

# Experimento 1

## Física Experimental IV

Grupo 3:

Felipe Mack (81335),  
Gabriel Ferrauche (197314) e  
Tiago de Paula (187679)

6 de Setembro de 2018

### Resumo

*A intenção principal deste experimento foi analisar os filtros de frequências "passa-altas" e "passa-baixas", obtidos a partir de circuitos RC e RL e os filtros ressonantes "passa-bandas" e "rejeita-bandas", obtidos a partir de circuitos RCL. Na primeira etapa do experimento, foi construído um circuito passa-alta na forma de circuito RC (fig. 1(a)) com o qual foi possível comparar os resultados obtidos com os resultados teóricos esperados. Na segunda etapa do experimento, foi construído um circuito rejeita-banda na forma de circuito RCL (fig. 1(b)), com o qual também foi possível a comparação entre os resultados obtidos e os resultados teóricos esperados. Ao fim, verificou-se a coerência do modelo teórico e a efetividade dos filtros construídos, mostrando a coesão entre a teoria e aplicações práticas*

## 1 Introdução

Este experimento tem por objetivo o estudo dos circuitos RC, RL e RLC, bem como suas propriedades e funções. Circuitos RC e RL, estudados na primeira etapa deste experimento, podem ser utilizados como filtros de frequências, a serem classificados como passa-altas ou passa-baixas. Especificamente, busca-se construir um filtro passa-alta com intuito de filtrar um ruído de 120 Hz de um sinal de 8 kHz. Na segunda etapa deste experimento, serão estudados os circuitos RLC, os chamados filtros ressonantes, o que permitirá classificá-los como passa-bandas ou rejeita-bandas. Para tal estudo, será analisado um filtro ressonante que permita a passagem de sinais de 100 Hz e 10 kHz, filtrando um sinal de frequência média 1 kHz.

## 2 Materiais e Métodos

Para a primeira parte do experimento, foi montado, em uma *protoboard*, um filtro passa-alta na forma de circuito RC, como representado em fig. 1(a). No sistema em questão foi utilizado um capacitor de capacitância nominal 47 nF e um resistor de resistência nominal 470  $\Omega$ . Com o circuito devidamente pronto, utilizando o osciloscópio Tektronix TBS1000 Series[13], juntamente com o gerador de função BK Precision 4052[18], ajustado para ondas senoidais, foram coletados 100 pontos igualmente espaçados para um *sweep* de frequência de 10 Hz a 10 kHz registrando as tensões de saída  $V_{out}$  em cada ponto. Em um computador, foi utilizado a biblioteca `pylef`[Gus17] para automatizar as medições, através da interface gráfica PyLab. É importante salientar que o *range* de frequências analisado foi escolhido de forma que abrangesse pelo menos uma ordem de grandeza acima e abaixo do que o experimento buscava analisar, permitindo verificar a eficácia do filtro.

Ressalva-se que a escolha dos componentes não foi arbitrária, seguindo o modelo teórico e visando cumprir o objetivo do experimento. A frequência de corte deveria ocorrer em  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  [Cha94]; em que  $\omega_0$  representa a frequência de corte, R a resistência nominal do resistor e C a capacitância do capacitor.

Para a segunda parte do experimento, seguindo o método da primeira parte, em uma *protoboard*, foi montado um filtro rejeita-banda na forma de circuito RLC, assim como representado em 1(b). Para tal circuito foi utilizado indutor de indutância nominal 49 mH, capacitor de 470 nF e resistor de 470  $\Omega$ . Em seguida, da mesma forma realizada anteriormente, foram coletados dados de tensão de saída ( $V_{out}$ ) para um *sweep* de frequência de 10 Hz a 10 kHz. Sendo que o *range* em questão foi empregado de formar a cumprir os objetivos do experimento, tendo a mesma justificativa da seção anterior. Ressalva-se que o fato do *range* de frequências ser o mesmo em ambas as partes é uma coincidência.

Novamente, os componentes do circuito foram selecionados seguindo o modelo teórico e buscando atingir os objetivos do experimento. A frequência central, ou seja, aquela que sofreria maior atenuação pode ser calculada como  $\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  [Cha94]; em que  $\omega_c$  corresponde à frequência central, L à indutância do indutor e C a capacitância do capacitor.

Em sequência, os dados anteriormente coletados foram utilizados para a construção de diagramas de Bode para os dois filtros. A seguir, na seção 3 os mesmos serão abordados com maior profundidade.

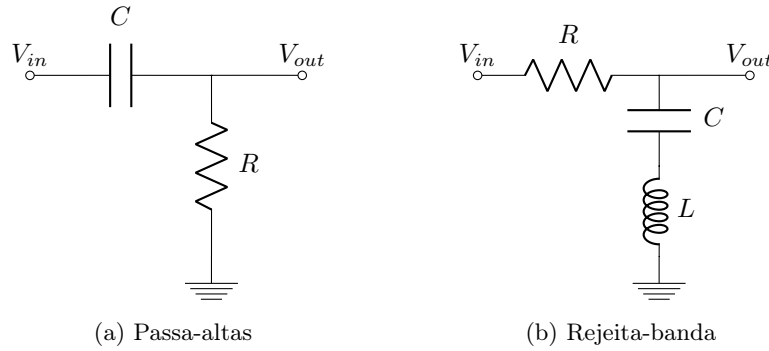


Figura 1: Circuitaria.

## 3 Resultados

### 3.1 Passa-altas

Para a primeira parte do experimento, segue abaixo as medidas de caracterização dos componentes e o diagrama de bode que caracteriza o filtro passa-alta construído.

Dispositivo	Resistência	
	Nominal	Medida
Resistor	$470 \pm 24 \Omega$	$461 \pm 4 \Omega$
Indutor	—	$46 \pm 4 \Omega$

Tabela 1: Tabela de Resistências

## Diagrama de Bode

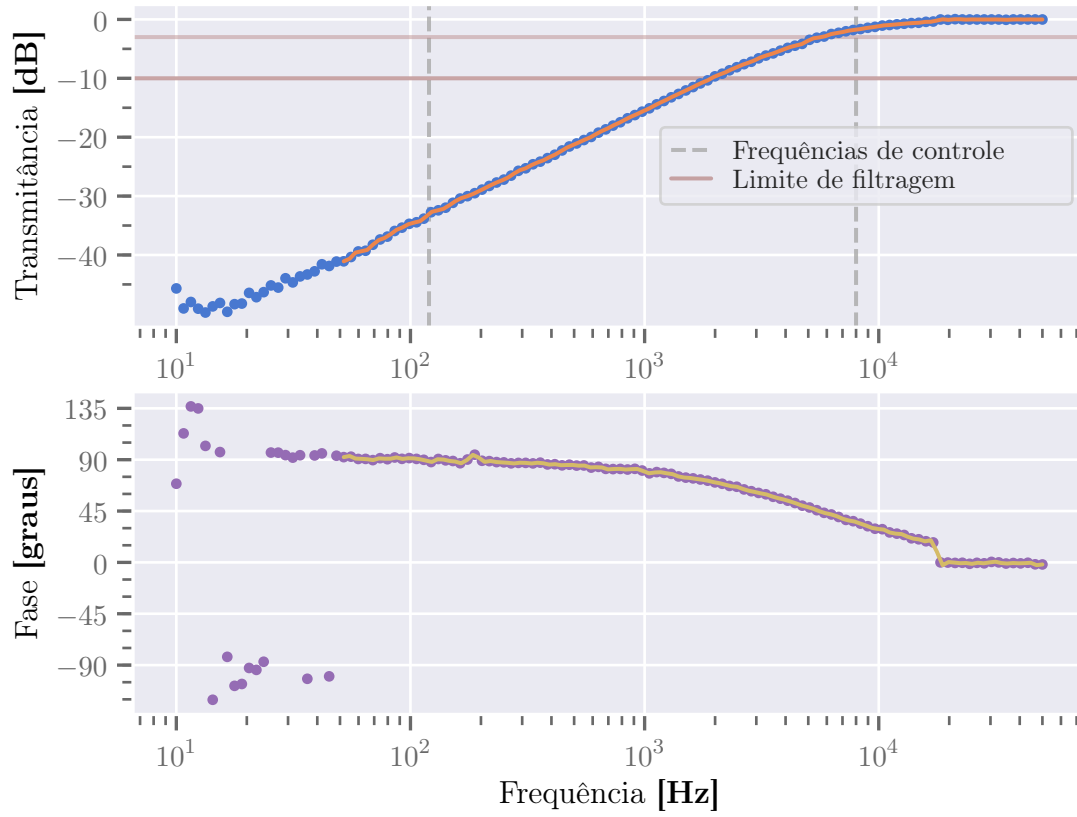


Figura 2: Diagrama de Bode filtro "Passa-altas"

Frequência	Tensão pico a pico		Transmitância
	$V_{in}$	$V_{out}$	
$10.000 \pm 0.001$ Hz	$1.70 \pm 0.01$ V	$9 \pm 7$ mV	$-46 \pm 7$ dB
$31.430 \pm 0.003$ Hz	$2.05 \pm 0.01$ V	$12 \pm 7$ mV	$-45 \pm 5$ dB
$106.11 \pm 0.01$ Hz	$2.05 \pm 0.01$ V	$39 \pm 7$ mV	$-34 \pm 2$ dB
$122.44 \pm 0.01$ Hz	$2.07 \pm 0.01$ V	$48 \pm 7$ mV	$-33 \pm 1$ dB
$310.47 \pm 0.03$ Hz	$2.06 \pm 0.01$ V	$112 \pm 8$ mV	$-25.3 \pm 0.6$ dB
$1.0482 \pm 0.0001$ kHz	$2.07 \pm 0.01$ V	$363 \pm 8$ mV	$-15.1 \pm 0.2$ dB
$3.0669 \pm 0.0003$ kHz	$2.04 \pm 0.01$ V	$960 \pm 1$ mV	$-6.6 \pm 0.1$ dB
$7.7766 \pm 0.0008$ kHz	$1.98 \pm 0.01$ V	$1.61 \pm 0.01$ V	$-1.80 \pm 0.09$ dB
$8.3536 \pm 0.0008$ kHz	$1.97 \pm 0.01$ V	$1.63 \pm 0.01$ V	$-1.64 \pm 0.09$ dB
$10.354 \pm 0.001$ kHz	$1.95 \pm 0.01$ V	$1.73 \pm 0.01$ V	$-1.05 \pm 0.09$ dB
$30.296 \pm 0.003$ kHz	$2.06 \pm 0.01$ V	$2.06 \pm 0.01$ V	$-0.01 \pm 0.08$ dB

Tabela 2: Incertezas para alguns pontos-chave do circuito RC

### 3.2 Passa-banda

Na sequência, seguem as medidas para o filtro passa-banda, juntamente com o diagrama de Bode que caracteriza o mesmo.

Diagrama de Bode

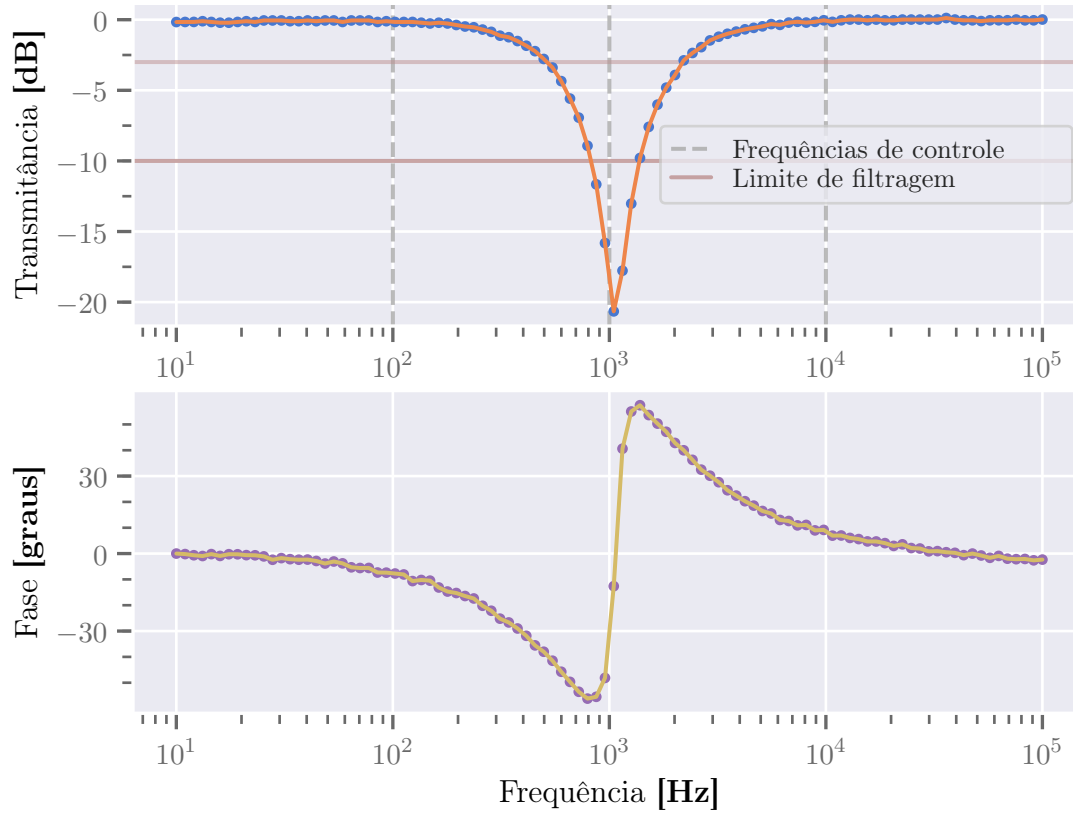


Figura 3: Diagrama de Bode filtro "passa-banda"

Frequência	Tensão pico a pico		Transmitância
	$V_{in}$	$V_{out}$	
$10.000 \pm 0.001$ Hz	$1.72 \pm 0.01$ V	$1.69 \pm 0.01$ V	$-0.17 \pm 0.09$ dB
$102.35 \pm 0.01$ Hz	$2.06 \pm 0.01$ V	$2.02 \pm 0.01$ V	$-0.16 \pm 0.08$ dB
$312.57 \pm 0.03$ Hz	$2.04 \pm 0.01$ V	$1.79 \pm 0.01$ V	$-1.13 \pm 0.08$ dB
$1.0476 \pm 0.0001$ kHz	$1.87 \pm 0.01$ V	$174 \pm 8$ mV	$-20.7 \pm 0.4$ dB
$1.1498 \pm 0.0001$ kHz	$1.89 \pm 0.01$ V	$244 \pm 8$ mV	$-17.8 \pm 0.3$ dB
$2.9151 \pm 0.0003$ kHz	$2.02 \pm 0.01$ V	$1.71 \pm 0.01$ V	$-1.47 \pm 0.08$ dB
$10.723 \pm 0.001$ kHz	$2.10 \pm 0.01$ V	$2.06 \pm 0.01$ V	$-0.15 \pm 0.08$ dB
$100.000 \pm 0.001$ kHz	$2.06 \pm 0.01$ V	$2.06 \pm 0.01$ V	$0.01 \pm 0.08$ dB

Tabela 3: Incertezas para alguns pontos-chave do circuito RLC

## 4 Discussão

### 4.1 Passa-altas

Após a coleta de dados, foi possível perceber que o filtro construído seguia bem o modelo teórico. Inicialmente, é possível perceber que as frequências que deveriam ser filtradas (120 kHz), com ganho de pelo menos  $-10$  dB, tiveram atenuação  $-33 \pm 1$  dB, como na tabela 2 indicando bom fator de filtragem. Além disso, a frequência que não deveria sofrer atenuação (8 kHz), não teve grandes perdas. Como pode ser visto na tabela 2, o ponto mais próximo e acima de 8 kHz,  $8.3538 \pm 0.0008$  kHz, teve ganho de  $-1.64 \pm 0.09$  dB. Já o ponto mais próximo e abaixo de 8 kHz,  $7.7766 \pm 0.0008$  kHz teve ganho de  $-1.80 \pm 0.09$  decibel. Assim, indicando boa passagem do sinal para a frequência de 8 kHz, considerando que o ganho da mesma não passou de  $-3$  dB.

Outro fator que mostra a eficácia do filtro, é o comportamento anômalo no diagrama de Bode na figura 2. É possível perceber que, para alguns valores de frequência entre 100 Hz e 10 Hz, o osciloscópio não foi capaz de registrar com grande precisão as tensões de saída, causando flutuações nos valores de transmitância registrados. O grupo atribui tal fenômeno ao alto fator de atenuação nesta banda de frequência, cerca de  $-40$  dB, fazendo com que o sinal não fosse intenso o suficiente para o osciloscópio utilizado. Também é possível perceber tal ocorrência para o gráfico de fase, em que flutuações muito abruptas ocorreram. Tal fenômeno ocorreu pois a fase do sinal estaria muito próxima de  $90^\circ$ , fazendo com que o osciloscópio registrasse o sinal com fase invertida, mostrando novamente o comportamento inesperado do osciloscópio devido à grande atenuação do sinal.

### 4.2 Passa-banda

Para o circuito passa-banda, como pode ser visto no diagrama de Bode em 3, as frequências que não deveriam sofrer atenuação (100 Hz e 10 kHz) sofreram queda de sinal desprezível,  $-0.16 \pm 0.08$  dB e  $-0.15 \pm 0.08$  dB, respectivamente. Assim, mostrando que o filtro se adequa bem para a passagem destas frequências. Em relação à frequência que deveria ser filtrada (1 kHz), é possível identificar que a queda de sinal foi intensa. Analisando um ponto próximo,  $1.0476 \pm 0.0001$  kHz cujo ganho foi de  $-20.7 \pm 0.4$  dB, evidencia que o filtro atua bem nas proximidades desta frequência. Observando o diagrama 3 também é visível que a frequência central ocorreu bem próximo do desejado para a filtragem, mostrando a eficácia do circuito.

Em relação ao diagrama de fase 3, é possível observar que aproximadamente em 1 kHz, a diferença de fase se anula, mostrando que para frequências próximas o circuito se encontrava em ressonância, assim como esperado. Novamente reforçando que para 1 kHz a queda de sinal seria grande.

É importante salientar que, durante o processamento dos dados, as incertezas foram calculadas seguindo os padrões do GUM [08] e seguindo as especificações dos aparelhos utilizados nas medições.

## 5 Conclusão

Ao fim do experimento, concluiu-se que ambos filtros construídos pelo grupo forma extremamente eficazes para atingir os objetivos propostos. Também observou-se que os modelos teóricos empregados foram coerentes, dado que as frequências de corte e central calculadas corresponderam com exatidão com os dados coletados. Assim, mostrando coesão entre os modelos teóricos e o comportamento real do sistemas estudados.

## Referências

- [Cha94] Charles K. Alexander, Mathew N. O. Sadiku. *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. 4ª ed. Prentice-Hall do Brasil Ltda., 1994.
- [08] *Guia para a expressão de incerteza de medição*. INMETRO. 2008. URL: [http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso\\_gum\\_versao\\_site.pdf](http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf).

- [13] *Digital Storage Oscilloscopes, Service Manual*. TBS1000 Series. Tektronix. 2013. URL: <https://www.tek.com/oscilloscope/tbs1000-digital-storage-oscilloscope-manual>.
- [Gus17] Gustavo Wiederhecker. *pylef*, *Pacote de aquisição de dados de corrente alternada em Python*. 2017. URL: <https://github.com/gwiederhecker/pylef>.
- [18] *Function/Arbitrary Waveform Generator, USER MANUAL*. Model: 4052, 4053, 4054, 4055. BK Precision. 2018. URL: <http://www.bkprecision.com/products/signal-generators/4052-5-mhz-dual-channel-function-arbitrary-waveform-generator.html>.