



PROJETO DE FILTROS DE LINHA CA CONSIDERANDO RUÍDOS DE MODO COMUM E DIFERENCIAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6248

Autores: GUSTAVO SARGENTI DA SILVA HARTMANN DE ANDRADE NEVES, LUIS CARLOS MARTINHAGO SCHLICHTING

Resumo: A interferência eletromagnética (EMI) é um dos principais desafios em sistemas eletrônicos modernos, especialmente em aplicações de potência que utilizam conversores estáticos. Este trabalho propõe uma abordagem prática e didática para o desenvolvimento de filtros de linha AC, com foco na separação e atenuação dos ruídos em modo comum e modo diferencial. A partir da caracterização do ruído gerado por uma fonte de alimentação, foi possível projetar um filtro eficiente e verificar sua eficácia por meio de simulações e testes experimentais. Os resultados confirmam a viabilidade da solução e reforçam sua aplicabilidade em contextos educacionais e laboratoriais, contribuindo para o ensino de técnicas relacionadas à compatibilidade eletromagnética (EMC).

Palavras-chave: Compatibilidade Eletromagnética, Filtros de Linha AC, Modos de Ruído

PROJETO DE FILTROS DE LINHA CA CONSIDERANDO RUÍDOS DE MODO COMUM E DIFERENCIAL

1 INTRODUÇÃO

A Interferência Eletromagnética (EMI) representa um dos principais desafios em sistemas eletrônicos modernos, especialmente em aplicações de potência. Gerada predominantemente pelas altas taxas de comutação de semicondutores em conversores estáticos, a EMI pode se propagar tanto por condução quanto por radiação, afetando o desempenho e a conformidade de dispositivos sensíveis. Os conversores estáticos, amplamente empregados em fontes chaveadas, inversores, retificadores e fontes ininterruptas de energia, operam em altas frequências e, por isso, são fontes significativas de ruídos eletromagnéticos.

O Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética (LabCEM) do IFSC, credenciado para a prestação de serviços especializados em ensaios de emissão eletromagnética, realiza testes de protótipos e produtos de empresas que precisam comprovar conformidade com as normas de compatibilidade eletromagnética (EMC). Quando um equipamento não atende aos limites regulamentares, cabe aos projetistas aplicar técnicas de mitigação, sendo o dimensionamento correto de filtros de linha AC um ponto crítico. Diante dessa dificuldade observada no laboratório, iniciou-se um projeto de pesquisa com bolsistas de Iniciação Científica (IC) com foco no projeto de filtros de linha AC.

O uso destes filtros se destaca como uma solução eficaz e amplamente adotada. Esses filtros são projetados para atenuar ruídos de alta frequência sem afetar o funcionamento normal da corrente alternada, contribuindo para o atendimento às normas de EMC e garantindo a integridade dos sinais e a imunidade de outros equipamentos eletrônicos.

Para um projeto eficiente de filtros EMI, é essencial compreender os dois modos distintos de propagação do ruído: modo comum e modo diferencial. A separação e análise desses modos permitem o desenvolvimento de filtros mais direcionados e otimizados, aumentando significativamente sua eficácia. Este trabalho tem como objetivo principal explorar o desenvolvimento experimental de um filtro de linha AC, com foco na separação dos ruídos em modo comum e modo diferencial. A estrutura metodológica foi elaborada com base nos estudos de Almeida (2013), que trata detalhadamente das técnicas de separação e medição desses componentes de ruído em ensaios práticos.

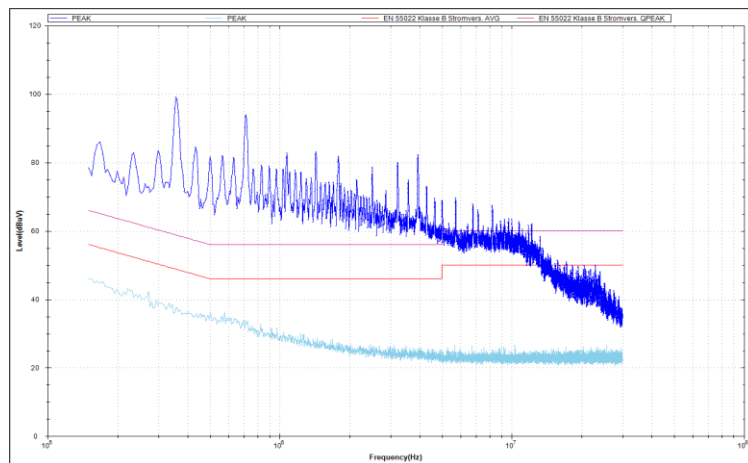
A proposta visa não apenas compreender o comportamento da EMI nos sistemas analisados, mas também propor soluções práticas e eficazes para sua atenuação. Além da sua relevância técnica, este estudo contribui para o desenvolvimento de competências previstas nas Diretrizes Curriculares Nacionais de Engenharia, como resolução de problemas complexos, aplicação de normas técnicas, comunicação e documentação técnica, trabalho em equipe multidisciplinar, experimentação e validação de resultados. Ao enfatizar a aplicação prática da compatibilidade eletromagnética, o projeto reforça o valor pedagógico de integrar teoria, experimentação e demandas industriais autênticas, fortalecendo, assim, a formação de profissionais capacitados para lidar com os desafios de EMC nos sistemas eletrônicos modernos.

2 IDENTIFICAÇÃO E SEPARAÇÃO DOS MODOS DE RUÍDO

Em medições de interferência conduzida, os ruídos podem ser decompostos em dois tipos principais de correntes: corrente de modo comum e corrente de modo diferencial. A corrente de modo diferencial circula entre os condutores de linha e neutro, enquanto a corrente de modo comum flui simultaneamente por ambos os condutores em direção ao condutor terra. Para viabilizar essa análise, foi desenvolvido um aparelho específico capaz de separar fisicamente as correntes de modo comum e modo diferencial, permitindo a medição individual de cada componente. Essa ferramenta é essencial no processo de desenvolvimento do filtro, pois possibilita a identificação precisa das características do ruído a ser atenuado.

Neste estudo, utilizou-se como carga de teste uma fonte de alimentação fora dos padrões de conformidade eletromagnética, a qual apresenta altos níveis de ruído conduzido. É possível observar, na “Figura 1”, o espectro de ruído fora dos limites estabelecidos pelas normas, evidenciando a natureza ruidosa da carga utilizada.

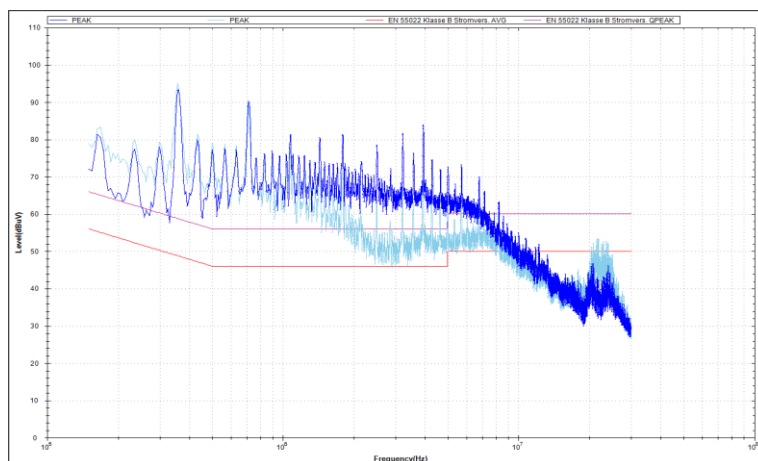
Figura 1 – Espectro da fonte de alimentação.



Fonte: Autoria própria (2025).

Após a utilização dos dispositivos de separação de ruído conduzido, foi possível obter as componentes de modo comum e modo diferencial da fonte, como mostrado na “Figura 2”, onde o ruído em azul escuro representa a componente de modo comum e o ruído em azul claro corresponde à componente de modo diferencial.

Figura 2 – Espectros de modo comum e modo diferencial



Fonte: Autoria própria (2025).

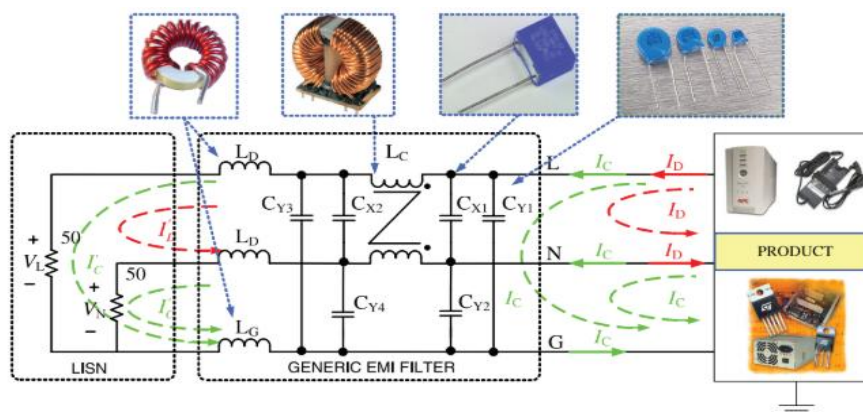
A partir da análise espectral dos ruídos conduzidos, verificou-se que os níveis mais elevados de interferência eletromagnética ocorrem na frequência de 360 kHz, tanto para o modo comum (MC) quanto para o modo diferencial (MD). Essa observação é fundamental, pois direciona o processo de desenvolvimento do filtro, garantindo que a seleção dos componentes e o projeto do circuito sejam otimizados para promover atenuação eficaz exatamente na faixa de maior incidência de ruído.

3 DESENVOLVIMENTO DO FILTRO DE LINHA

Filtros eletromagnéticos (EMI) são dispositivos passivos essenciais para a mitigação de interferências eletromagnéticas em sistemas eletrônicos. Eles atuam como barreiras entre a fonte de ruído e a rede de alimentação, ou entre o equipamento sensível e as fontes de distúrbios, impedindo que sinais indesejados se propaguem e comprometam o funcionamento do sistema.

Nesta pesquisa, foi projetado um filtro EMI voltado para um único equipamento em teste, com o objetivo de atenuar ruídos conduzidos de modo comum e modo diferencial. A frequência de atenuação foi estabelecida em 360 kHz para ambos os modos, alinhando-se com os dados obtidos na etapa de caracterização do ruído. Esta escolha otimiza o projeto, direcionando a eficácia do filtro onde se concentra o pico crítico de interferência. De acordo com Tarateeraseth (2012), a topologia adotada para o filtro EMI segue um arranjo genérico amplamente utilizado para a atenuação de ruídos conduzidos, tanto de modo comum quanto de modo diferencial. Esse arranjo é composto por indutores e capacitores estrategicamente posicionados, como mostrado na “Figura 3”.

Figura 3 – Exemplo de topologia genérica de filtro.



Fonte: Tarateeraseth (2012).

O filtro é estruturado com indutores de modo diferencial (LD), posicionados em série com as linhas de fase e neutro, cuja função principal é atenuar os ruídos de modo diferencial (ID), que circulam entre esses dois condutores. Há também um indutor de modo comum (LC), geralmente implementado como um indutor com núcleo toroidal e enrolamentos acoplados, que atua sobre os ruídos de modo comum (IC), propagados simultaneamente pelas linhas de fase e neutro em relação ao condutor terra. Além disso, o indutor de modo comum pode contribuir para a atenuação dos ruídos de modo diferencial, em função da indutância de dispersão presente entre os enrolamentos.

Para complementar a filtragem, são utilizados capacitores X, conectados entre fase e neutro, responsáveis por desviar as componentes de alta frequência do ruído diferencial,

e capacitores Y, ligados entre as linhas (fase e neutro) e o terra (G), destinados à atenuação de ruídos de modo comum.

A estrutura do filtro também inclui a interface com a LISN (Line Impedance Stabilization Network), utilizada para medir os níveis de ruído em conformidade com as normas de compatibilidade eletromagnética (EMC). Na representação gráfica, as setas vermelhas (ID) indicam a circulação do ruído de modo diferencial, enquanto as setas verdes (IC) mostram os caminhos dos ruídos de modo comum.

A seguir, serão apresentados as equações e os procedimentos de cálculo para a correta especificação de cada componente, de modo a assegurar a eficiência da atenuação do ruído na frequência de interesse.

3.1 Dimensionamento teórico do filtro

Para a elaboração e aplicação do projeto do filtro de EMI, utilizou-se como base a contribuição de Liz (2003). O primeiro procedimento consistiu na realização da medição da EMI conduzida pelo equipamento em teste, como é possível ver na “Figura 2”, com a separação dos componentes de ruído em modo comum $(V_{MC})_{dBuV}$ e modo diferencial $(V_{MD})_{dBuV}$.

A partir dessas medições, determinou-se a atenuação necessária para ambos os tipos de ruído. Esse cálculo foi feito utilizando a “Equação (1)” e a “Equação (2)”:

$$(V_{a_MC})_{dB} = (V_{MC})_{dB} - (V_{limite})_{dB} + 3dB \quad (1)$$

$$(V_{a_MD})_{dB} = (V_{MD})_{dB} - (V_{limite})_{dB} + 3dB \quad (2)$$

Sendo que $(V_{MC})_{dB}$ e $(V_{MD})_{dB}$ representam os níveis de ruído medidos, enquanto $(V_{limite})_{dB}$ refere-se ao valor máximo permitido pelas normas CISPR para emissões conduzidas. Adicionalmente, foi considerado um acréscimo de 3 dB como margem de segurança. Substituindo os valores nas equações, encontramos a tensão de atenuação para cada componente:

$$(V_{a_MC})_{dB} = 93,53dB - 58,69dB + 3dB = 37,84dB \quad (1)$$

$$(V_{a_MD})_{dB} = 95,20dB - 58,69dB + 3dB = 39,51dB \quad (2)$$

Com a atenuação necessária já determinada, prosseguiu-se com a definição da frequência de corte do filtro. Considerando a necessidade de uma atenuação de 40 dB na frequência de 360 kHz e verificando que as atenuações exigidas para o modo comum e o modo diferencial apresentaram valores muito próximos, optou-se por adotar a mesma frequência de corte para ambos os modos, f_{c_MC} e f_{c_MD} , fixada em 36 kHz.

Em seguida, foram calculados os valores dos componentes necessários para a implementação do filtro, considerando que o equipamento foi projetado para operar com alimentação de 110 V. No caso do modo comum, determinou-se o valor da capacitância C_Y , respeitando as restrições impostas pelas normas de segurança em relação à corrente de fuga para o terra, a qual varia de 250 μA , conforme as normas mais restritivas, até 5 mA nas mais permissivas. Considerando o limite mais restritivo, o valor máximo de C_Y foi calculado pela “Equação (3)”:

$$C_Y \geq \frac{I_C}{2\pi f \times V_C} \quad (3)$$

onde I_C representa a corrente de fuga, f a frequência de operação, e V_C a tensão. Foi adotado a frequência de operação em 60 Hz. Substituindo os valores na “Equação (3)”:

$$C_Y \geq \frac{250u}{2\pi 60 \times 110} = 6.028 \text{ nF} \quad (3)$$

A capacitância de modo comum ficou limitado em 6nF. O valor de L_{MC} e $2 \times C_Y$ devem ter uma frequência ressonante dada por f_{c_MC} , obtida anteriormente.

$$L_{MC} = \left(\frac{1}{2\pi \times f_{c_MC}} \right)^2 \times \frac{1}{2 \times C_Y} \quad (4)$$

Inicialmente, considerou-se um indutor com valor comercial de 1,35mH. Contudo, após a medição, verificou-se que a indutância real era de 1,40mH. Dessa forma, utilizou-se o valor medido de 1,40mH para o dimensionamento da capacitância de modo comum, assegurando maior precisão no projeto. Ao isolar C_Y na “Equação (4)”, gera-se a “Equação (5)”:

$$C_Y = \left(\frac{1}{2\pi \times f_{c_MC}} \right)^2 \times \frac{1}{2 \times L_{MC}} \quad (5)$$

Substituindo os valores:

$$C_Y = \left(\frac{1}{2\pi \times 36000} \right)^2 \times \frac{1}{2 \times 1,40m} = 6,98 \text{ nF} \quad (5)$$

No projeto, foi utilizado um valor de capacitor comercial de 6,8nF. Para os componentes associados ao modo diferencial, utilizou-se a indutância de dispersão ($L_{dispersão}$) do indutor de modo comum (L_{MC}) como o indutor de modo diferencial. Conforme Fu-Yuan et al. (1996), a indutância de dispersão representa entre 0,5% e 2% do valor da indutância de modo comum. Considerando o indutor de modo diferencial (L_{MD}) de 2% do valor de L_{MC} , a relação é expressa na “Equação (6)”:

$$L_{MD} = L_{dispersão} = 2\% \times 1,40m = 28 \text{ uH} \quad (6)$$

Ambos os capacitores, C_{X1} e C_{X2} , possuem a mesma capacitância de modo diferencial (C_{MD}). Esta é associada à indutância de dispersão de modo diferencial (L_{MD}) pela frequência de corte f_{c_MD} . Essa capacitância pode ser calculada através da “Equação (7)”:

$$C_{X1} = C_{X2} = C_{MD} = \left(\frac{1}{2\pi \times f_{c_MD}} \right)^2 \times \frac{1}{L_{dispersão}} \quad (7)$$

Substituindo os valores:

$$C_{X1} = C_{X2} = C_{MD} = \left(\frac{1}{2\pi \times 36000} \right)^2 \times \frac{1}{28u} = 698 \text{ nF} \quad (7)$$

No projeto, foi adotado um capacitor comercial de 680 nF. A “Tabela 1” resume os valores teóricos e os valores medidos dos componentes utilizados, permitindo a comparação entre o dimensionamento previsto e as características verificadas na prática.

Tabela 1 – Comparação dos componentes e seus respectivos valores.

Componente	Valor Comercial	Valor Medido
L_{MC}	1,35 mH	1,40 mH
C_Y	6,8 nF	6,5 nF
C_{MD}	680 nF	695 nF
L_{MD}	28 uH	29,8 uH

Fonte: autoria própria (2025).

Com os parâmetros de atenuação e os componentes do filtro devidamente dimensionados, conclui-se a etapa de projeto do filtro EMI. No próximo capítulo, será apresentada a simulação do filtro e os resultados da simulação no software.

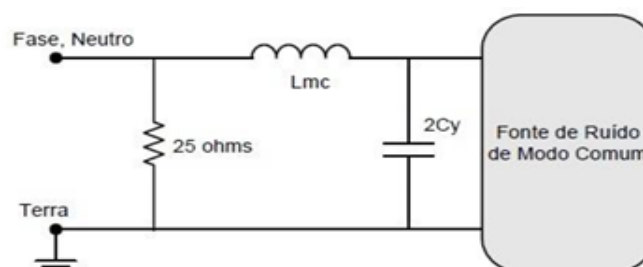
4 IMPLEMENTAÇÃO EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Para garantir a eficácia dos componentes selecionados, foi conduzida uma simulação no software Proteus 8 Professional. Esta simulação utilizou topologias de filtro específicas para o tratamento dos ruídos de MC e MD.

No filtro EMI, componentes como os capacitores C_{X1} e C_{X2} são predominantemente eficazes contra o ruído de modo diferencial, operando como capacitores linha a linha. Por outro lado, um indutor de modo comum (L_{MC}), em sua configuração ideal, atua principalmente na atenuação do ruído de MC. No entanto, a indutância de dispersão ($L_{dispersão}$) inerente a esse indutor, presente entre seus enrolamentos, exerce um efeito considerável sobre o ruído de MD. O capacitor C_Y , também conhecido como capacitor linha-terra, contribui para a redução de ambos os modos de ruído. Contudo, sua influência no ruído de MD tende a ser menos expressiva quando a capacitância de C_{X2} é significativamente maior que a de C_Y .

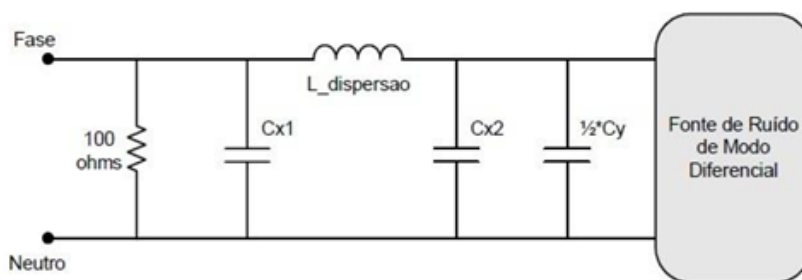
Para ilustrar esses princípios, foram considerados circuitos equivalentes que representam a atuação do filtro em cada modo de ruído, conforme adaptado de Fu-Yuan et al. (1996). Esses modelos – “Figura 4” e “Figura 5” - mostram como certos elementos do filtro impactam um modo de ruído de forma mais acentuada, enquanto outros afetam ambos.

Figura 4 – Circuito Equivalente para o Modo Comum.



Fonte: Adaptado de Fu-Yuan et al. (1996).

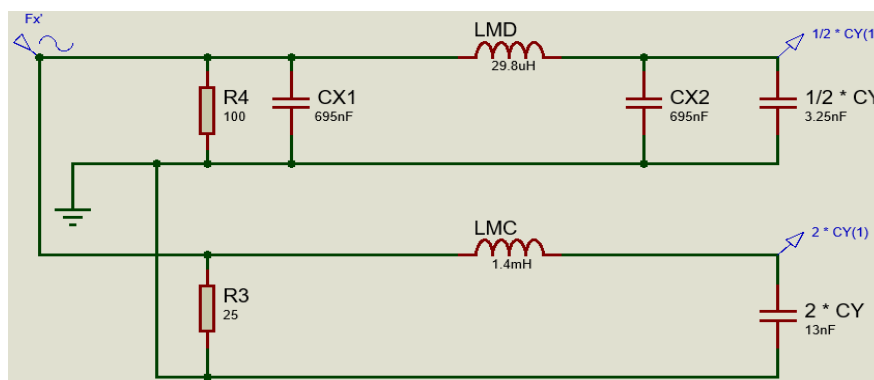
Figura 5 – Circuito Equivalente para o Modo Diferencial.



Fonte: Adaptado de Fu-Yuan et al. (1996).

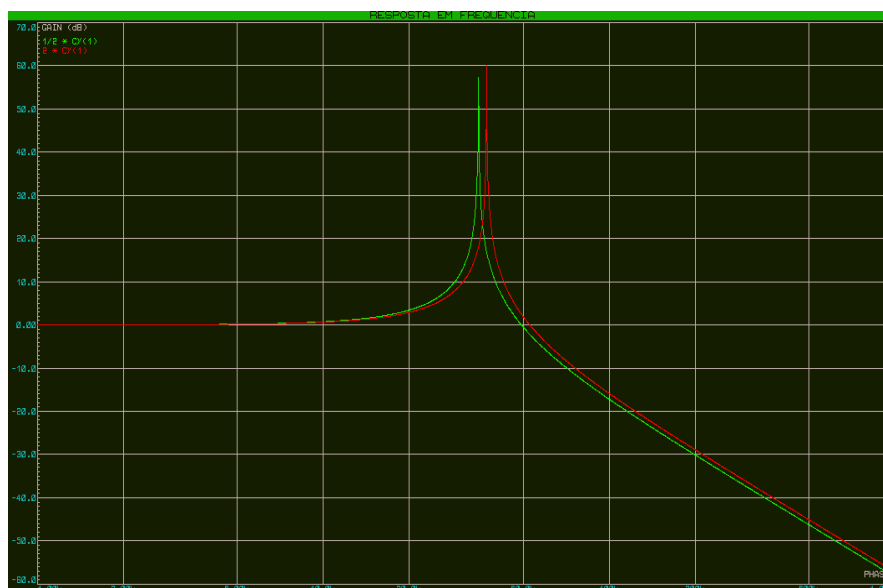
Com base nas topologias definidas, o filtro foi implementado no ambiente de simulação com os valores medidos dos componentes (“Figura 6”). Um sinal simulando a rede elétrica foi aplicado, e a resposta em frequência do filtro foi analisada, conforme a “Figura 7”. O principal objetivo foi verificar se a atenuação em 360 kHz correspondia aos 40 dB esperados, tanto para o modo comum quanto para o modo diferencial.

Figura 6 – Topologias implementadas no software.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 7 – Resposta em frequência do filtro.

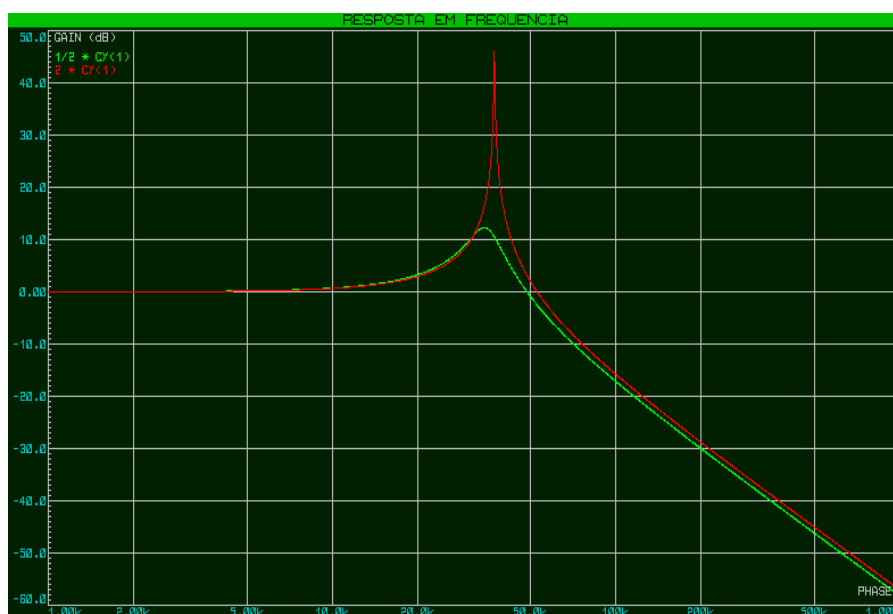


Fonte: Autoria própria (2025).

Ao traçar o gráfico de resposta em frequência (onde a linha vermelha representa o modo comum e a linha verde o modo diferencial), observou-se que a topologia de modo diferencial atenuou 40,5 dB na frequência de 360 kHz. Na mesma frequência, a topologia de modo comum apresentou uma atenuação de 39,3 dB. Assim, é possível verificar que o filtro atende ao propósito para o qual foi projetado.

A resposta obtida inicialmente considerou a idealidade do circuito como um todo. Contudo, para aproximar o comportamento da simulação do cenário real, foi realizada a medição da resistência ôhmica em série com indutor utilizando um multímetro. Esse valor de resistência foi então adicionado como um resistor em série com o indutor de modo comum e com o indutor de modo diferencial. Após essa modificação, foi possível observar na “Figura 8” um resultado que se aproxima mais do mundo real ao traçar novamente o gráfico de resposta em frequência.

Figura 8 – Resposta em frequência com o resistor.



Fonte: Autoria própria (2025).

Após a análise dos gráficos, é possível perceber uma melhora no desempenho da topologia de modo diferencial. Com a validação da eficácia do filtro confirmada pelos dados obtidos na simulação, o próximo capítulo abordará a realização do projeto, tratando da implementação prática do filtro.

5 IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DO FILTRO AC

Para realizar a implementação do filtro, foram utilizados materiais disponíveis no laboratório, embora os componentes empregados não sejam os mais adequados para essa aplicação. Os capacitores C_Y utilizados são cerâmicos e os capacitores C_X são de poliéster, ambos com capacidade para suportar tensões de 110 V e 220 V. O indutor utilizado é do tipo SC encapsulado (modelo SC-E), com invólucro cilíndrico e terminais radiais. A “Figura 9” apresenta uma fotografia do filtro desenvolvido.

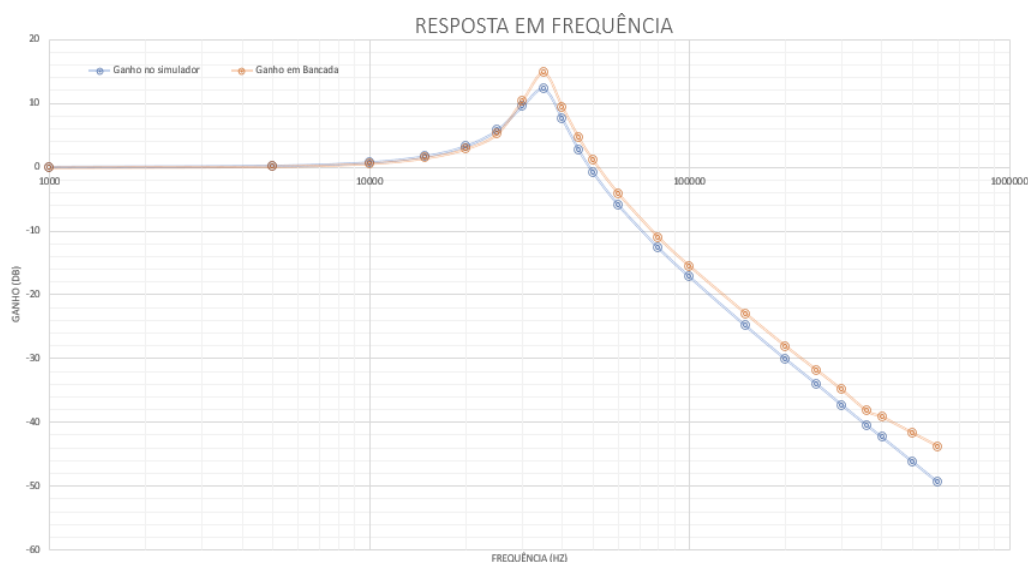
Figura 9 – Filtro implementado.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para verificar o funcionamento do filtro e compará-lo com os resultados da simulação, foi utilizado um gerador de função para aplicar um sinal senoidal, e um osciloscópio para monitorar simultaneamente os sinais de entrada e de saída do filtro. Foram realizadas 22 medições em diferentes frequências, com o objetivo de analisar o ganho por meio da razão entre a tensão de saída e a tensão de entrada. Em seguida, foi elaborado um gráfico comparativo entre os valores obtidos experimentalmente e os resultados da simulação, conforme ilustrado na “Figura 10”.

Figura 10 – Gráfico comparativo do ganho em bancada e no simulador.



Fonte: Autoria própria (2025).

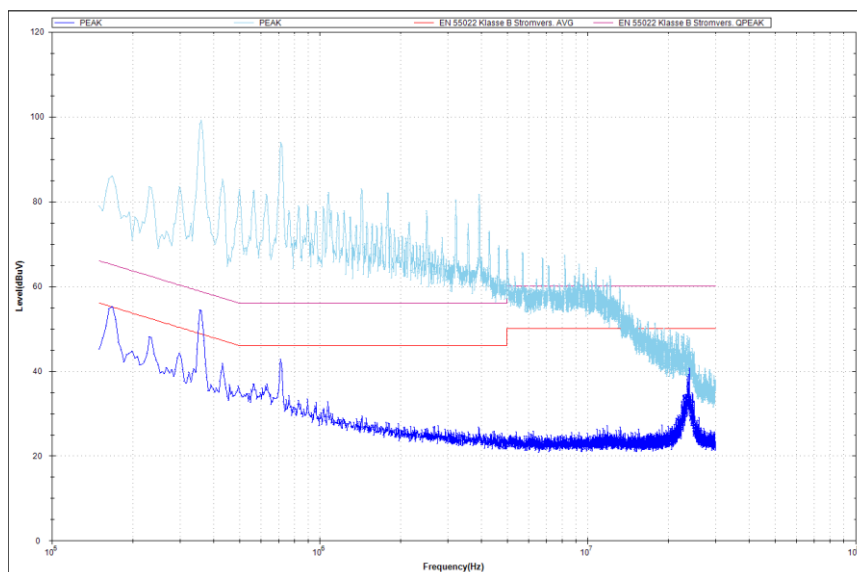
Como mencionado na etapa de simulação do circuito, na frequência de 360 kHz o filtro apresentou uma atenuação de aproximadamente -40,5 dB. No teste prático, observou-se uma atenuação de -38,26 dB nessa mesma frequência.

A partir da análise dos dados, foi possível verificar que os resultados obtidos em bancada apresentaram grande similaridade com os valores simulados.

5.1 Fonte com filtro AC

Após a verificação do comportamento do filtro em bancada, ele foi implementado na fonte de alimentação que apresentava ruído. Em seguida, foi realizado o teste de EMI conduzida, comparando os resultados da fonte com e sem o filtro instalado. Como é possível ver na “Figura 11”, a linha em azul claro representa a fonte sem o filtro, enquanto a linha em azul escuro corresponde à fonte com o filtro.

Figura 11 – Comparação da fonte com e sem o filtro.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir da imagem, é possível perceber que houve uma redução significativa do ruído gerado pela fonte, adequando o equipamento aos limites estabelecidos pelas normas de compatibilidade eletromagnética. A atenuação na frequência de interesse (360 kHz) foi de 44,58 dB, comprovando a eficácia do filtro implementado.

6 CONCLUSÃO

O filtro de linha AC projetado mostrou-se eficaz na atenuação da EMI conduzida, atendendo aos requisitos normativos em simulações e testes práticos. A aplicação dessa solução tem grande relevância para a indústria, onde a conformidade com normas de compatibilidade eletromagnética é essencial para o desempenho e a confiabilidade de equipamentos. É importante ressaltar que este trabalho foi desenvolvido pelos autores no âmbito de um projeto de pesquisa, e que paralelamente foi elaborado um TCC dedicado à separação dos ruídos em modo comum e modo diferencial. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de componentes específicos para aplicações em altas frequências, visando otimizar ainda mais o desempenho do filtro em ambientes industriais críticos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSC e a EMBRAPII pelo fomento do projeto via os editais 02_2024_PROPPI_UNIVERSAL e 06_2024_DPPE-FLN - EMBRAPII, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Chaiane Cristine de. **Análise das emissões conduzidas utilizando técnicas de separação de ruído de modo comum e modo diferencial**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106871>. Acesso em: 15 maio. 2025.

FU-YUAN, S. et al. A procedure for designing EMI filters for AC line applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 11, n. 1, p. 170–181, 1996.

LIZ, Muriel Bittencourt de. **Contribuição para a redução da interferência eletromagnética em fontes chaveadas**. 2003. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85025>. Acesso em: 18 maio. 2025.

TARATEERASETH, Vuttipon. EMI filter design: Part III: selection of filter topology for optimal performance. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 60-73, 2012.

DESIGN OF AC LINE FILTERS CONSIDERING COMMON MODE AND DIFFERENTIAL MODE NOISE

Abstract: *Electromagnetic Interference (EMI) represents one of the main challenges in modern electronic systems, especially in power applications. Predominantly generated by the high switching rates of semiconductors in static converters, EMI can propagate both through conduction and radiation, affecting the performance and compliance of sensitive devices. Static converters, widely employed in switched-mode power supplies, inverters, rectifiers, and uninterruptible power supplies, operate at high frequencies and are therefore significant sources of electromagnetic noise.*

Among the available methods to mitigate conducted EMI, the use of AC line filters stands out as an effective and widely adopted solution. These filters are designed to attenuate high-frequency noise without affecting the normal operation of alternating current, contributing to compliance with electromagnetic compatibility (EMC) standards and ensuring signal integrity and immunity of other electronic equipment.

For efficient EMI filter design, it is essential to understand the two distinct noise propagation modes: common mode and differential mode. The separation and analysis of these modes enable the development of more targeted and optimized filters, significantly increasing their effectiveness. This work's main objective is to explore the experimental development of an AC line filter, focusing on the separation of noise in common mode and differential mode. The methodological framework was developed based on the studies by Almeida (2013), which thoroughly addresses the techniques for separating and measuring these noise components in practical tests.

The proposal aims not only to understand the behavior of EMI in the analyzed systems but also to propose practical and effective solutions for its attenuation. Beyond its technical relevance, this study offers a significant contribution to the academic community and to students of electrical engineering and related fields by providing a solid foundation on the principles, techniques, and challenges involved in EMI filter design. By presenting a practical and well-founded approach, the work seeks to encourage experimentation, deepen knowledge, and strengthen the training of professionals better equipped to address electromagnetic compatibility issues in modern electronic systems.

It is important to emphasize that this work was developed by the authors within the scope of a research project, and that in parallel a bachelor's thesis was prepared focusing on the separation of common-mode and differential-mode noise.

Keywords: *Electromagnetic Compatibility, Static Converters, AC Line Filters*

