



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FILIPE PEREIRA DE SOUSA RIBEIRO

Projeto e Construção de Filtros Passivos Ajustáveis: Uma Abordagem Didática.

Caraúbas-RN

2025

FILIPPE PEREIRA DE SOUSA RIBEIRO

Projeto e Construção de Filtros Passivos Ajustáveis: Uma Abordagem Didática.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Costa de Oliveira

Caraúbas-RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R484p Ribeiro, Filipe Pereira de Sousa.
 Projeto e Construção de Filtros Passivos
 Ajustáveis: Uma Abordagem Didática / Filipe
 Pereira de Sousa Ribeiro. - 2025.
 56 f. : il.

 Orientador: Adriano Costa de Oliveira.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2025.

 1. Filtros passivos. 2. Análise comparativa.
 3. Aplicação didática. I. Oliveira, Adriano Costa
 de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

 Biblioteca Campus Caraúbas
 Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
 CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FILIPE PEREIRA DE SOUSA RIBEIRO

Projeto e Construção de Filtros Passivos Ajustáveis: Uma Abordagem Didática.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendido em: 19 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano Costa de Oliveira (UFERSA)
Presidente

Prof. Dra. Érica Mangueira Lima (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Rodrigo de Almeida Coelho (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Chegar ao fim deste trabalho de conclusão de curso representa muito mais do que encerrar uma etapa acadêmica. É a realização de um esforço que exigiu dedicação, superação e o apoio de muitas pessoas ao longo do caminho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, cuja graça e orientação foram essenciais em cada desafio enfrentado. Sua misericórdia me deu força e determinação para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha família, expresso minha gratidão infinita. Meus pais e minha irmã foram meu porto seguro, sempre presentes com palavras de incentivo e apoio incondicional. Aos amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista, meu muito obrigado pelo companheirismo.

Ao meu orientador, Dr. Adriano Costa de Oliveira, sou grato pela paciência, dedicação e conhecimento compartilhado. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste estudo e para meu crescimento acadêmico.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada. Este trabalho é resultado de um esforço coletivo e cada contribuição foi valiosa. Muito obrigado a todos que tornaram este momento possível!

“O maior inimigo da descoberta não é a
ignorância, mas a ilusão do conhecimento.”

Daniel J. Boorstin

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a construção de filtros passivos ajustáveis, com foco na aplicação prática nos laboratórios utilizados no curso de Engenharia Elétrica para fins didáticos. São apresentados estudos teóricos para a análise e construção de filtros passivos de sinais de frequência, comparando os sinais de saída dos filtros construídos com os resultados simulados por *software* para diferentes situações. Dessa forma, o objetivo central é estabelecer um estudo sobre a eficiência do comportamento desses tipos de filtros. Os resultados obtidos mostraram que eles se comportaram de acordo com esperado. O passa-baixas atenuou a tensão de saída conforme o aumento dos sinais de frequência, já o passa-altas atenuou com eficiência a tensão de saída para sinais abaixo da frequência de corte, e o filtro passa-faixa selecionou uma faixa específica para a passagem dos sinais. A análise comparativa entre os resultados práticos e simulados validou a eficiência dos filtros, apesar de pequenas discrepâncias devido à eficiência dos componentes e ajustes manuais imprecisos. O trabalho contribui com recursos didáticos, facilitando o uso de filtros passivos em contextos práticos. Os filtros estarão disponíveis para uso nos laboratórios da UFERSA - Campus Caraúbas, promovendo um aprendizado mais dinâmico e aplicado.

Palavras-Chave: Filtros passivos; Análise comparativa; Aplicação didática.

ABSTRACT

This work aims to construct adjustable passive filters, focusing on practical application in Electrical Engineering laboratories for didactic purposes. Theoretical studies are presented for the analysis and construction of passive frequency filters, comparing the output signals of the constructed filters with the results simulated by software in different scenarios. Thus, the main objective is to establish a study on the efficiency of these types of filters. The results obtained showed that they behaved as expected. The low-pass filter attenuated the output voltage as the frequency signals increased, while the high-pass filter efficiently attenuated the output voltage for signals below the cutoff frequency, and the band-pass filter selected a specific range for signal transmission. The comparative analysis between practical and simulated results validated the efficiency of the filters, despite minor discrepancies due to component efficiency and imprecise manual adjustments. This work contributes to didactic resources, facilitating the use of passive filters in practical contexts. The filters will be available for use in the laboratories of UFRSA – Campus Caraúbas, promoting a more dynamic and applied learning experience.

Keywords: Passive filters; Comparative analysis; Didactic application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Filtro passa-baixas com circuito RC.	21
Figura 2 - Curva ideal e curva real de um filtro passa-baixas.	21
Figura 3 - Filtro passa-baixas com circuito RC.	22
Figura 4 - Curva ideal e curva real de um filtro passa-baixas.	23
Figura 5 - Resposta de um filtro passa-faixa ideal.	24
Figura 6 - Comportamento rejeita-faixa ideal.	25
Figura 7 - Gerador de Sinais.	29
Figura 8 – Osciloscópio.	30
Figura 9 - Potenciômetros.	30
Figura 10 - Capacitores.	31
Figura 11- PCB.	31
Figura 12 – Cápsula.	32
Figura 13 – Protoboard.	32
Figura 14 - PCB dos filtros.	35
Figura 15 - Osciloscópio calibrado.	35
Figura 16- Teste em bancada do filtro passa-baixas com resistência fixa.	38
Figura 17 – Teste em software do filtro passa-baixas com resistência fixa.	39
Figura 18- Teste em bancada do filtro passa-baixas com frequência fixa.	41
Figura 19 - Teste em software do filtro passa-baixas com frequência fixa.	42
Figura 20 - Teste em bancada do filtro passa-altas com resistência fixa.	44
Figura 21- Teste em software do filtro passa-altas com frequência fixa.	45
Figura 22 -Teste em bancada do filtro passa-altas com frequência fixa.	47
Figura 23- Teste em software do filtro passa-altas com frequência fixa.	48
Figura 24 - Filtro Passa-faixa.	50
Figura 25- Filtro Passa-faixa software.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Filtro passa-baixas	39
Tabela 2 - Filtro passa-baixas com frequência fixa e variando a resistência.....	42
Tabela 3 – Filtro passa-altas.....	45
Tabela 4 - Filtro passa-altas com frequência fixa e variando a resistência.....	48
Tabela 5- Passa-faixa	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Filtro passa-baixas.....	40
Gráfico 2 - Filtro passa-baixas com frequência fixa e variando a resistência	43
Gráfico 3 - Filtro passa-altas.....	46
Gráfico 4 - Filtro passa-altas com frequência fixa e variando a resistência	49
Gráfico 5- Passa-faixa.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Modulação em Amplitude
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
dB	Decibel
ETI	Equipamento de Tecnologia da Informação
FM	Modulação em Frequência
PCB	Placa de Circuito Impresso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PROBLEMÁTICA.....	16
3	JUSTIFICATIVA.....	17
4	OBJETIVO.....	18
4.1	OBJETIVO GERAL.....	18
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5	REFERENCIAL TEÓRICO	19
5.1	FILTROS DE FREQUÊNCIA.....	19
5.2	FILTROS PASSA-BAIXAS	20
5.3	FILTRO PASSA-ALTAS	22
5.4	FILTRO PASSA-FAIXA	23
5.5	FILTRO REJEITA-FAIXA.....	24
5.6	PRINCIPAIS COMPONENTES	25
5.6.1	Resistores	25
5.6.2	Capacitores	26
6	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
6.1	MATERIAIS UTILIZADOS	28
6.1.1	Gerador de Sinais	28
6.1.2	Osciloscópio	29
6.1.3	Potenciômetro	30
6.1.4	Capacitores	30
6.1.5	Placa de circuito impresso	31
6.1.6	Cápsula	31
6.1.7	<i>Protoboard</i>	32
6.1.8	Ferro de solda	33
6.1.9	Plug banana	33

6.1.10 Pontas de prova	33
6.1.11 Simulação computacional	33
6.2 MÉTODOS	34
7 RESULTADO E DISCUSSÃO	38
7.1 COMPORTAMENTO DOS FILTROS	38
7.1.1 Filtro Passa-baixas	38
7.1.2 Passa-baixas com frequência fixa e variando a resistência	41
7.1.3 Filtro passa-altas	44
7.1.4 Passa-altas com frequência fixa e variando a resistência	47
7.1.5 Passa-faixa	50
8 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Os filtros eletrônicos desempenham um papel fundamental na tecnologia moderna, permitindo a seleção precisa de sinais dentro de faixas específicas de frequência. Esses dispositivos são indispensáveis para minimizar interferências, melhorar a qualidade do sinal, proteger componentes eletrônicos sensíveis e otimizar a eficiência espectral. Sua ampla utilização abrange desde sistemas de comunicação até equipamentos de áudio, vídeo e instrumentação científica, evidenciando sua relevância em diversas áreas tecnológicas (Alexander e Sadiku, 2013).

Dentre as diferentes categorias de filtros eletrônicos, destacam-se os filtros passivos e os filtros ativos. Enquanto os filtros passivos utilizam exclusivamente elementos como resistores, indutores e capacitores, os filtros ativos integram componentes como transistores e amplificadores operacionais (Alexander e Sadiku, 2013).

Além dessa divisão, os filtros também podem ser classificados de acordo com os componentes de frequência que não são atenuados. Dessa forma, existem filtros passa-baixas, passa-altas, passa-faixa e rejeita-faixa, cada qual com aplicações específicas conforme as necessidades do sistema.

O objetivo principal deste estudo é a construção de filtros passivos com frequências de corte ajustáveis, integrando aspectos teóricos e práticos de seu projeto. Com uma abordagem voltada para fins didáticos, pretende-se oferecer uma análise aprofundada dos tipos de filtros, suas características e aplicações, de modo a proporcionar uma base sólida para o entendimento e a utilização desses dispositivos em contextos reais. Além disso, os filtros desenvolvidos ficarão disponíveis para uso nos laboratórios do curso de Engenharia Elétrica da UFERSA - Campus Caraúbas, permitindo que estudantes e profissionais da área tenham acesso a ferramentas práticas para aprimorar seu aprendizado e aplicação em projetos reais. Espera-se que este trabalho contribua significativamente para o desenvolvimento do conhecimento técnico e prático, promovendo um aprendizado aplicável e de qualidade.

2 PROBLEMÁTICA

Apesar da importância dos filtros em diversas aplicações da engenharia eletrônica e em telecomunicações, muitos estudantes enfrentam desafios para entender os princípios de funcionamento e os métodos de construção desses dispositivos. A falta de recursos didáticos acessíveis e de experimentação prática pode dificultar a compreensão completa dos conceitos teóricos e práticos envolvidos na construção desses dispositivos.

Além disso, a disponibilidade limitada de informações sobre as diferentes topologias de circuito, métodos de projeto e seleção de componentes pode tornar o processo de construção de filtros ainda mais desafiador para estudantes. Isso pode resultar em uma lacuna de conhecimento e habilidades práticas em uma área tão fundamental da engenharia.

Portanto, surge a necessidade de desenvolver recursos educacionais e experimentos práticos que auxiliem os estudantes a compreender os princípios de funcionamento dos filtros de frequência e a adquirir habilidades práticas na construção e análise desses dispositivos. Um problema central a ser abordado é como projetar e construir um filtro eficaz, considerando as especificações de filtragem desejadas e os recursos de componentes disponíveis.

3 JUSTIFICATIVA

A construção de filtros eletrônicos de frequência é de grande relevância na área da tecnologia, pois esses dispositivos desempenham um papel essencial em diversas aplicações, desde sistemas de comunicação até o processamento de sinais. A justificativa para este trabalho está na importância de compreender os princípios de funcionamento e os métodos de construção desses filtros, fundamentais para a eficiência e o desempenho de muitos sistemas tecnológicos.

Adicionalmente, existe uma lacuna significativa na disponibilidade de recursos educacionais acessíveis que abordem, de maneira abrangente, tanto os aspectos teóricos quanto os práticos da construção de filtros. Este trabalho visa preencher essa lacuna.

Ao adotar uma abordagem prática e detalhada, este estudo tem o potencial de contribuir significativamente para o desenvolvimento de habilidades técnicas em eletrônica, além de oferecer uma base sólida para estudos e pesquisas futuras na área de filtros e processamento de sinais.

4 OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GERAL

Construir e analisar filtros passivos com frequências de corte ajustáveis, abordando aspectos teóricos, práticos e de projeto, com ênfase em fins didáticos, para fornecer uma base sólida para o entendimento e a aplicação dos filtros em contextos reais.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os fundamentos teóricos da filtragem eletrônica de frequências, compreendendo os diferentes tipos de filtros e suas características.

- Projetar os filtros, considerando as especificações de filtragem desejadas;
- Selecionar os componentes adequados para a construção dos filtros, levando em conta parâmetros de desempenho e disponibilidade;
- Construir protótipos de filtros passa-baixas, passa-altas e passa-faixa, seguindo os parâmetros de projeto e utilizando técnicas adequadas de montagem;
- Avaliar o desempenho dos filtros, usando equipamentos de medição para avaliar características como frequência de corte e banda de passagem, comparando os resultados práticos e teóricos.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 FILTROS DE FREQUÊNCIA

Os filtros desempenham um papel crucial na eletrônica, sendo essenciais em áreas como processamento de sinais, vídeo, áudio e dados. Além disso, são empregados em sistemas de alimentação, telecomunicações, controle e diversas outras aplicações (Malvino; Bates, 2016).

Os filtros podem atuar como dispositivos de proteção e são posicionados entre a fonte de energia e a carga, idealmente o mais próximo possível do ponto de consumo. Essa localização ajuda a prevenir que interferências causem correntes de frequência indesejada no equipamento a ser protegido. Dessa forma, ao desejar bloquear sinais de frequência indesejáveis que possam ser induzidos nos circuitos de energia ou de comunicação que alimentam um equipamento de tecnologia da informação (ETI), pode-se inserir um filtro nos terminais de entrada desse equipamento. Isso protege o ETI contra variações no processo que poderiam ocorrer se tais sinais interferissem nos circuitos eletrônicos (Silva Filho, 2010).

Filtros passivos são amplamente utilizados devido à sua simplicidade e custo acessível em relação a outras soluções para mitigar harmônicos. Seu princípio básico de funcionamento utiliza capacitores, indutores e resistores para desviar ou bloquear harmônicos de corrente da linha. A partir da sintonia desses componentes, se estabelecesse uma ressonância na frequência desejada, controlando o fluxo entre a carga e a rede. Em paralelo absorve harmônicos, criando um caminho de baixa impedância para os harmônicos gerados pela carga. Enquanto isso, em série com a carga combina indutância e capacitância em paralelo, ajustados para apresentar alta impedância somente na frequência desejada (Almeida, 2014).

Filtros ativos são baseados em componentes de eletrônica de potência, o que eleva o custo de construção em relação aos filtros passivos. Projetados para mitigar diversos harmônicos ao mesmo tempo e lidar com problemas como cintilações na qualidade de energia, são comumente usados em grandes cargas alimentadas por pontos frágeis do sistema elétrico. Esses filtros podem ser instalados em configurações série ou paralelo. Na configuração paralela, o filtro ativo é composto por um inversor que atua como fonte de corrente, absorvendo os harmônicos gerados pela carga. O funcionamento básico de um filtro ativo é fornecer a parte não senoidal da onda de corrente exigida pela carga. (Almeida, 2014).

Filtros passivos geralmente são utilizados em frequências acima de 1 MHz, não oferecem amplificação de potência e têm ajuste de sintonia mais complexo. Por outro lado, filtros ativos são eficazes em frequências abaixo de 1 MHz, proporcionam amplificação de

potência e são mais simples de ajustar. Esses filtros têm a capacidade de separar sinais desejados de indesejados, bloquear interferências, aprimorar sinais de voz e vídeo, além de modificar características dos sinais (Malvino; Bates, 2016).

Os filtros ativos possuem vantagens em relação aos filtros passivos, como a eliminação de indutores, que em baixas frequências são volumosos e caros, além da possibilidade de amplificação do sinal de entrada, algo que os filtros passivos não oferecem. Também permitem o projeto de filtros complexos com mais facilidade. No entanto, diferentemente dos filtros passivos, que funcionam sem alimentação externa, os filtros ativos exigem uma fonte de energia e têm sua resposta em frequência limitada pela capacidade dos amplificadores operacionais. Além disso, não são adequados para aplicações de média e alta potência, onde os filtros passivos são mais eficientes (Pertence Jr, 2015).

5.2 FILTROS PASSA-BAIXAS

A reatância capacitiva de um dado capacitor de capacitância C é definida conforme:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1)$$

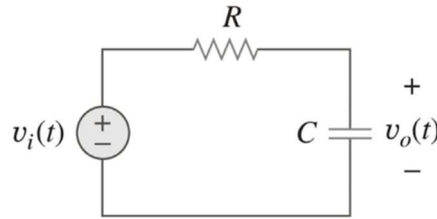
assim:

- X_C é a reatância capacitiva (Ω),
- f é a frequência do sinal (Hz),
- C é a capacitância do capacitor (F).

Para ondas senoidais de baixa frequência, a reatância capacitiva (X_C) assume valores elevados em relação à resistência, resultando em uma tensão de saída praticamente igual à tensão de entrada. Por outro lado, em frequências altas, (X_C) diminui significativamente em comparação com a resistência, reduzindo a tensão de saída a quase zero. Dessa forma, o filtro permite a passagem apenas de frequências baixas, sendo, por isso, denominado filtro passa-baixas (Seixas; Pinto; Matsubara, 2018).

Na Figura 1 apresenta o circuito típico de um filtro passa-baixas RC.

Figura 1 - Filtro passa-baixas com circuito RC.

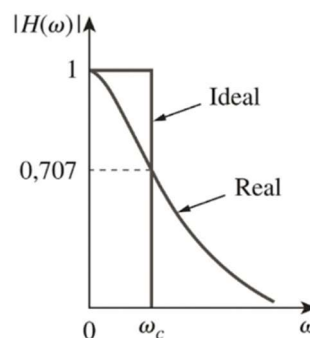


Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 569).

De forma qualitativa, a impedância capacitiva (Z_C) é igual a $1/\omega C$, sendo que ω é a frequência angular do sinal, dada por $\omega = 2\pi f$. O módulo da tensão de saída $|V_O|$, é igual a $|I_T| \times Z_C$, isso implica que, à medida que a frequência aumenta, o valor da tensão de saída diminui, caracterizando um filtro passa-baixas. Nesse tipo de filtro, quanto maior a frequência do sinal de entrada, menor será a tensão de saída. A partir dessa relação, é possível definir a frequência de corte, que é o ponto de meia potência; neste ponto, apenas metade da potência fornecida na entrada está disponível na saída. Em termos de tensão, isso corresponde ao nível em que a tensão de saída do filtro é aproximadamente 0,707 do valor máximo da tensão de entrada, que corresponde a uma atenuação de -3 dB (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

Na Figura 2 é apresentado um gráfico comparativo entre a curva ideal e a curva real de um filtro passa-baixas.

Figura 2 - Curva ideal e curva real de um filtro passa-baixas.



Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 569).

A frequência de corte desse filtro, também conhecida como "frequência de transição", é obtida de acordo com a equação (2):

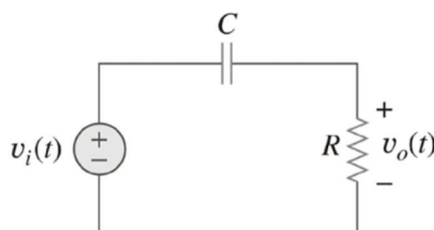
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \cdot \quad (2)$$

5.3 FILTRO PASSA-ALTAS

Seguindo o mesmo raciocínio do passa-baixas, mas invertendo as posições do capacitor e do resistor, pode-se projetar um filtro passivo passa-altas.

Na Figura 3 apresenta um filtro passa-baixas baseado em um circuito RC, cuja função é atenuar sinais de alta frequência enquanto permite a passagem de componentes de baixa frequência.

Figura 3 - Filtro passa-baixas com circuito RC.

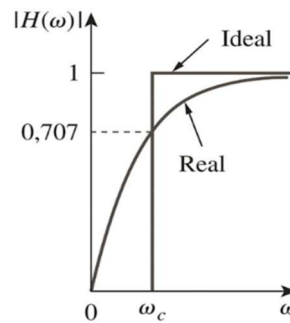


Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 570).

O filtro passa-altas bloqueia sinais de frequências desde zero até sua frequência de corte, permitindo a passagem de frequências superiores a esse ponto. Nesse contexto, as frequências abaixo da frequência de corte constituem a banda de rejeição, enquanto as frequências acima formam a banda de passagem. Em um filtro passa-altas ideal, há uma atenuação infinita na banda de rejeição, nenhuma atenuação na banda de passagem e uma transição abrupta entre essas faixas, caracterizando sua resposta de frequência ideal (Malvino; Bates, 2016).

A impedância do capacitor é dada por $1/\omega C$, e o módulo da tensão de saída é $|I_T| * R$. À medida que a frequência aumenta, a corrente total também cresce, o que resulta em uma maior tensão de saída, caracterizando o comportamento do filtro passa-altas. Assim, quanto maior a frequência do sinal de entrada, maior será a amplitude da saída (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

Figura 4 - Curva ideal e curva real de um filtro passa-baixas.



Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 570).

5.4 FILTRO PASSA-FAIXA

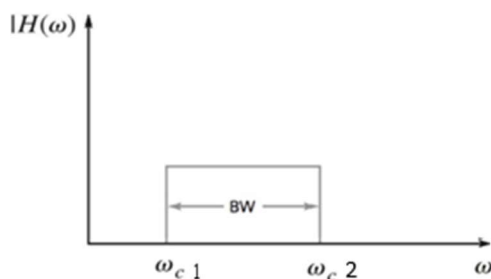
Um filtro passa-faixa é utilizado em sistemas de comunicação, como receptores de AM e FM, e em equipamentos telefônicos, para separar frequências específicas. Sua resposta ideal bloqueia frequências abaixo da frequência de corte inferior, permite a passagem de frequências entre as frequências de corte inferior e superior, e bloqueia frequências acima da frequência de corte superior. A banda de passagem do filtro compreende às frequências entre as frequências de corte inferior e superior, enquanto as frequências fora dessa faixa estão na banda de corte. Um filtro passa-faixa ideal apresenta atenuação nula na banda de passagem, atenuação infinita na banda de corte e duas transições verticais definindo essas bandas (Malvino e Bates, 2016).

Segundo Malvino e Bates (2016, p. 791) a largura de banda de um filtro passa-faixa é a diferença entre as frequências de 3 dB de corte superior (ω_{c2}) e inferior (ω_{c1}):

$$BW = \omega_{c2} - \omega_{c1}. \quad (3)$$

Na Figura 5 é mostrada a resposta ideal de um filtro passa-faixa, que atenua frequências fora de um intervalo específico.

Figura 5 - Resposta de um filtro passa-faixa ideal.



Fonte: Elaboração própria (2025).

5.5 FILTRO REJEITA-FAIXA

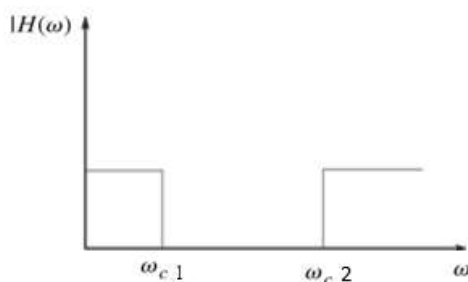
O filtro rejeita-faixa permite que todos sinais de frequências, desde o zero até a frequência de corte inferior, passem livremente. Entre a frequência de corte inferior e a frequência de corte superior, as frequências são bloqueadas ou atenuadas. Acima da frequência de corte superior, todas as frequências são novamente permitidas a passar (Malvino e Bates, 2016).

Devido às suas propriedades, esses circuitos desempenham a função de filtros elétricos, sendo amplamente empregados tanto em instalações elétricas quanto em equipamentos eletrônicos. Eles são eficazes na rejeição de ruídos e na proteção contra surtos de tensão, como os causados por descargas atmosféricas durante tempestades (Júnior, Martin e Margot, 2021).

Um uso comum desses filtros pode ser observado em sistemas de som com múltiplas caixas acústicas. Nessas configurações, o *woofer*, responsável pelos sons graves, e o *tweeter*, que reproduz os sons agudos, recebem sinais filtrados adequadamente: o *woofer* através de um filtro passa-baixas e o *tweeter* através de um filtro passa-altas. Esse processo garante que cada caixa acústica opere dentro de sua faixa ideal de frequência, resultando em uma qualidade de som aprimorada. Além disso, circuitos LC são cruciais em muitos dispositivos eletrônicos, especialmente em equipamentos de rádio, onde são aplicados em circuitos como osciladores, filtros, sintonizadores e misturadores de frequência (Wendling Jr; Martin; Margoti, 2021).

Na Figura 6 é ilustrada a resposta ideal de um filtro rejeita-faixa, que atenua sinais dentro de um intervalo específico enquanto permite a passagem das demais frequências.

Figura 6 - Comportamento rejeita-faixa ideal.



Fonte: Elaboração própria (2025).

5.6 PRINCIPAIS COMPONENTES

Neste tópico, serão apresentados e discutidos os principais componentes utilizados em filtros passivos, suas características fundamentais e a forma como interagem para definir o comportamento do filtro em relação às frequências de interesse.

5.6.1 Resistores

Os resistores são componentes eletrônicos que têm a função de limitar o fluxo de corrente elétrica em um condutor, desempenhando um papel crucial no funcionamento dos circuitos em que são utilizados. Além disso, eles convertem energia elétrica em energia térmica por meio do efeito Joule, um fenômeno físico que ocorre devido à restrição no fluxo de corrente. (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Os resistores são dispositivos cuja principal função é oferecer resistência à passagem da corrente elétrica através de seu material, caracterizada como resistência elétrica, medida em ohms. Eles podem ser divididos em duas categorias: resistores fixos e variáveis. Os resistores fixos possuem um valor de resistência que não pode ser alterado, enquanto os resistores variáveis permitem a modificação da resistência dentro de uma faixa predefinida. Para os resistores fixos, as especificações mais comuns incluem três parâmetros: o valor nominal da

resistência, a tolerância (que define a variação máxima percentual permitida em relação ao valor nominal) e a máxima potência elétrica que o resistor pode dissipar (Capuano; Marino, 2009).

Os reostatos são resistores com resistência variável, que podem ser classificados em duas categorias: de variação contínua e de variação discreta. Nos reostatos de variação contínua, é possível ajustar a resistência de forma gradual entre dois limites, desde zero até um valor máximo estabelecido. Essa modificação da resistência afeta diretamente o fluxo de corrente elétrica. Um exemplo prático de reostatos são as lâmpadas com brilho ajustável, cuja intensidade luminosa pode ser aumentada ou diminuída de acordo com a resistência aplicada. Outros exemplos comuns incluem os controles de volume em aparelhos de som e os reguladores de velocidade em ventiladores. Em aplicações industriais, os reostatos também são utilizados para controlar a corrente de campo em motores de corrente contínua (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

Os reostatos variáveis podem ser configurados como potenciômetros, que permitem ajustes na tensão de saída e são usados em dispositivos que não requerem altas potências. Já os reostatos de variação discreta são compostos por um conjunto de resistores com valores fixos, que podem ser conectados em paralelo para diminuir a resistência ou em série para aumentá-la. Esse tipo de reostato é frequentemente utilizado em motores de corrente contínua, em que a corrente de partida é elevada. Nesses casos, o reostato ajuda a minimizar o pico de corrente durante a partida, permitindo que o motor seja acionado de forma gradual (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

5.6.2 Capacitores

O capacitor é um componente elétrico passivo projetado para armazenar energia ao criar uma diferença de potencial entre dois condutores. Geralmente, é composto por duas placas condutoras próximas, separadas por um material dielétrico. A capacitância (C) é influenciada pela área das placas, pela distância entre elas e pela constante dielétrica do isolante utilizado, que deve possuir uma permissividade adequada para minimizar perdas de energia em corrente alternada (CA) e reduzir o vazamento em corrente contínua (CC). Além disso, a resposta de um capacitor varia conforme o tipo de corrente aplicada; ele se comporta de maneira diferente com fontes de CA e CC, refletindo suas propriedades e aplicações específicas em circuitos elétricos e eletrônicos (Tahalyani, 2019).

Esses dispositivos são amplamente utilizados em circuitos eletrônicos, na transmissão de sinais e na correção do fator de potência em sistemas de energia elétrica. Embora não

dissipem energia, os capacitores são considerados elementos passivos. O conhecimento das propriedades físicas do capacitor permite analisar como as grandezas elétricas interagem nesse componente. Eles podem ser conectados em série ou em paralelo para obter diferentes valores de tensão ou corrente, tornando-os valiosos em diversas aplicações (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

Para capacitores em série temos que a capacitância equivalente C_{eq} é:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} . \quad (4)$$

Um capacitor absorve energia do circuito quando suas placas são carregadas e a devolve ao ser descarregado. O efeito da capacitância se manifesta na resistência à entrada de elétrons na placa negativa ou à saída de elétrons na placa positiva, ocorrendo quando cada placa já possui uma quantidade suficiente de carga. Essa resistência se opõe às variações de tensão, retardando suas alterações sem impedi-las. Em circuitos de corrente contínua, a capacitância influencia apenas os instantes de conexão ou desconexão, quando ocorrem variações transitórias na tensão, enquanto em circuitos de corrente alternada, os efeitos são sentidos continuamente. Além disso, em um circuito puramente capacitivo, a onda de corrente se adianta 90° em relação ao sinal de tensão, ou a tensão está 90° atrasada em relação à corrente (Silva Filho, 2010).

Outra grandeza relevante é a reatância capacitiva, que pode ser definida como a oposição ao fluxo de corrente elétrica em CA causada pela capacitância do circuito. (Wendling Jn; Martin; Margoti, 2021).

6 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de eletricidade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Caraúbas, com o objetivo de projetar e construir filtros encapsulados para o laboratório, visando fornecer material teórico e físico. Inicialmente, foi feita a seleção dos componentes adequados, como resistores e capacitores, com base nas especificações dos filtros desejados. Em seguida, foi elaborado um esquema elétrico detalhando a disposição e conexão dos componentes para guiar a montagem do circuito.

A montagem foi realizada de acordo com o esquema elétrico elaborado, assegurando a correta conexão dos componentes. Após a montagem, um teste inicial foi realizado para verificar o funcionamento básico. Para avaliar suas características, como frequência de corte, banda de passagem e banda de rejeição, foram utilizados equipamentos de medição como gerador de sinais e osciloscópio. Além disso, foram desenvolvidos testes em programas de simulação para verificar a semelhança entre os resultados teóricos e os experimentais.

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS

6.1.1 Gerador de Sinais

Foi utilizado um gerador para produzir sinais elétricos com variadas formas de onda, frequências, amplitudes e fases. Esses sinais são fundamentais para testar e analisar o comportamento de circuitos eletrônicos, permitindo a simulação de diferentes condições operacionais. No experimento, foi utilizado um gerador de sinais da marca Rigol, modelo DG811, que é um gerador de função arbitrária com um canal. Este equipamento é equipado com uma tela sensível ao toque de 4,3 polegadas, que facilita a configuração e visualização dos parâmetros do sinal. Com uma faixa de operação de até 10 MHz, o gerador permite a geração de sinais precisos e versáteis, atendendo às necessidades do projeto e possibilitando uma análise detalhada do desempenho dos filtros encapsulados em diferentes condições de teste. Na Figura 7 é ilustrado o gerador de sinais utilizado, destacando suas principais características e funcionalidades.

Figura 7 - Gerador de Sinais.



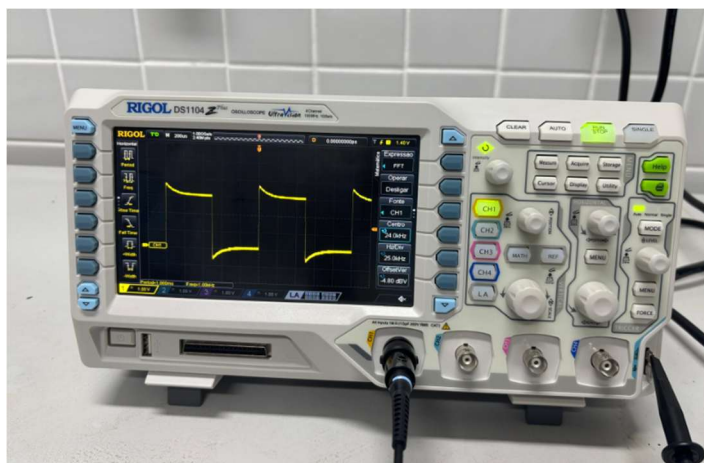
Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.2 Osciloscópio

Um osciloscópio é um instrumento de medição utilizado para observar e analisar sinais elétricos em função do tempo. Ele permite visualizar a forma de onda dos sinais aplicados ao circuito, indicando parâmetros como amplitude, frequência, período e distorção. No estudo mencionado, o osciloscópio foi fundamental para verificar o comportamento dos filtros encapsulados, permitindo analisar como os sinais gerados pelo gerador de sinais foram modificados pelo circuito, especialmente em termos de frequência de corte, banda de passagem e rejeição.

Com a ajuda do osciloscópio, foi possível verificar se o filtro funcionava como esperado, garantindo que os sinais fossem processados de acordo com as especificações teóricas. O modelo utilizado foi o Rigol DS1104Z-PLUS, que tem uma largura de banda de 100 MHz e quatro canais analógicos. Essa configuração permite visualizar vários sinais ao mesmo tempo, facilitando a análise das formas de onda. A capacidade de resolução do equipamento proporciona uma representação precisa dos sinais, ajudando a identificar variações importantes para avaliar o desempenho dos filtros encapsulados durante os testes.

Figura 8 – Osciloscópio.



Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.3 Potenciômetro

No experimento foram utilizados dois tipos distintos de potenciômetros, conforme ilustrado na Figura 3. O primeiro possui uma resistência nominal de $1\text{ k}\Omega$, enquanto o segundo apresenta $2\text{ k}\Omega$. A seleção desses componentes possibilitou ajustes nas variáveis do circuito, permitindo a ampliação ou redução da zona de atenuação dos sinais de frequência.

Figura 9 - Potenciômetros.

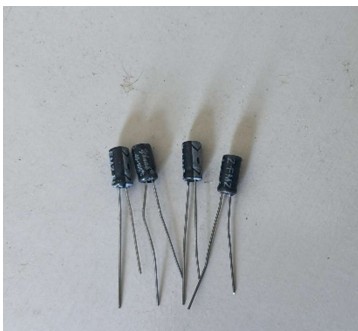


Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.4 Capacitores

Foram utilizados oito capacitores eletrolíticos de $1\text{ }\mu\text{F}$, idênticos aos apresentados na Figura 10. Esses capacitores foram selecionados principalmente por suas características de filtragem de energia, essenciais para atenuar ruídos e estabilizar as flutuações de tensão no circuito, garantindo um funcionamento mais eficiente dos filtros durante os testes.

Figura 10 - Capacitores.

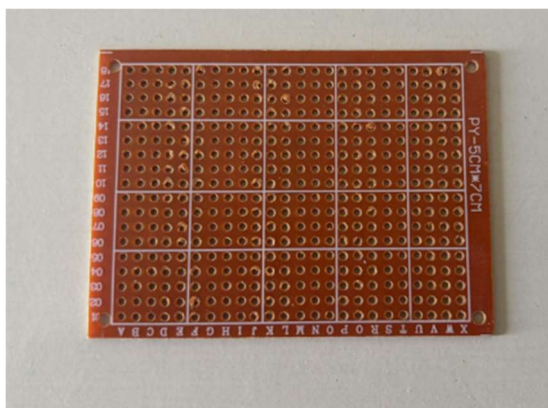


Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.5 Placa de circuito impresso

Foi utilizada uma placa de circuito impresso (PCB) com dimensões de 5x7 cm para a montagem do circuito. Essa placa foi escolhida por sua adequação ao espaço disponível da capsula plástica e à disposição dos componentes, permitindo uma organização eficiente e conexões seguras durante o processo de montagem. Na Figura 11, está apresentada a imagem da placa.

Figura 11- PCB.



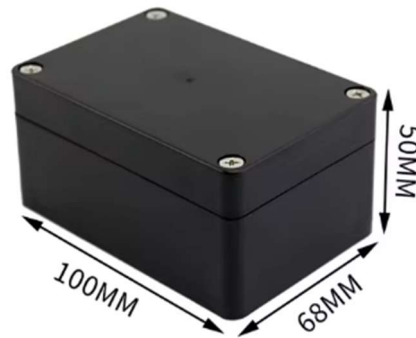
Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.6 Cápsula

Foi utilizada uma caixa de junção impermeável para o projeto, servindo como encapsulamento para os filtros, com dimensões de 100x68x50 mm, conforme apresentada na Figura 12. Essa caixa foi escolhida para proteger os componentes eletrônicos contra umidade e

para garantir a segurança contra choques elétricos. A construção robusta da caixa e o seu fechamento seguro minimizam o risco de contato acidental com partes energizadas, proporcionando mais segurança para o manuseio e operação.

Figura 12 – Cápsula.

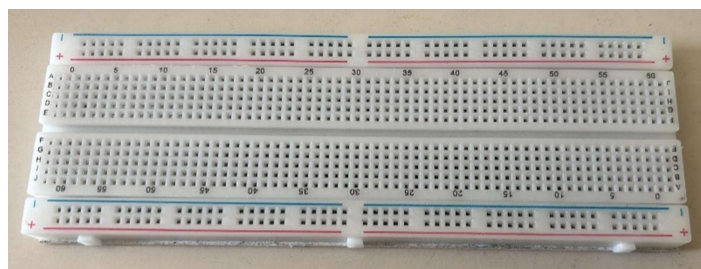


Fonte: AliExpress (2024).

6.1.7 *Protoboard*

Uma *protoboard*, é uma placa de circuito que possui uma matriz de furos condutores. Ela é utilizada para a montagem temporária e teste de circuitos eletrônicos sem a necessidade de soldagem. Cada fileira de furos está conectada eletricamente entre si, tanto na vertical quanto na horizontal, seguindo um padrão pré-determinado, o que facilita a criação e modificação rápida dos circuitos. No projeto, a protoboard foi utilizada para a montagem inicial, permitindo ajustes e testes antes da montagem definitiva, Na Figura 13 é apresentada a *Protoboard*.

Figura 13 – *Protoboard*.



Fonte: Elaboração própria (2025).

6.1.8 Ferro de solda

Foi utilizado um ferro de solda para realizar as ligações de solda entre os componentes do circuito. Essa ferramenta é fundamental para garantir conexões seguras e permanentes, assegurando a integridade elétrica do circuito durante o funcionamento. A soldagem adequada não só proporciona um contato firme entre os componentes, mas também contribui para a eficiência do circuito, minimizando a resistência elétrica e evitando falhas. Além disso, a técnica de soldagem foi aplicada com cuidado, visando evitar o superaquecimento de componentes sensíveis e garantindo que cada junção fosse feita com precisão e qualidade.

6.1.9 Plug banana

Os plugs banana são conectores amplamente utilizados em eletrônica para facilitar a conexão e desconexão de circuitos. Eles possuem uma forma cilíndrica, permitindo que sejam inseridos em orifícios de terminais, garantindo uma conexão segura e estável. No projeto, foram utilizados cinco plugs para as entradas e saídas de carga, com dois plugs vermelhos designados para as entradas e dois pretos para as saídas e um preto para o terra. Essa configuração não apenas facilitou as conexões, mas também assegurou uma identificação clara das polaridades, contribuindo para a organização do circuito durante os testes.

6.1.10 Pontas de prova

As pontas de prova de alta precisão foram utilizadas na análise de sinais em circuitos eletrônicos, com uma largura de banda de 100 MHz, o que permite a captura de sinais rápidos e complexos com alta fidelidade. No experimento, foram utilizadas duas sondas: uma para verificar o sinal de entrada e outra para o sinal de saída. Essa configuração foi crucial para comparar os sinais em diferentes pontos do circuito.

6.1.11 Simulação computacional

Foram utilizados programas computacionais para realizar a comparação entre os resultados obtidos nos testes reais e as simulações teóricas. Essas ferramentas permitiram uma análise detalhada das frequências de entrada e saída, facilitando a identificação de discrepâncias e a validação do desempenho do circuito. A utilização desses programas complementou os

dados coletados durante os experimentos, proporcionando uma visão mais abrangente e precisa dos resultados.

A construção e análise dos filtros passivos de frequência foram realizadas em seis etapas distintas, conforme descrito a seguir.

6.2 MÉTODOS

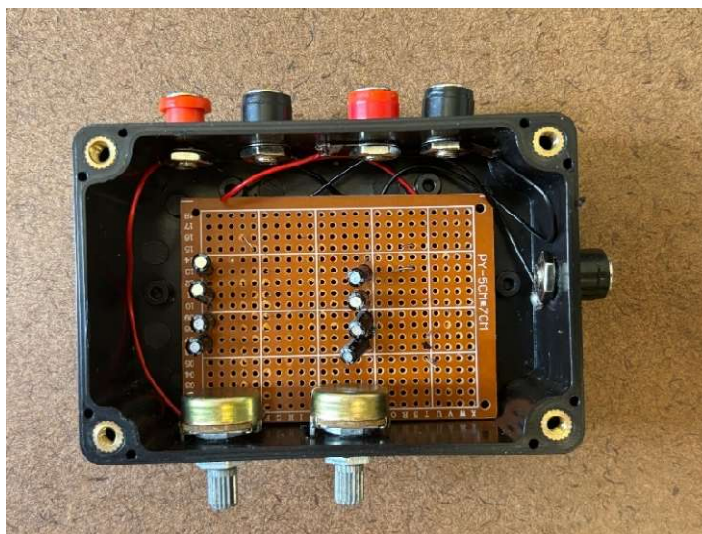
- Etapa 1 – Construção dos Filtros

Inicialmente, os filtros foram montados em uma placa protoboard para a esquematização do circuito, utilizando capacitores e potenciômetros. Após a validação do projeto, o circuito foi transferido para uma placa de circuito impresso (PCB), onde as conexões entre os componentes foram estabelecidas por meio de fios e solda de estanho, garantindo a integridade elétrica e a robustez do sistema.

Para o filtro passa-baixas, foi utilizado um potenciômetro de $1\text{ k}\Omega$ em conjunto com quatro capacitores de $1\text{ }\mu\text{F}$ dispostos em série, resultando em uma capacitância equivalente de $0,25\text{ }\mu\text{F}$. Já no filtro passa-altas, empregou-se um potenciômetro de $2\text{ k}\Omega$, também associado a quatro capacitores de $1\text{ }\mu\text{F}$ em série, gerando a mesma capacitância equivalente de $0,25\text{ }\mu\text{F}$. A combinação desses dois filtros resultou em um filtro passa-faixa, cuja frequência de corte pode ser ajustada de forma precisa por meio da variação dos potenciômetros.

Após a montagem, o circuito foi encapsulado para proteção mecânica e elétrica, deixando as entradas e saídas acessíveis por meio de conectores do tipo banana, facilitando a conexão com outros dispositivos e a realização de testes. Na Figura 14 mostra como ficou a montagem do filtro na PCB, destacando a disposição dos componentes e suas interconexões.

Figura 14 - PCB dos filtros.

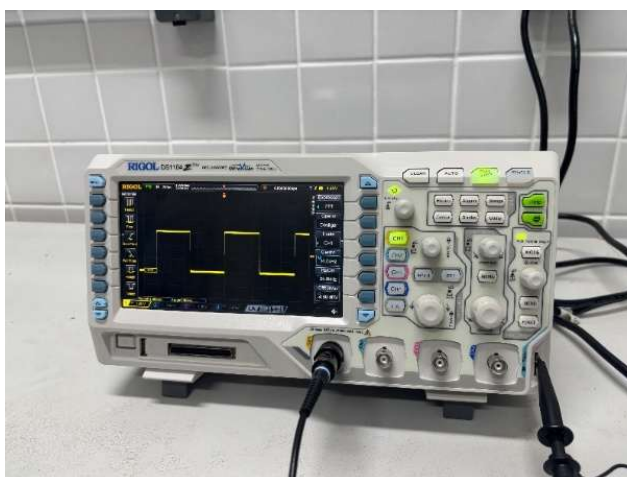


Fonte: Elaboração própria (2025).

- Etapa 2 – Configuração dos Equipamentos

Na segunda etapa, foi realizada a calibração dos equipamentos utilizados nos testes, incluindo o ajuste do osciloscópio, das pontas de prova e do gerador de sinais. O osciloscópio foi configurado para capturar corretamente os sinais elétricos, utilizando ondas quadradas como referência para ajuste, conforme a Figura 14. As pontas de prova foram calibradas para minimizar erros de medição, garantindo a fidelidade da forma de onda observada. Além disso, o gerador de sinais foi ajustado para fornecer a tensão e as frequências desejadas. Essa etapa foi essencial para assegurar a precisão das medições e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Figura 15 - Osciloscópio calibrado.



Fonte: Elaboração própria (2025).

- Etapa 3 – Análise da Resposta dos Filtros

Nesta etapa, as pontas de prova do osciloscópio foram conectadas ao circuito, posicionando uma na entrada e outra na saída dos filtros. Inicialmente, foi analisado o comportamento do filtro passa-baixas, seguido pelo filtro passa-altas. Em seguida, a conexão em série desses dois filtros permitiu a análise do filtro passa-faixa, possibilitando a observação da variação do sinal de saída em relação ao sinal de entrada para cada configuração.

O procedimento experimental foi dividido em etapas específicas para cada filtro. Para o filtro passa-baixas, o teste foi realizado em duas fases: na primeira, o filtro foi configurado com sua resistência máxima, e a frequência foi variada enquanto a tensão de entrada foi mantida constante em 8 Vp. Na segunda fase, a frequência foi mantida constante, e a resistência foi variada para observar seu efeito na resposta do filtro. O mesmo processo foi repetido para o filtro passa-altas, garantindo uma análise comparativa entre os dois tipos de filtros. Para o filtro passa-faixa, os potenciômetros foram ajustados a 50% de sua resistência total, e o comportamento do circuito foi avaliado em função da frequência.

- Etapa 4 – Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de fotografias das formas de onda exibidas no osciloscópio, permitindo o registro das tensões de entrada e saída para cada configuração. Esse processo possibilitou uma análise detalhada do comportamento da tensão de saída em função das frequências aplicadas, proporcionando um entendimento mais claro do desempenho dos filtros sob diversas condições de operação. Posteriormente, os dados coletados foram organizados em tabelas e gráficos, facilitando a interpretação dos resultados e a identificação de padrões de comportamento.

- Etapa 5 – Comparação com Simulações Computacionais

Por fim, os testes realizados em bancada foram reproduzidos em programas de simulação computacional, permitindo a comparação entre os resultados experimentais e os valores teóricos previstos. Essa abordagem possibilitou a identificação de eventuais discrepâncias entre os resultados práticos e teóricos, contribuindo para um entendimento mais aprofundado do desempenho dos filtros e das limitações do modelo experimental. A simulação

também ajudou a validar os resultados obtidos experimentalmente, reforçando a confiabilidade do estudo.

7 RESULTADO E DISCUSSÃO

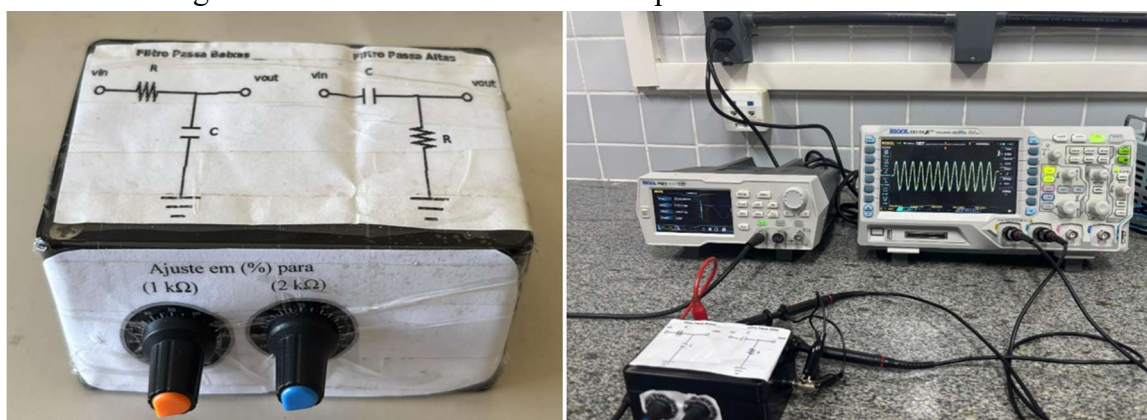
Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos nos testes experimentais e nas simulações computacionais dos filtros passivos de frequência. As respostas dos filtros foram analisadas em diferentes frequências, e os dados foram comparados com os valores do teste em *software*. Além disso, são discutidos os efeitos dos ajustes nos potenciômetros e as possíveis fontes de erro no experimento.

7.1 COMPORTAMENTO DOS FILTROS

7.1.1 Filtro Passa-baixas

A partir dos testes realizados com uma tensão de entrada de 8 Vp em diferentes frequências e com o filtro ajustado para sua máxima resistência, a tensão de saída (Vp) foi registrada por meio de fotografias para posterior análise. A seguir, apresentam-se algumas imagens dos testes realizados tanto em laboratório quanto em ambiente de simulação no *software*. Na Figura 16 é exibido o protótipo desenvolvido do filtro, juntamente com as configurações experimentais adotadas para a realização dos testes.

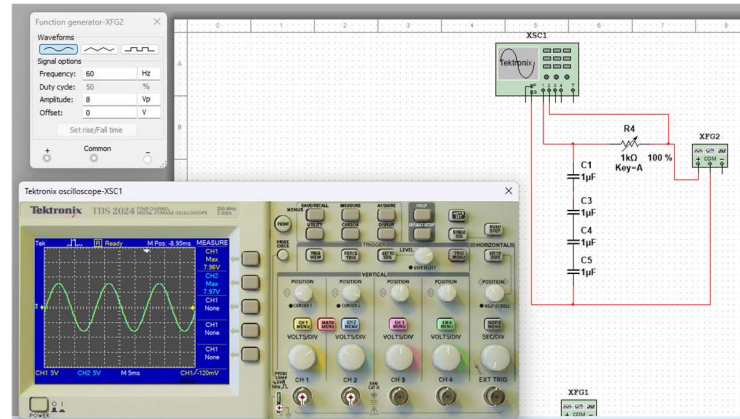
Figura 16- Teste em bancada do filtro passa-baixas com resistência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Figura 17 é mostrado o teste realizado em software, que simula o comportamento do circuito ou sistema em questão

Figura 17 – Teste em *software* do filtro passa-baixas com resistência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados obtidos a partir desse teste estão apresentados na Tabela 1, evidenciando a relação entre a frequência de entrada e a tensão de saída.

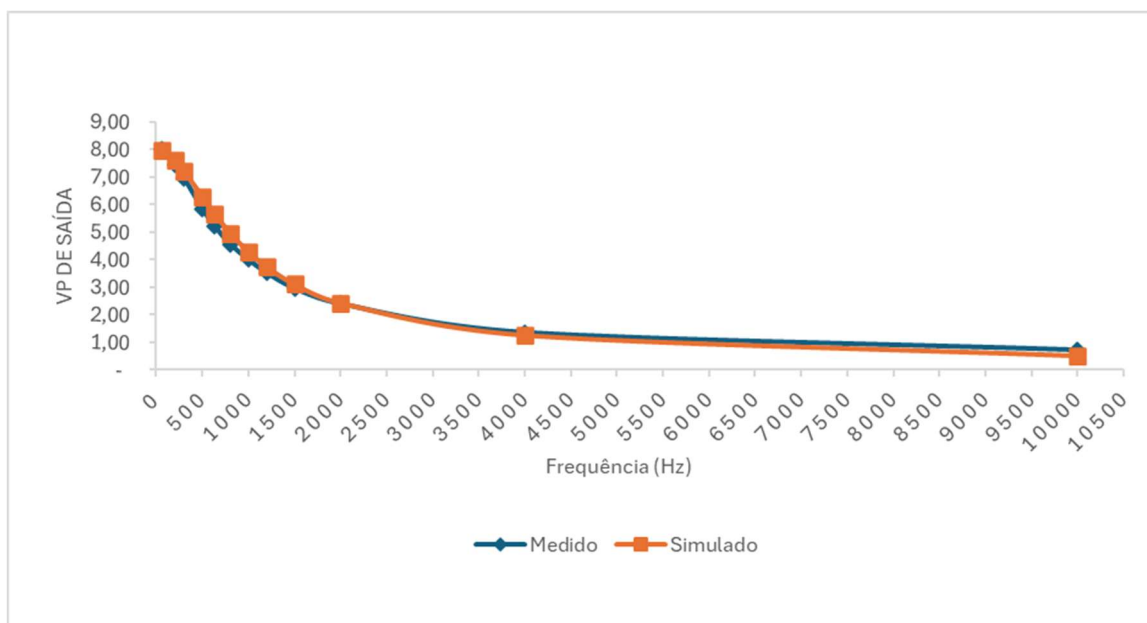
Tabela 1 - Filtro passa-baixas.

Passa-baixas 8Vp						
Frequência (Hz)	Resistencia (kΩ)	Capacitância (μf)	Vp de saída		Atenuação	
			Medido	Simulado	Medido	Simulado
60,00	1,00	0,25	8,00	7,96	0%	1%
200,00	1,00	0,25	7,44	7,62	7%	5%
300,00	1,00	0,25	6,96	7,21	13%	10%
500,00	1,00	0,25	5,84	6,28	27%	22%
636,60	1,00	0,25	5,20	5,65	35%	29%
800,00	1,00	0,25	4,56	4,96	43%	38%
1000,00	1,00	0,25	4,00	4,28	50%	47%
1200,00	1,00	0,25	3,52	3,73	56%	53%
1500,00	1,00	0,25	2,96	3,10	63%	61%
2000,00	1,00	0,25	2,40	2,42	70%	70%
4000,00	1,00	0,25	1,36	1,25	83%	84%
10000,00	1,00	0,25	0,72	0,50	91%	94%

Fonte: Elaboração própria (2025).

De posse dos dados apresentados na Tabela 1, pode-se representar a tensão de saída em função da frequência conforme ilustrado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Filtro passa-baixas.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise dos dados apresentados na tabela 1 e no gráfico 1 permitiu extrair conclusões relevantes sobre o comportamento do circuito em estudo. Observou-se que, na frequência de 60 Hz, a atenuação atingiu 0% no teste prático realizado em laboratório e 1% no teste virtual (simulação). Esse resultado evidencia uma tendência clara: à medida que a frequência aumenta, a tensão de saída diminui, conforme esperado teoricamente para um filtro passa-baixas.

A frequência de corte, calculada conforme a equação (2), foi determinada em 636,60 Hz. A partir desse valor, foi possível verificar a conformidade do projeto com os valores teóricos esperados. Os dados experimentais demonstraram uma excelente correlação com a atenuação de -3 dB, na qual a tensão de saída corresponde a 70,7% da tensão de entrada, equivalente a 5,65 Vp. Essa relação ocorre no ponto de meia potência, quando a reatância capacitiva (X_C) do capacitor se iguala à resistência do potenciômetro, confirmando a consistência entre os resultados práticos e teóricos.

Ao comparar os dados experimentais com os resultados da simulação, constatou-se uma boa concordância entre eles, indicando que o protótipo representa de maneira satisfatória o comportamento do circuito teórico. No entanto, é importante destacar que, embora os resultados práticos e simulados sejam bastante próximos, existem pequenas discrepâncias. Essas diferenças podem ser atribuídas a fatores como a qualidade dos componentes utilizados (por

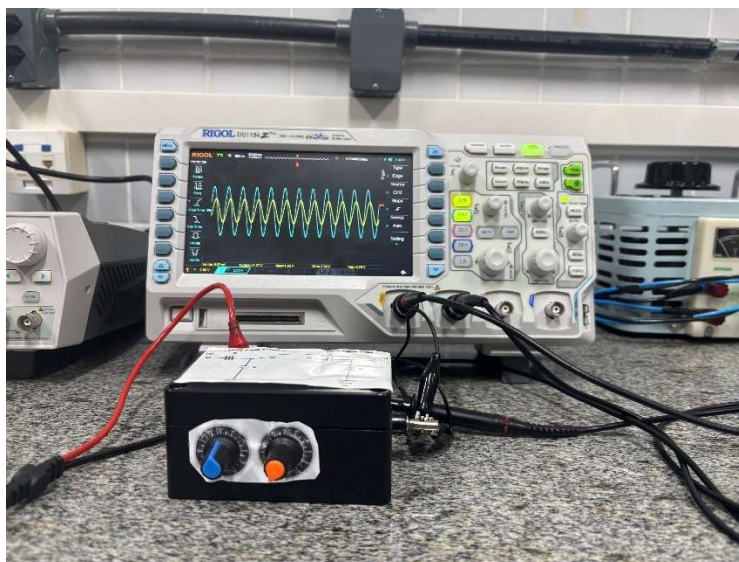
exemplo, resistores e capacitores), que podem introduzir variações na resistência e na capacitância do circuito, a eficiência do osciloscópio e do gerador de sinais, além da própria montagem do circuito. Esses aspectos reforçam a necessidade de considerar possíveis desvios ao comparar resultados teóricos e práticos.

Por fim, para altas frequências, observou-se que a tensão de saída foi significativamente reduzida, o que confirma a eficiência do filtro em atenuar sinais acima da frequência de corte. Esse comportamento está em pleno acordo com a teoria de filtros passa-baixas, validando tanto o projeto do circuito quanto a metodologia experimental adotada.

7.1.2 Passa-baixas com frequência fixa e variando a resistência

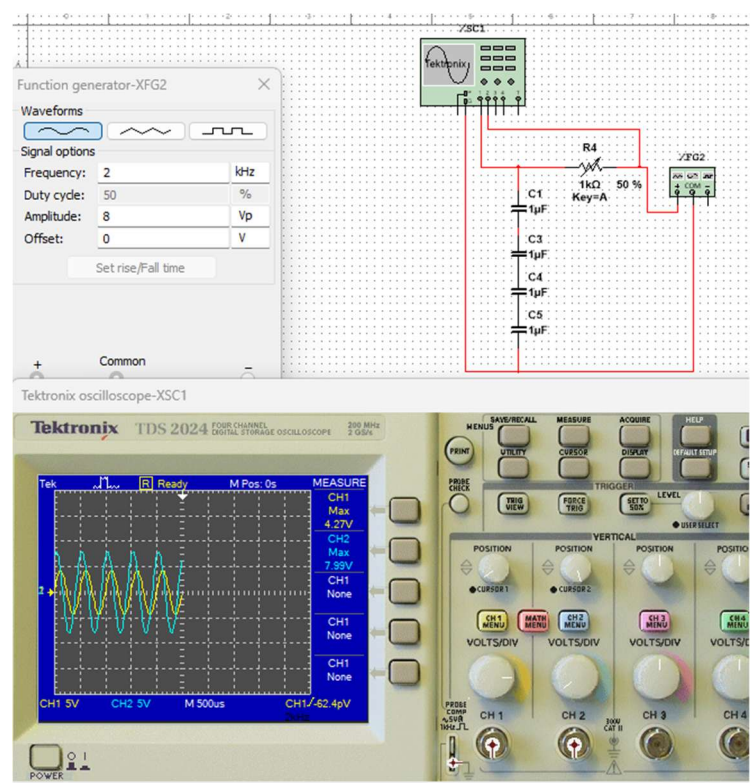
Neste experimento, analisou-se o comportamento de um filtro passa-baixas com um sinal de entrada de 2 kHz e tensão fixa de 8 Vp, variando-se a resistência do circuito. Os resultados obtidos, com base nos testes representados na Figura 18 e 19, estão apresentados na Tabela 2 e no Gráfico 2, que ilustram a relação entre a resistência ajustada, a tensão de saída e a atenuação do sinal, tanto para os valores experimentais quanto para os simulados.

Figura 18- Teste em bancada do filtro passa-baixas com frequência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 19 - Teste em *software* do filtro passa-baixas com frequência fixa.



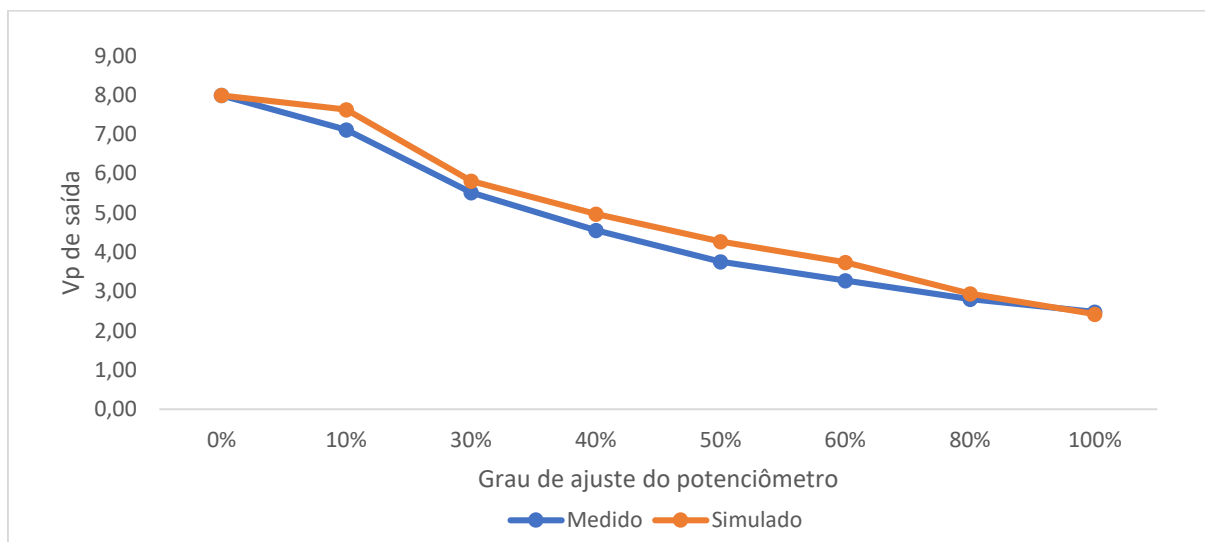
Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 2 - Filtro passa-baixas com frequência fixa.

Passa-baixas 8 Vp							
Frequência (kHz)	Resistencia (1kΩ)	Capacitância (μf)	Frequência teórica de corte (kHz)	Vp de saída		Atenuação	
				Medido	Simulado	Medido	Simulado
2,00	0%	0,25	-	8,00	8,00	0%	0%
2,00	10%	0,25	6,37	7,12	7,63	11%	5%
2,00	30%	0,25	2,12	5,52	5,81	31%	27%
2,00	40%	0,25	1,59	4,56	4,97	43%	38%
2,00	50%	0,25	1,27	3,76	4,27	53%	47%
2,00	60%	0,25	1,06	3,28	3,74	59%	53%
2,00	80%	0,25	0,80	2,80	2,94	65%	63%
2,00	100%	0,25	0,64	2,48	2,42	69%	70%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Gráfico 2 - Filtro passa-baixas com frequência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

À medida que a resistência foi aumentada de 0% a 100%, verificou-se uma redução progressiva na tensão de saída. A partir de 30%, o sinal de entrada já estava acima da região de atenuação do filtro, resultando em uma queda expressiva na tensão de saída. Considerando uma frequência de corte de 2 kHz e uma capacitância de 0,25 μF , a resistência teórica calculada é de aproximadamente 0,318 $\text{k}\Omega$. Conforme indicado na Tabela 2, esse valor equivale a cerca de 30% da resistência total de 1 $\text{k}\Omega$. A análise da tensão de saída para essa resistência confirma a coerência com a relação de -3 dB, característica da frequência de corte em filtros passa-baixas.

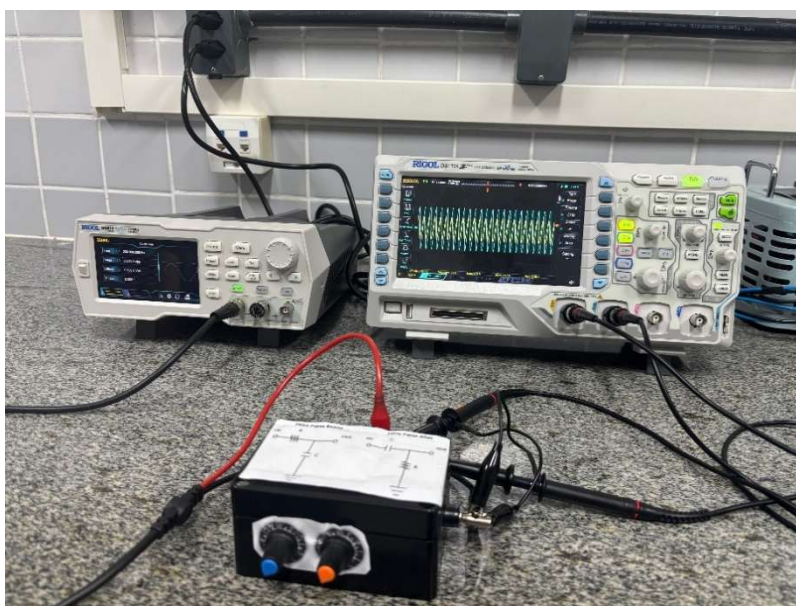
Os valores obtidos no protótipo e na simulação exibiram alta correlação, com pequenas variações entre eles. Essas discrepâncias podem ser atribuídas principalmente à tolerância dos componentes utilizados e à imprecisão no ajuste manual da resistência do filtro. Observa-se que, nas faixas limites (0% e 100% de resistência), as diferenças entre os valores reais e simulados são quase nulas, o que evidencia uma boa concordância entre o modelo físico e o simulado nessas condições. Por outro lado, nas faixas intermediárias, as variações são mais significativas, sugerindo que a falta de precisão no ajuste manual do filtro pode ser um fator crítico para essas diferenças.

Os resultados demonstram que o filtro passa-baixas opera conforme o esperado, com a atenuação do sinal aumentando proporcionalmente ao incremento da resistência ajustada. Isso valida tanto o projeto do circuito quanto a precisão do modelo teórico utilizado, reforçando a confiabilidade do filtro para aplicações práticas.

7.1.3 Filtro passa-altas

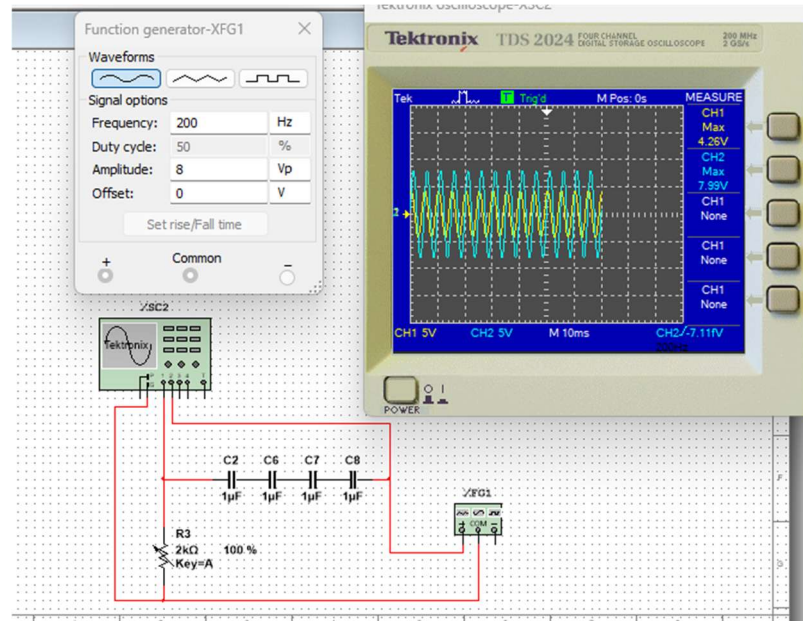
Neste procedimento, adotou-se a mesma metodologia empregada no teste do filtro passa-baixas. No entanto, foram utilizadas frequências distintas, uma vez que a configuração e a função do filtro são diferentes. A seguir, apresentam-se a Figura 20, referente ao teste, a Figura 21, correspondente à simulação, além da Tabela 6 e do Gráfico 6, que mostram os resultados obtidos.

Figura 20 - Teste em bancada do filtro passa-altas com resistência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 21- Teste em *software* do filtro passa-altas com frequência fixa.



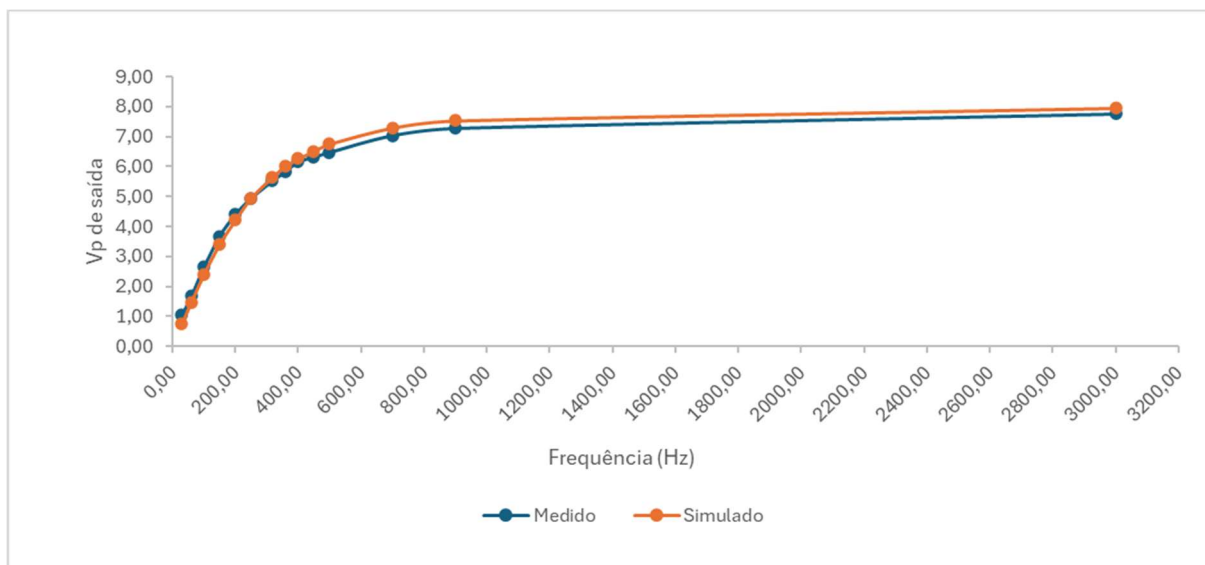
Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 3 – Filtro passa-altas.

Passa-alta 8Vp						
Frequência (Hz)	Resistencia (kΩ)	Capacitância (μf)	Vp de saída		Atenuação	
			Medido	Simulado	Medido	Simulado
30,00	2,00	0,25	1,04	0,75	87%	91%
60,00	2,00	0,25	1,68	1,48	79%	82%
100,00	2,00	0,25	2,64	2,40	67%	70%
150,00	2,00	0,25	3,68	3,41	54%	57%
200,00	2,00	0,25	4,40	4,21	45%	47%
250,00	2,00	0,25	4,95	4,94	38%	38%
318,00	2,00	0,25	5,52	5,65	31%	29%
360,00	2,00	0,25	5,84	6,00	27%	25%
400,00	2,00	0,25	6,16	6,26	23%	22%
450,00	2,00	0,25	6,32	6,51	21%	19%
500,00	2,00	0,25	6,48	6,75	19%	16%
700,00	2,00	0,25	7,04	7,29	12%	9%
900,00	2,00	0,25	7,28	7,53	9%	6%
3000,00	2,00	0,25	7,76	7,95	3%	1%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Gráfico 3 - Filtro passa-altas.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise dos dados do filtro, conforme apresentados na tabela 3, revela um comportamento altamente consistente com a curva teórica. Observa-se uma atenuação significativa dos sinais de baixa frequência, característica típica de um filtro passa-altas. Esse comportamento evidencia a eficiência do filtro na supressão de componentes de frequência mais baixas, permitindo a passagem de sinais de frequência mais elevada conforme esperado.

A frequência de corte, que corresponde ao ponto em que a atenuação é de aproximadamente -3 dB, foi observada em 318 Hz. Nessa frequência, a atenuação medida foi de 31% (valor real) e 29% (valor simulado). Acima dessa frequência, a tensão de saída se aproxima gradualmente da tensão de entrada (8 Vp), indicando que o filtro permite a passagem eficaz de sinais de alta frequência constatou-se que em 3.000 Hz a atenuação é praticamente desprezível.

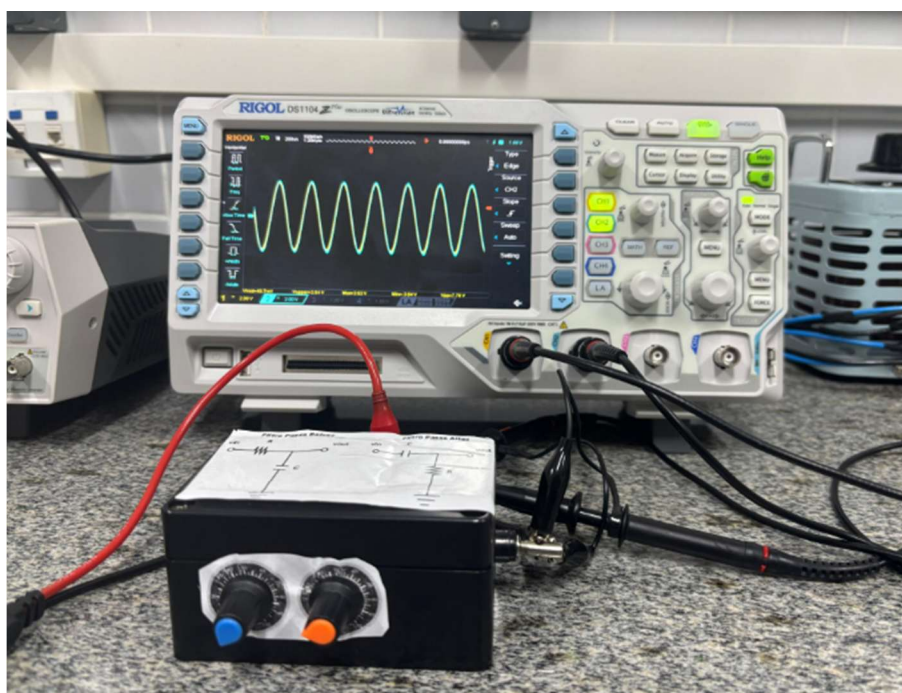
Ao comparar os valores experimentais com os simulados, observa-se uma boa correspondência, embora pequenas variações estejam presentes. Essas diferenças podem ser explicadas por fatores como a tolerância dos componentes utilizados no circuito. Nota-se que, nas frequências mais baixas, as discrepâncias entre os valores reais e simulados são mais evidentes, enquanto, nas frequências mais altas, os resultados tendem a convergir. Esse comportamento provavelmente ocorre devido à qualidade dos materiais utilizados, que podem apresentar variações em relação ao modelo teórico, especialmente em condições de operação mais críticas, como nas baixas frequências situadas abaixo da frequência de corte, nas quais a atenuação é mais significativa. Nessas faixas, pequenas variações nos componentes ou nas medições podem ter um impacto maior nos resultados, explicando as diferenças observadas.

Os resultados obtidos confirmam a eficácia do filtro passa-altas em rejeitar sinais de baixa frequência e permitir a passagem de sinais de alta frequência, validando o projeto do circuito. Além disso, a proximidade entre os valores reais e simulados reforça a confiabilidade do estudo e a aplicabilidade do filtro em contextos práticos.

7.1.4 Passa-altas com frequência fixa e variando a resistência

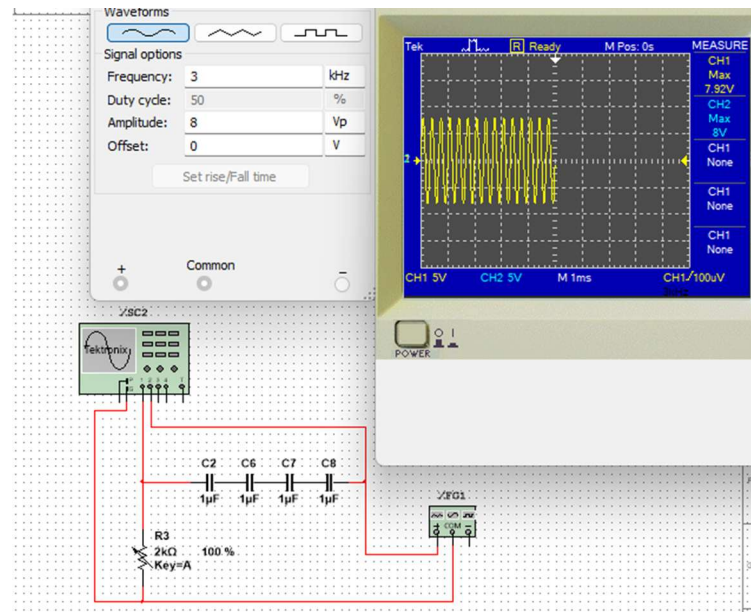
Neste experimento, analisou-se o comportamento de um filtro passa-altas para um sinal de entrada fixo de 3,00 kHz e tensão de 8 V_p, variando-se a resistência do circuito. Os testes estão ilustrados nas Figuras 21 e 22. Os resultados obtidos, tanto experimentais quanto simulados, estão apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 4, evidenciando a relação entre a resistência ajustada, a tensão de saída e a atenuação do sinal.

Figura 22 -Teste em bancada do filtro passa-altas com frequência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 23- Teste em software do filtro passa-altas com frequência fixa.



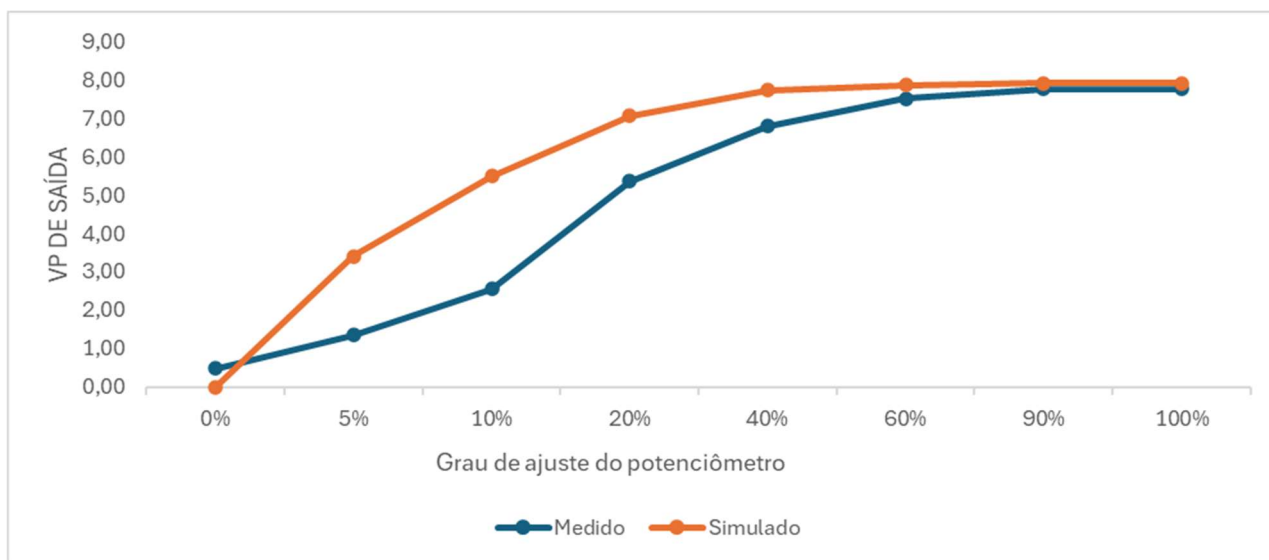
Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 4 - Filtro passa-altas com frequência fixa.

Passa-altas 8Vp							
Frequência (kHz)	Resistencia (2kΩ)	Capacitância (μf)	Frequência teórica de corte (kHz)	Vp de saída		Atenuação	
				Medido	Simulado	Medido	Simulado
3,00	0%	0,25	-	0,48	0,00	94%	100%
3,00	5%	0,25	6,37	1,36	3,41	83%	57%
3,00	10%	0,25	3,18	2,56	5,50	68%	31%
3,00	20%	0,25	1,59	5,36	7,06	33%	12%
3,00	40%	0,25	0,79	6,80	7,73	15%	3%
3,00	60%	0,25	0,53	7,52	7,87	6%	2%
3,00	90%	0,25	0,35	7,76	7,92	3%	1%
3,00	100%	0,25	0,32	7,76	7,92	3%	1%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Gráfico 4 - Filtro passa-altas com frequência fixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Com o aumento da resistência de 0% a 100%, a tensão de saída apresentou um crescimento progressivo. Para 0% de resistência, os valores medidos e simulados da saída foram, respectivamente, 0,48 Vp e 0,00 Vp, indicando uma atenuação significativa de 94% e 100%. Já para 100% de resistência, a tensão de saída elevou-se para 7,76 Vp (medido) e 7,92 Vp (simulado), resultando em uma atenuação mínima de 3% e 1%. A pequena discrepância observada nos valores extremos decorre do fato de que, mesmo em sua menor resistência, o potenciômetro ainda apresenta 0,01 k Ω , enquanto sua resistência máxima atinge 2,02 k Ω . Esse comportamento reforça o princípio fundamental do filtro passa-altas, no qual a atenuação do sinal diminui com o aumento da resistência, favorecendo a passagem de componentes de frequência acima da frequência de corte.

Os resultados obtidos no protótipo e na simulação apresentaram uma forte coerência para frequências mais altas, enquanto variações mais perceptíveis foram observadas em resistências baixas. Essas discrepâncias podem ser atribuídas à necessidade de ajustes finos e ao fato de o potenciômetro possuir uma resistência relativamente elevada (2 k Ω), o que dificulta a precisão na definição da resistência desejada, assim demandando uma maior atenção da hora desse tipo de ajuste.

O desempenho do filtro foi significativamente comprometido para altas frequências de corte, devido à necessidade de um ajuste mais fino e preciso da resistência. Para esse tipo de aplicação, o ideal seria utilizar potenciômetros de menor resistência, reduzindo o impacto de pequenas variações no ajuste sobre os resultados. Outra alternativa seria substituir os

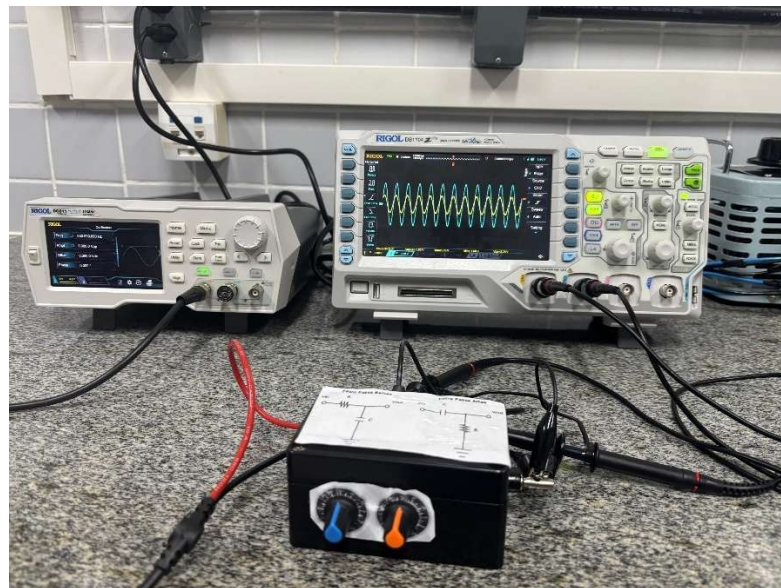
capacitores da escala de μF para a escala de nF , permitindo a operação em frequências mais altas de forma mais eficiente.

7.1.5 Passa-faixa

Neste experimento, foi analisado o comportamento de um filtro passa-faixa, obtido pela associação de um filtro passa-baixas e um filtro passa-altas. Essa configuração permite a atenuação tanto das frequências mais baixas quanto das mais altas, delimitando uma faixa específica na qual os sinais são transmitidos com menor atenuação.

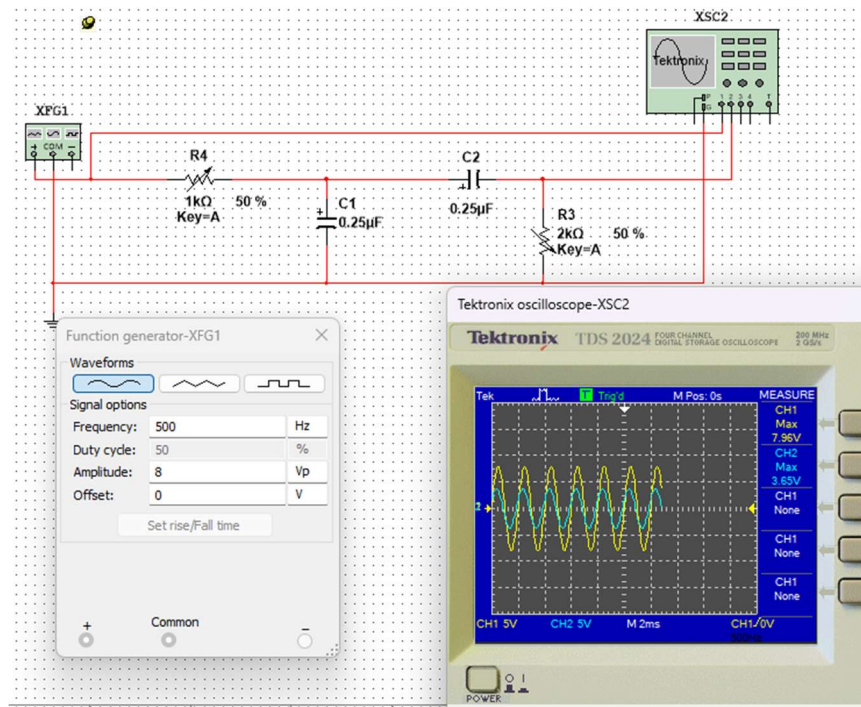
Para a implementação do circuito, foram utilizados resistores de $0,5\text{ k}\Omega$ no filtro passa-baixas e de $1\text{ k}\Omega$ no filtro passa-altas, resultando em uma faixa de passagem compreendida entre $636,61\text{ Hz}$ e $1273,23\text{ Hz}$, na sequência, apresentam-se a Figura 24 do teste experimental e a Figura 25 da simulação computacional.

Figura 24 - Filtro Passa-faixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 25- Filtro Passa-faixa *software*.



Fonte: Elaboração própria (2025).

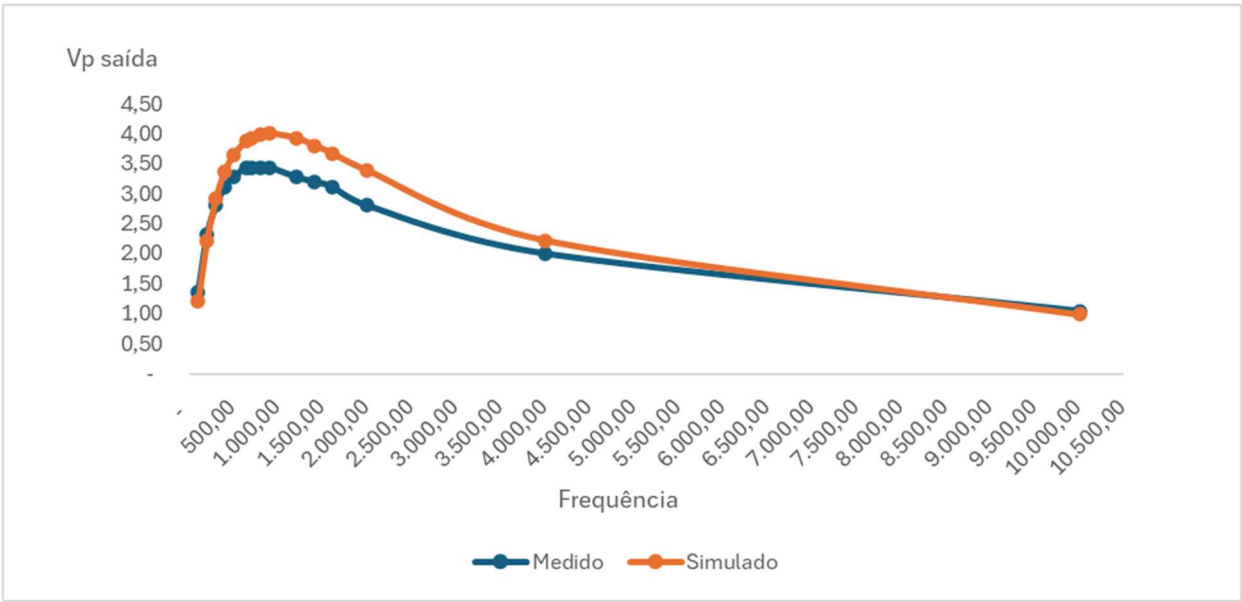
Os dados obtidos, que demonstram o comportamento do filtro em diferentes frequências, estão organizados na Tabela 5. Além disso, a Gráfico 5 apresenta a representação gráfica desses resultados, permitindo uma análise mais clara da resposta do sistema.

Tabela 5- Passa-faixa.

Passa-faixa 8Vp								
Frequência (Hz)	passa-baixas		passa-altas		Vp de saída		Atenuação (%)	
	Resistência (kΩ)	Capacitância (µf)	resistência (kΩ)	Capacitância (µf)				
					Medido	Simulado	Medido	Simulado
100,00	0,50	0,25	1,00	0,25	1,36	1,21	83%	85%
200,00	0,50	0,25	1,00	0,25	2,32	2,21	71%	72%
300,00	0,50	0,25	1,00	0,25	2,80	2,92	65%	64%
400,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,12	3,37	61%	58%
500,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,28	3,64	59%	55%
636,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,44	3,87	57%	52%
700,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,44	3,92	57%	51%
800,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,44	3,98	57%	50%
900,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,44	4,00	57%	50%
1200,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,28	3,92	59%	51%
1400,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,20	3,80	60%	53%
1600,00	0,50	0,25	1,00	0,25	3,12	3,67	61%	54%
2000,00	0,50	0,25	1,00	0,25	2,80	3,38	65%	58%
4000,00	0,50	0,25	1,00	0,25	2,00	2,22	75%	72%
10000,00	0,50	0,25	1,00	0,25	1,04	0,99	87%	88%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Gráfico 5- Passa-faixa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise dos resultados confirma que, embora ainda haja uma atenuação significativa, possivelmente decorrente da faixa de passagem estreita, os valores obtidos nos testes apresentaram baixa dispersão, mantendo-se semelhantes para diferentes frequências. No teste simulado, os resultados formaram uma curva mais uniforme, enquanto no teste prático,

observou-se uma atenuação ligeiramente maior, especialmente na faixa de corte das frequências mais altas.

A análise dos resultados confirma que, apesar da atenuação observada devido à faixa de passagem relativamente estreita do filtro, os valores obtidos nos testes experimentais permaneceram próximos aos da simulação. No teste simulado, a resposta do filtro apresentou sinais de saída ligeiramente mais elevados, enquanto no teste prático verificou-se uma atenuação um pouco maior, especialmente na faixa de corte das frequências mais altas. Essa diferença pode estar associada a imprecisões no ajuste dos filtros, especialmente no passa-baixas, uma vez que, para frequências mais baixas, onde o passa-altas atua, a discrepância foi menor, impactando menos a resposta do sistema.

Em suma, os resultados gerais foram satisfatórios, pois a curva obtida experimentalmente mostrou grande semelhança com a resposta simulada, validando a aplicação do filtro para fins didáticos. Ressalta-se, contudo, a importância de um ajuste preciso dos filtros, uma vez que pequenas variações na regulação podem impactar significativamente o desempenho do sistema.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de filtros passivos de frequência por meio de testes experimentais e simulações computacionais, contribuindo para o aprimoramento das atividades em laboratório. Foram investigados os filtros passa-baixas, passa-altas e passa-faixa, avaliando suas respostas em diferentes condições, incluindo variações de frequência e resistência do circuito. O filtro rejeita-faixa não foi implementado, pois, com os materiais utilizados, ele atenuaria todos os sinais de frequência, inviabilizando a análise. Para a implementação de um filtro rejeita-faixa adequado, seria necessário o uso de indutores.

A comparação entre os resultados experimentais e simulados permitiu validar a eficiência dos filtros e identificar possíveis fontes de discrepância entre os valores teóricos e práticos. Os testes confirmaram que os filtros analisados operaram conforme o esperado, com atenuações bem definidas para cada tipo de circuito. O filtro passa-baixas reduziu significativamente a tensão de saída com o aumento da frequência, enquanto o passa-altas rejeitou eficientemente as frequências baixas, permitindo a passagem das mais altas. Já o passa-faixa, embora com certa atenuação, selecionou uma faixa específica de frequências, atenuando as demais.

Além de fornecer uma base para o entendimento prático dos filtros passivos, este estudo contribui para os experimentos em laboratório, permitindo a otimização de metodologias e a identificação de fatores que impactam a resposta dos circuitos. Ademais, os resultados obtidos e as análises realizadas podem servir como referência para o desenvolvimento de guias experimentais em trabalhos futuros, auxiliando na condução de novas pesquisas na área.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N O. **Fundamentos de circuitos elétricos com aplicações**. Porto Alegre: Grupo A, 2013.

ALIEXPRESS. **Caixa preta ao ar livre à prova d'água, caixa de plástico, projeto eletrônico, instrumento, caixa de junção à prova d'água**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005005848967422.html>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ALMEIDA, Ricardo José. **Compensação de harmônicos de corrente com filtro híbrido de baixo custo**. 2014. 83 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

CAPUANO, Francisco G.; MARINO, Maria Aparecida M. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**. Rio de Janeiro: Érica, 2009. E-book. ISBN 9788536519777. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519777/>. Acesso em: 30 set. 2024.

FILHO, Matheus Teodoro da S. **Fundamentos de Eletricidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. E-book. ISBN 978-85-216-2444-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2444-8/>. Acesso em: 30 set. 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

JR., Antonio P. **Amplificadores operacionais e filtros ativos (Tekne)**. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. E-book. p.142. ISBN 9788582602751. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582602751/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

JÚNIOR, José Marcelo de Assis W.; MARTIN, Andrea A.; MARGOTI, Luciana M.; et al. **Eletricidade**. Porto Alegre: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556901787. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556901787/>. Acesso em: 03 set. 2024.

MALVINO, Albert P.; BATES, David J. **Eletrônica. v.2**. Porto Alegre: Grupo A, 2016.

RIOLINK. **Gerador de função arbitrário ICEL GV2005 frequência 5MHz. [Gerador de frequência]**. Disponível em: <https://www.riolink.com.br/gerador-de-funcoes-arbitrarias5mhz-1-canal>. Acesso em: 20 abr. 2024.

RIOLINK. **Osciloscópio digital 50 MHz Rigol 4 canais DS1054Z + maleta. [Osciloscópio]**. Disponível em: <https://www.riolink.com.br/instrumentos-de-teste-e-medicao/osciloscopio>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SEIXAS, Jordana L.; PINTO, Alfred G M.; MATSUBARA, Lilian P.; et al. **Circuitos elétricos**. Porto Alegre: Grupo A, [2018]. E-book. ISBN 9788595025820. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025820/>. Acesso em: 31 ago. 2024.

TAHALYANI, Jitendra; AKHTAR, M. Jaleel; CHERUSSERI, Jayesh; KAR, Kamal K. **Characteristics of Capacitor: Fundamental Aspects**. Indian Institute of Technology Kanpur, 31 dez. 2019. Cham: Springer, 2019. p. 1-51.