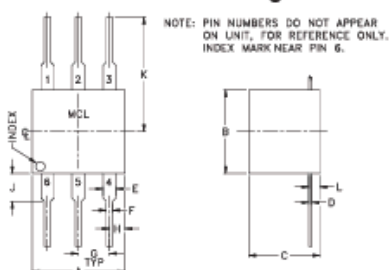
|                       |                |
|-----------------------|----------------|
| Operating Temperature | -20°C to 85°C  |
| Storage Temperature   | -55°C to 100°C |
| RF Power              | 0.25W          |
| DC Current            | 30mA           |

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

## Pin Connections

|               |   |
|---------------|---|
| PRIMARY DOT   | 4 |
| PRIMARY       | 6 |
| SECONDARY DOT | 3 |
| SECONDARY     | 1 |
| SECONDARY CT  | 2 |
| NOT USED      | 5 |

## Outline Drawing



## Outline Dimensions (inch)

| A    | B    | C    | D    | E    | F     |
|------|------|------|------|------|-------|
| .30  | .27  | .23  | .010 | .042 | .020  |
| 7.62 | 6.86 | 5.84 | 0.25 | 1.07 | 0.51  |
| G    | H    | J    | K    | L    | wt    |
| .100 | .05  | .09  | .31  | .036 | grams |
| 2.54 | 1.27 | 2.29 | 7.87 | 0.91 | 0.50  |

## Config. A



## Features

- wideband, 0.08 to 200 MHz
- excellent return loss
- also available with surface mount gull wing (KK81) plug-in (X65) leads

## Applications

- VHF
- receivers/transmitters

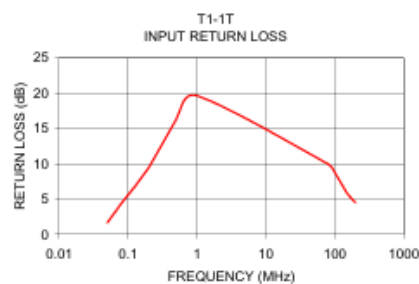
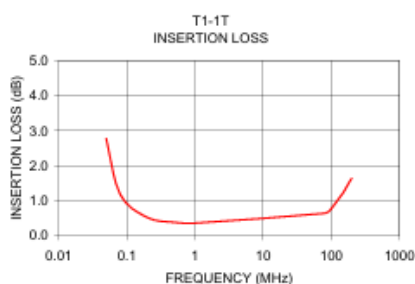
## Transformer Electrical Specifications

| Ω RATIO | FREQUENCY (MHz) | INSERTION LOSS* |          |          |
|---------|-----------------|-----------------|----------|----------|
|         |                 | 3 dB MHz        | 2 dB MHz | 1 dB MHz |
| 1       | 0.08-200        | .08-200         | 0.15-150 | 0.2-80   |

\*Insertion Loss is referenced to mid-band loss, 0.3 dB typ.

## Typical Performance Data

| FREQUENCY (MHz) | INSERTION LOSS (dB) | INPUT R. LOSS (dB) |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| 0.05            | 2.78                | 1.64               |
| 0.08            | 1.18                | 4.39               |
| 0.20            | 0.52                | 9.45               |
| 0.50            | 0.38                | 16.31              |
| 1.00            | 0.36                | 19.67              |
| 80.00           | 0.64                | 9.96               |
| 99.33           | 0.76                | 8.80               |
| 150.00          | 1.23                | 5.83               |
| 192.51          | 1.60                | 4.60               |
| 200.00          | 1.63                | 4.55               |



## ANEXO B – Datasheet transformador 2:1

Disponível em:

[https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=T2-1T%2B&srsId=AfmBOoqCEP4EhG7hjveZQgEYnmUyG7GCX\\_hd-GO\\_aCp5Js7\\_cYja72rj](https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=T2-1T%2B&srsId=AfmBOoqCEP4EhG7hjveZQgEYnmUyG7GCX_hd-GO_aCp5Js7_cYja72rj)

## Surface Mount RF Transformer

50Ω      0.07 to 200 MHz

### Maximum Ratings

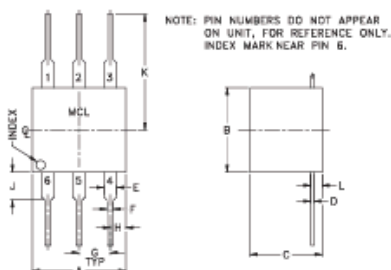
|                       |                |
|-----------------------|----------------|
| Operating Temperature | -20°C to 85°C  |
| Storage Temperature   | -55°C to 100°C |
| RF Power              | 0.25W          |
| DC Current            | 30mA           |

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

### Pin Connections

|               |   |
|---------------|---|
| PRIMARY DOT   | 4 |
| PRIMARY       | 6 |
| SECONDARY DOT | 3 |
| SECONDARY     | 1 |
| SECONDARY CT  | 2 |
| NOT USED      | 5 |

### Outline Drawing



### Outline Dimensions (inch/mm)

| A    | B    | C    | D    | E    | F     |
|------|------|------|------|------|-------|
| .30  | .27  | .23  | .010 | .042 | .020  |
| 7.62 | 6.86 | 5.84 | 0.25 | 1.07 | 0.51  |
| G    | H    | J    | K    | L    | wt    |
| .100 | .05  | .09  | .31  | .036 | grams |
| 2.54 | 1.27 | 2.29 | 7.87 | 0.91 | 0.50  |

### Config. A



### Features

- wideband, 0.07 to 200 MHz
- good return loss
- also available with surface mount gull wing (KK81) plug-in (X65) leads

### Applications

- balanced to unbalanced transformation
- balanced antennas
- push-pull amplifiers

T2-1T+  
T2-1T



Generic photo used for illustration purposes only  
CASE STYLE: W38

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

### Transformer Electrical Specifications

| Ω<br>RATIO<br>(Secondary/Primary) | FREQUENCY<br>(MHz) | INSERTION LOSS* |             |             |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|
|                                   |                    | 3 dB<br>MHz     | 2 dB<br>MHz | 1 dB<br>MHz |
| 2                                 | 0.07-200           | 0.07-200        | 0.1-100     | 0.5-50      |

\*Insertion Loss is referenced to mid-band loss, 0.4 dB typ.

### Typical Performance Data

| FREQUENCY<br>(MHz) | INSERTION<br>LOSS<br>(dB) | INPUT<br>R. LOSS<br>(dB) |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0.07               | 2.74                      | 5.10                     |
| 0.20               | 0.94                      | 12.00                    |
| 1.00               | 0.58                      | 18.12                    |
| 18.00              | 0.42                      | 20.44                    |
| 38.00              | 0.51                      | 17.69                    |
| 60.00              | 0.63                      | 14.99                    |
| 85.00              | 0.78                      | 12.62                    |
| 120.00             | 1.02                      | 10.17                    |
| 170.00             | 1.32                      | 7.77                     |
| 200.00             | 1.49                      | 6.72                     |

