

# Processamento Inteligente de Sinais – Semana 4 – Filtragem Digital

Michel Batistin Fiório – Matrícula: 48376  
Departamento de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, E-mail: mbfiorio@gmail.com

**Resumo** – Nesse trabalho veremos as definições básicas e algumas aplicações envolvendo filtros digitais. A tarefa de filtragem é uma parte muito importante do processamento de dados e sua correta aplicação pode representar um ganho significativo de tempo e qualidade nos treinamentos de modelos de inteligência artificial.

## I. INTRODUÇÃO

Em se tratando de processamento de sinais, os filtros são ferramentas que possuem as funções de separação de sinais, onde entra a remoção de partes indesejadas como ruídos, e também na recuperação de sinais, como realce de partes úteis, recuperação de gravações de áudio e melhoramento de imagens, por exemplo.

Existem dois tipos de filtros, os analógicos e os digitais [1]. Filtros analógicos usam componentes eletrônicos analógicos, são mais baratos e de desempenho inferior. São muito utilizados para redução de ruído, aprimoramento de sinal de vídeo e em equalizadores sonoros. Já os filtros digitais usam processadores digitais para atuar em sinais digitais. São basicamente programas de computador que realizam cálculos numéricos em valores amostrados do sinal analógico. Os filtros digitais possuem desempenho muito superior aos analógicos.

O que caracteriza um filtro é a sua resposta em frequência. Eles são projetados para permitir a passagem de determinadas frequências do sinal e bloquear outras frequências, mantendo as faixas de interesse e removendo as informações indesejadas.

Como exemplo, um filtro que permite a passagem de frequências mais baixas e atenua frequências altas é chamado de filtro passa-baixa. A resposta em frequência desse tipo de filtro é vista na “Figura 1”.

A “Figura 1” ilustra um filtro passa-baixa real. Nos filtros reais há sempre a existência de uma banda de transição entre as regiões onde o sinal é atenuado (banda de atenuação) e onde o sinal passa sem alterações (banda de passagem). Na faixa de transição o sinal é atenuado com uma taxa de decaimento. Essa banda de transição vai ser mais estreita quanto maior a ordem do filtro. Isso é inclusive um parâmetro importante na definição de projetos de filtros.

Na “Figura 2” podemos ver a resposta em frequência dos quatro diferentes tipos de filtros. São eles o filtro passa-baixa, o passa-alta, o passa-faixa e o rejeita-faixa. Através da resposta em frequência podemos analisar o comportamento do filtro nas regiões de interesse. Observe que a frequência de corte é

definida como o ponto onde a amplitude do sinal original é atenuada por um fator de 0,707.

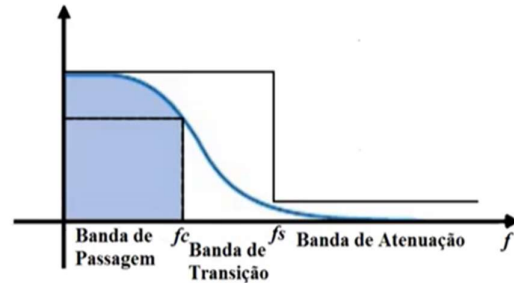


Fig. 1. Resposta em frequência de um filtro passa-baixa

No filtro passa-alta as frequências mais baixas do sinal são atenuadas enquanto as frequências mais altas estão na banda de passagem. No filtro passa-faixa a banda de passagem está localizada entre duas frequências limites, frequência inferior e frequência superior, sendo que as frequências fora desse intervalo são atenuadas. Já no filtro rejeita-faixa a resposta é inversa ao passa-faixa, ou seja, as frequências dentro do intervalo entre os dois limites são atenuadas enquanto todas as demais frequências estão na banda de passagem.

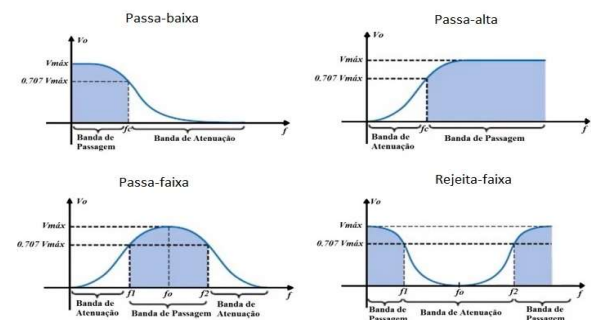


Fig. 2. Resposta em frequência dos diferentes modelos de filtros

Ao se projetar um filtro, além de escolher o modelo que se adequa a necessidade também se faz necessário a escolha do estilo do filtro [1]. O estilo do filtro se refere as relações de compromisso e as aproximações que foram usadas para as resoluções das equações de projeto do filtro. Isso se reflete em diferentes formas de onda na resposta em frequência do filtro e diferentes efeitos na curva da resposta no tempo do sinal filtrado.

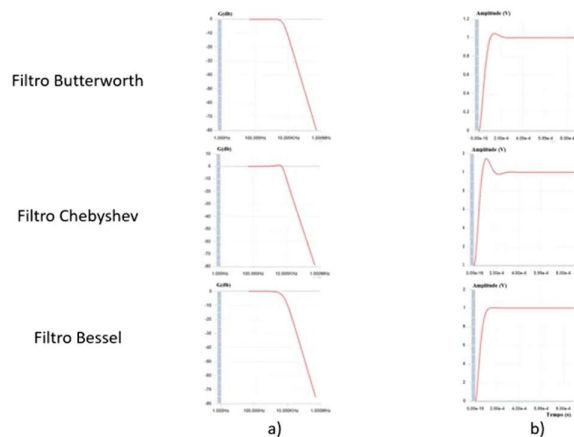


Fig. 3. Três estilos diferentes de filtro passa-baixa

Na “Figura 3” estão demonstradas as respostas no tempo e frequência de três estilos de filtros diferentes. Para simplificar optou-se por mostrar apenas as respostas de um filtro passa-baixa de segunda ordem com frequência de corte de 5 KHz. Mas as características de cada um desses estilos são compartilhadas com os outros modelos de filtros e de diferentes ordens.

O filtro Butterworth possui a característica de uma curva bem plana na banda de passagem e uma taxa de decaimento mediana, conforme visto na resposta em frequência dada pela imagem da esquerda (coluna a). O gráfico da coluna b se refere a resposta no tempo quando se aplica na entrada um sinal degrau unitário. Podemos ver nessa curva uma pequena variação da amplitude do sinal no início do degrau. A esse comportamento dá-se o nome de *Overshoot*.

O filtro Chebyshev possui como característica ter uma taxa de decaimento mais elevada na região de transição. Dessa forma ele consegue ser mais eficaz em atenuar frequências acima da frequência de corte. Em compensação ele gera um *overshoot* muito maior na resposta ao degrau unitário, além de possuir uma distorção nas frequências ao final da banda de passagem.

O filtro Bessel se destaca por não causar distorção nem na resposta em frequência e nem na resposta ao degrau unitário. Em compensação ele possui uma taxa de decaimento muito baixa, perdendo em eficiência de filtragem quando comparado com os demais.

## II. OBJETIVOS

Iremos implementar nesse trabalho alguns tipos de filtros digitais e mostrar sua aplicação prática com exemplos.

Na primeira atividade iremos utilizar um filtro passa-faixa butterworth para extrair um sinal senoidal puro de dentro de um sinal que contém ruído gaussiano.

Na segunda atividade iremos utilizar dois tipos distintos de filtros para remoção de informação espectral indesejada de um arquivo de música. Compararemos os resultados obtidos em cada caso.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaremos neste trabalho o software de código livre Octave para realização das operações matemáticas propostas.

Também utilizaremos um arquivo de áudio chamado *bird2fil.wav* que contém um trecho de uma música contaminada por microfonia.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira atividade desenhemos uma senoide de amplitude 1 e frequência 262 Hz. Ela pode ser vista no gráfico superior da “Figura 4”. Adicionamos um ruído gaussiano a esse sinal. A nova forma de onda com ruído pode ser vista na parte inferior da “Figura 4”. Note a amplitude muito mais elevada da mistura sinal e ruído.

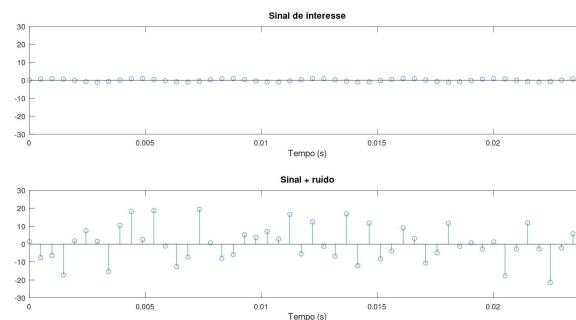


Fig. 4. Sinal de interesse puro e sinal de interesse com ruído

Através da transformada de Fourier analisamos o espectro do sinal com ruído. Ele pode ser visto na “Figura 5”. Observa-se a presença de ruídos em muitas faixas de frequências diferentes.

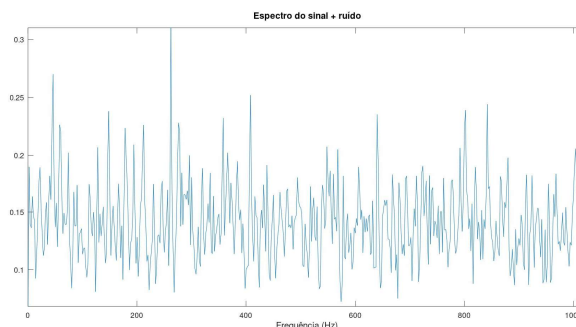


Fig. 5. Espectro do sinal de interesse com ruído

Como nosso objeto é extrair o sinal senoidal de dentro desse sinal ruidoso, projetaremos um filtro digital passa-faixa com frequência de centro igual a frequência do sinal de interesse (262 Hz). O filtro será do tipo butterworth de quarta ordem com frequência inferior 260Hz e superior 264Hz. A “Figura 6” mostra a resposta em frequência do filtro projetado.

Aplicamos o filtro ao sinal com ruído e o resultado da filtragem está desenhado na “Figura 7”. Observe que o sinal de

interesse foi recuperado completamente do meio ruidoso em que tinha sido inserido.

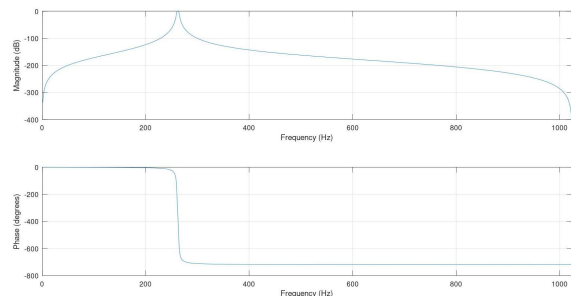


Fig. 6. Resposta em frequência do filtro passa-faixa projetado

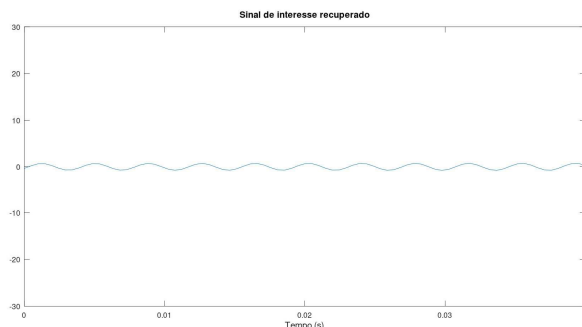


Fig. 7. Sinal de interesse recuperado após filtragem

Na segunda atividade, carregamos para o software Octave um trecho de uma música contaminada por microfonia. A microfonia aparece como um zumbido constante durante toda a amostra. Na “Figura 8” está o espectro dessa música e podemos ver claramente uma amplitude desproporcional presente na frequência de 5000 Hz. Essa é a frequência do sinal da microfonia.

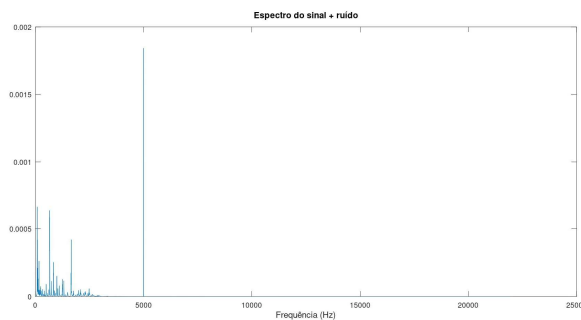


Fig. 8. Espectro do trecho de música contaminado com microfonia.

Identificado a frequência do sinal que desejamos remover, iniciaremos tentando aplicar um filtro passa-baixa do tipo *butterworth* de quarta ordem e com frequência de corte de 4000Hz.

A “Figura 9” mostra a resposta em frequência do filtro projetado e a “Figura 10” o sinal de áudio resultante após a filtragem. Observe que ocorreu uma atenuação significativa na amplitude do sinal da microfonia. Ao se escutar o áudio filtrado pode-se perceber que a microfonia ainda se encontra

presente, embora bastante atenuada. Além disso, o áudio apresenta uma experiência sonora mais abafada uma vez que o filtro passa-baixa retirou praticamente toda a informação de alta frequência da música.

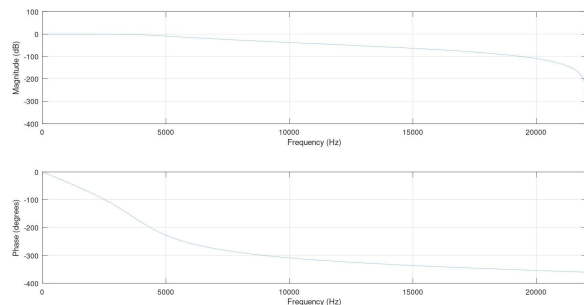


Fig. 9. Resposta em frequência do filtro passa-baixa projetado

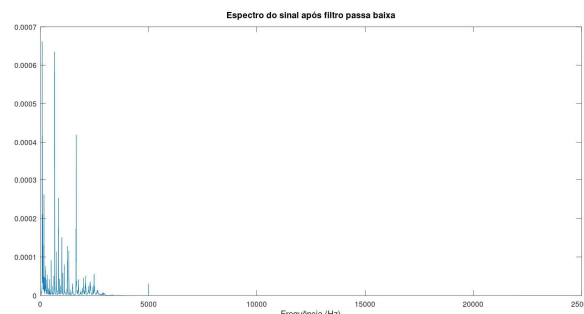


Fig. 10. Espectro do trecho de música após passar pelo filtro passa-baixa

Realizaremos agora a aplicação de um filtro rejeita-faixa nesse áudio para compararmos com o resultado obtido pelo filtro passa-baixa. O filtro será do tipo *butterworth* de quarta ordem e com a banda de atenuação ajustado para a frequência de 5000hz.

A “Figura 11” mostra a resposta em frequência do filtro projetado e a “Figura 12” o sinal de áudio resultante após a filtragem.

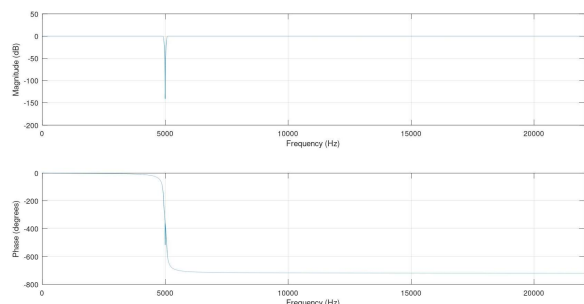


Fig. 11. Resposta em frequência do filtro rejeita-faixa projetado

Observa-se pela “Figura 12” que a microfonia foi totalmente atenuada pelo filtro. A experiência sonora do áudio nesse caso comprovou que a qualidade original foi mantida após a filtragem, uma vez que as frequências mais altas foram preservadas.

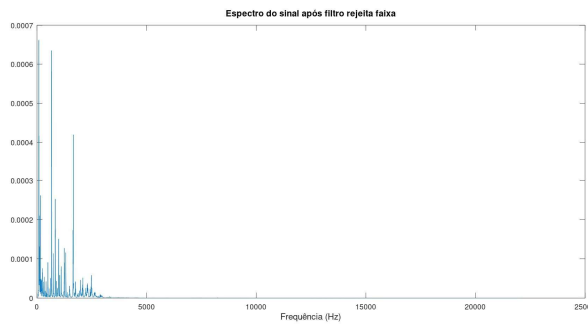


Fig. 12. Espectro do trecho de música após passar pelo filtro rejeita-faixa

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado nesse trabalho um resumo da base teórica dos filtros digitais e exemplos da aplicação dessa ferramenta em diferentes sinais.

As aplicações dos filtros em Inteligência Artificial são muito diversas e úteis, principalmente quando trabalhando com quantidade massiva de dados. Apesar de conseguir naturalmente lidar com certo limite de dados ruidosos, o treinamento de algoritmos de IA pode-se tornar mais rápido e convergir em melhores modelos quando trabalhando com dados filtrados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Felix, Leonardo B., Apostila do curso ELT576 – Processamento Inteligente de Sinais, não publicado.