

Processamento digital de sinais de áudio com aplicação de filtros para redução de ruídos.

Iago O. Lima¹, Francisco F. da Silva¹, Paulo A. C. Aguiar¹

¹Universidade Federal do Ceará – Campus Quixadá (UFC-Quixadá)
Av. José de Freitas Queiroz, 5003 – Cedro – Quixadá – Ceará 63902-580

{iago.oliveira, felipesilva543}@alu.ufc.br, cavalcante.aguiar@gmail.com

Abstract. *This paper reports procedures and results obtained through the use of Octave software tools in the digital processing of audio signals.*

Resumo. *Este artigo relata procedimentos e resultados obtidos através da utilização da ferramentas de software Octave no processamento digital de sinais de áudio.*

1. Introdução

Durante toda nossa vida fazemos o uso da nossa percepção auditiva, o ponto é que a audição é muito importante em nosso cotidiano, e estamos sempre expostos a diversos sinais sonoros no dia a dia. Ouvir uma música enquanto fazemos nossas tarefas diárias é um dos casos mais simples do uso de sinais sonoros, assim como assistir um filme ou conversar com outras pessoas.

Em todo sistema de comunicação o ponto principal é transmitir a informação de um ponto a outro, mas ao realizar essa transmissão pode ocorrer diversos problemas com o sinal, um ruído pode danificar o sinal e deixar-lo incompreensível ou bem diferente quando comparando com o original.

Com estudos de processamentos de sinais, existem sistemas que efetuam diversas operações sobre esses sinais sonoros, com o objetivo de melhorar a qualidade do áudio.

“Filtros digitais são sistemas que efetuam uma série de operações matemáticas em um sinal digital discreto, de modo a reduzir ou ampliar características específicas deste sinal.”[HAMMING 1997]

“Uma das formas mais comuns de processamento do sinal de áudio consiste em sua filtragem em relação as frequências do sinal. Muitas vezes a filtragem tem por objetivo tornar o sinal de áudio (uma música, por exemplo) mais agradável ao ouvinte.”[da SILVA 2018]

De forma mais abrangente, não apenas em músicas esses filtros podem ser aplicados em áudios de filmes ou de conversas. Este artigo fará uma comparação da aplicação de alguns filtros em áudios utilizando a plataforma do Octave, que dá suporte ao processamento de sinais.

2. Fundamentação teórica

2.1. Processamento de Sinais

O processamento de sinais consiste em analisar e/ou modificar um sinal utilizando teorias fundamentais, aplicação e algoritmos.

“O processamento digital de sinais propriamente dito, é uma tecnologia, uma ciência, uma série de conceitos abstratos que se traduz na aplicação de algoritmos computacionais para a realização de operações específicas sobre dados digitais.”[PUHLMANN 2014]

O processamento de sinais pode ser usado na filtragem digital de sinais, tratamento de áudios, reconhecimento de padrões em imagens, reconhecimento e síntese de voz, entre outras aplicações.

O processamento de sinais pode ser feito de forma analógica ou digital. De modo analógico os componentes eletrônicos estão sujeitos às variações de condições ambientais, tais como temperatura e umidade, sendo assim necessário o uso de procedimentos para corrigir erros decorrentes dessas variações. De modo digital os sinais não sofrem mais tais variações facilitando assim o tratamento e processamento dos sinal.

Os sinais podem ser classificados em contínuos ou discretos.

“Os sinais analógicos são por natureza contínuos no tempo. São teoricamente constituídos por uma sequência de infinitos pontos. Quando digitalizamos esses sinais, eles passam por um processo conhecido por amostragem e são transformados numa sequência finita de pontos discretos.”[PUHLMANN 2014]

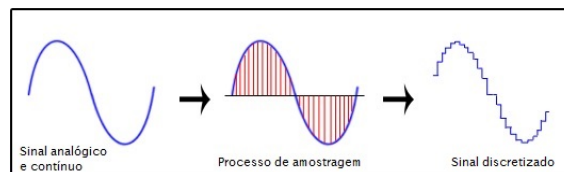


Figura 1. Transformação do sinal analógico em discreto.

Analisando a figura 1, podemos ver que ao transformar o sinal de contínuo para discreto não temos uma representação perfeita, mas isso traz a vantagem de poder adequar o tamanho do sinal a ser processado à capacidade limitada de memória dos processadores.

2.2. Filtros

Os filtros são utilizados para remoção de partes indesejadas do sinal, como ruídos, ou podem ser utilizadas para extrair partes importantes do sinal e para recuperação de sinais.

2.2.1. Filtros Analógicos

Os filtros analógicos são circuitos basicamente construídos a partir de resistores, amplificadores e capacitores. São muito utilizados para aplicações como redução de ruídos e realce de sinal.

2.2.2. Filtros Digitais

Os filtros digitais utilizam processamento digital para realizar cálculos numéricos em cima das amostras dos sinais, os filtros podem ser representados de três formas, resposta em frequência, resposta a impulso e resposta a degraus.

O processo de filtragem digital acontece na forma esquematizada pelo diagrama apresentado a seguir:

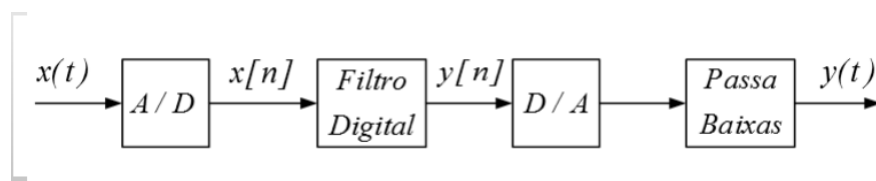


Figura 2. Filtros Digitais.

$x(t)$ é o sinal original, no bloco de conversão A/D temos a conversão do sinal de tempo contínuo para um sequencia no tempo discreto, o filtro digital processa a sequencia $x[n]$, resultando em $y[n]$, que representa o sinal filtrado na forma digital. O sinal $y[n]$ é então convertido para um sinal de tempo contínuo por uma segunda conversão A/D e reconstituídos através de um filtro passa-baixa, a saída é um sinal $y(t)$, que é a versão filtrada do sinal $x(t)$.

No domínio da frequência podemos classificar os filtros em: passa-baixa, passa-alta, passa-faixa, rejeita-faixa, representados respectivamente na figura 3.

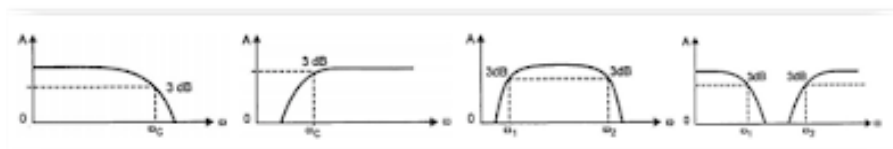


Figura 3. Filtros no domínio da frequência.

Também podemos representar os filtros digitais com relação ao comprimento da resposta ao impulso em resposta finita ao impulso (FIR) e resposta infinita ao impulso (IIR) ou de representar de acordo com o seu comportamento, que podem ser recursivos ou não recursivos. Os filtros recursivos levam em consideração para a resposta valores atuais e anteriores da entrada e da resposta, já os não recursivos levam em consideração as amostras atuais e anteriores somente da entrada.

2.2.3. Filtro FIR

O filtro FIR é um filtro digital de resposta ao impulso finito caracterizado por uma resposta ao impulso que se torna nula após um tempo finito. Esse tipo de filtro possui a seguinte função de transferência:

$$H(z) = \sum_{k=0}^M h[k]z^{-k}$$

O filtro FIR tem a seguinte estrutura básica:

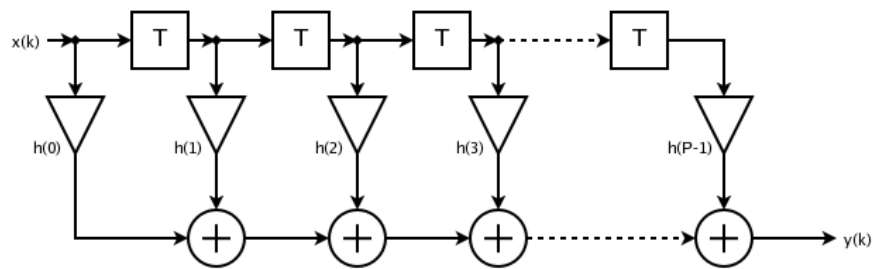


Figura 4. Estrutura básica FIR.

2.2.4. Janela de Hamming

Essa função de janela ajuda na medição de ruído, para uma melhor resolução na frequência desejada.

As funções de janela de Hamming tem um formato senoidal, essa janela resulta em um pico central amplo e laterais pequenas, a janela de Hamming não chega a zero, deixando dessa forma uma pequena descontinuidade no sinal.

É definida por:

$$w[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right), & 0 \leq n \leq M \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Figura 5. Definição Hamming

2.3. Filtro IIR

A resposta ao impulso infinito (IIR) é uma propriedade que se aplica a muitos sistemas lineares invariantes no tempo. Exemplos comuns de sistemas lineares invariantes no tempo são a maioria dos filtros eletrônicos e digitais.

Sistemas com essa propriedade são conhecidos como sistemas IIR ou filtros IIR, e são distinguidos por terem uma resposta ao impulso que não se torna exatamente zero após um certo ponto, mas continua indefinidamente. Isto está em contraste com uma resposta de impulso finita (FIR) na qual a resposta de impulso $h(t)$ se torna exatamente zero em tempos $t > T$ para algum T finito, sendo assim de duração finita.

Este tipo de filtro possui a seguinte função de transferência:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

O filtro IIR possui a seguinte estrutura básica:

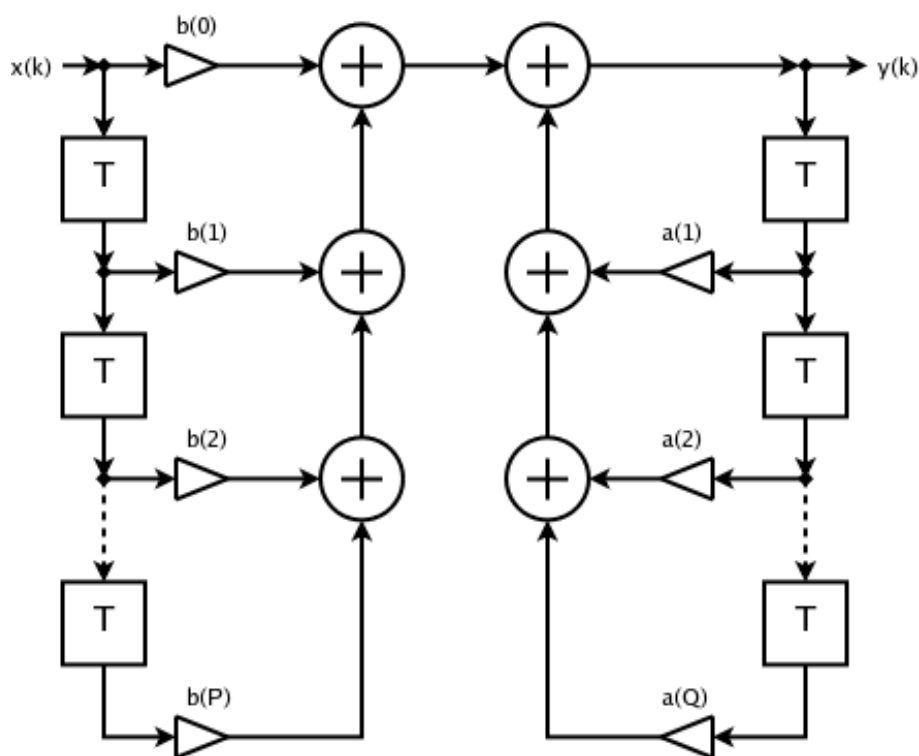


Figura 6. Estrutura básica IIR.

2.4. Filtro de Butterworth

O filtro Butterworth é um tipo de filtro de processamento de sinal projetado para ter uma resposta de frequência mais plana possível na banda passante. É também referido como um filtro de magnitude máxima plana. Foi descrito pela primeira vez em 1930 pelo engenheiro e físico britânico Stephen Butterworth em seu artigo intitulado “*On the Theory of Filter Amplifiers*” [Butterworth 1930].

3. Octave

O Octave é um software livre licenciado sob a GNU General Public License (GPL). Muito utilizado para para solução de problemas lineares e não-lineares através de uma interface em linha de comando. É uma das alternativas para aplicação de trabalhos com filtros digitais.

4. Aplicação

Para nossas análises foram utilizados o filtro FIR com a janela de Hamming e o filtro de Butterordth. Aplicados em uma faixa de áudio que apresenta bastante ruído.

O gráfico do áudio original no tempo pode ser visto na imagem a seguir:

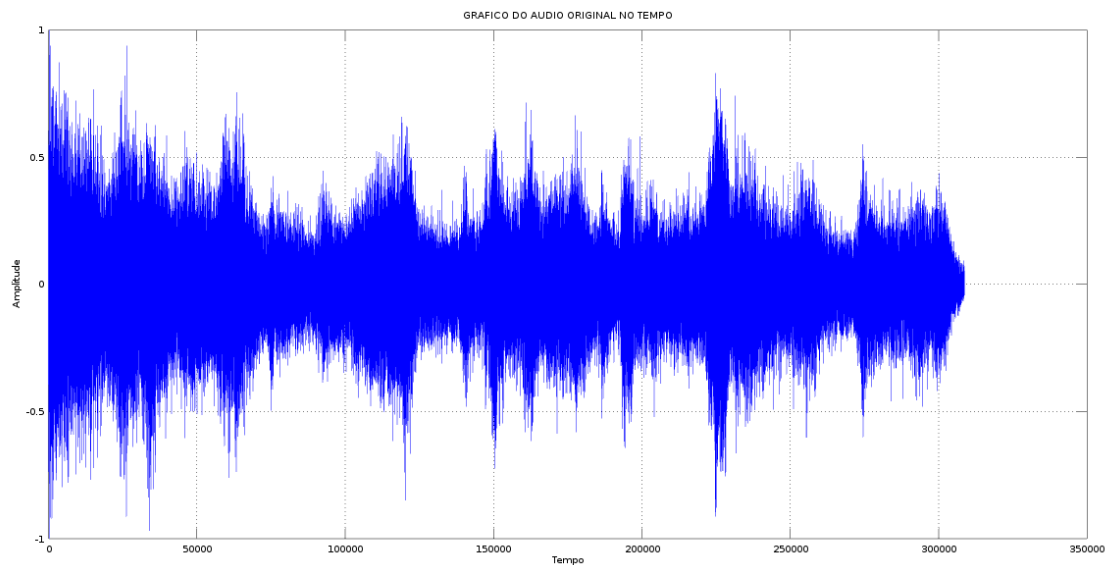


Figura 7. Gráfico do áudio original no tempo.

4.1. Filtro FIR com janela de Hamming

Utilizando o a função *fir1* do Octave que está contido no pacote signal da plataforma, percebemos que a janela de Hamming deveria ter uma ordem de aproximadamente 20 e frequência de corte normalizada de 0.11, logo depois passamos o filtro para o domínio da frequência como mostra o trecho de código a seguir:

```
20 num = fir1(20,[0.11]);
21 [H,w] = freqz(num, 1, 512, fs);
```

Figura 8. Código da criação da janela de Hamming e passagem para o domínio da frequência.

Logo após, convolucionamos o sinal original (aqui chamado de *y_sub*) com a frequência de corte (*w*) dada pela transformação do filtro para o domínio da frequência, como mostrado a seguir:

```
23 y_teste = conv(w, y_sub);
```

Figura 9. Código da convolução entre os sinais.

A seguir o gráfico do áudio filtrado no tempo:

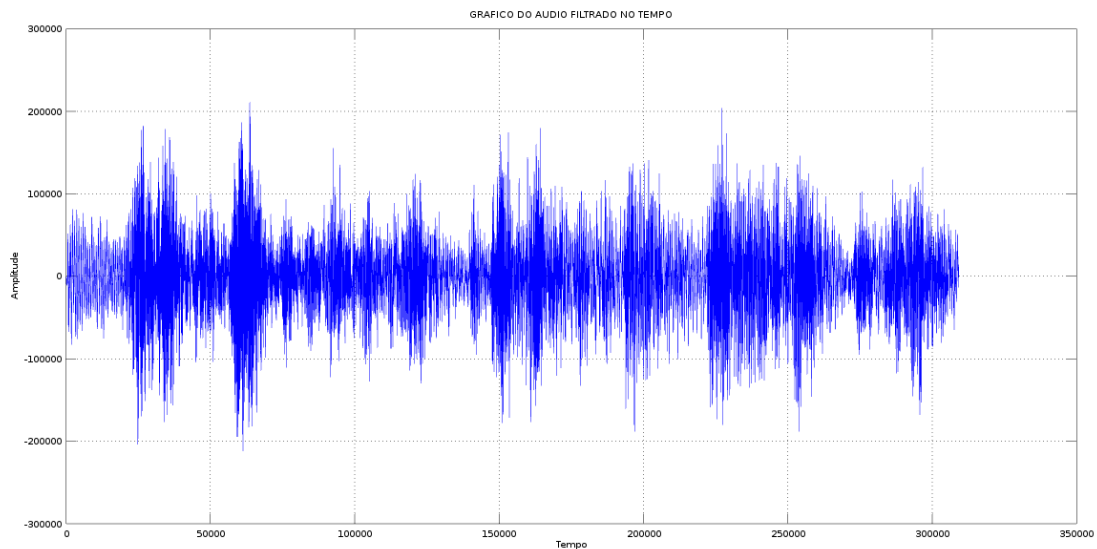


Figura 10. Gráfico do áudio filtrado no tempo.

4.2. Filtro de Butterworth

Aplicamos a mesma ordem e a mesma frequência de corte normalizada que o filtro FIR com janela de Hamming, 20 e 0.11 respectivamente, e passamos o filtro para o domínio da frequência, como mostra o trecho de código a seguir:

```
9 [num, den] = butter(20, 0.11);
10 [H,W] = freqz(num, den, 512, fs);
```

Figura 11. Criação do filtro de Butterworth.

Depois utilizamos a função *filter* para aplicar o filtro no sinal (aqui chamamos o sinal de *x*) e aplicamos a função *fft* (*Fast Fourier Transform*) no sinal obtido da função *filter*, como mostrado a seguir:

```
13 p = filter(num, den, x);
14 P = fft(p);
```

Figura 12. Aplicação do filtro de Butterworth e transformada rápida de Fourier.

A seguir o gráfico do áudio filtrado no tempo:

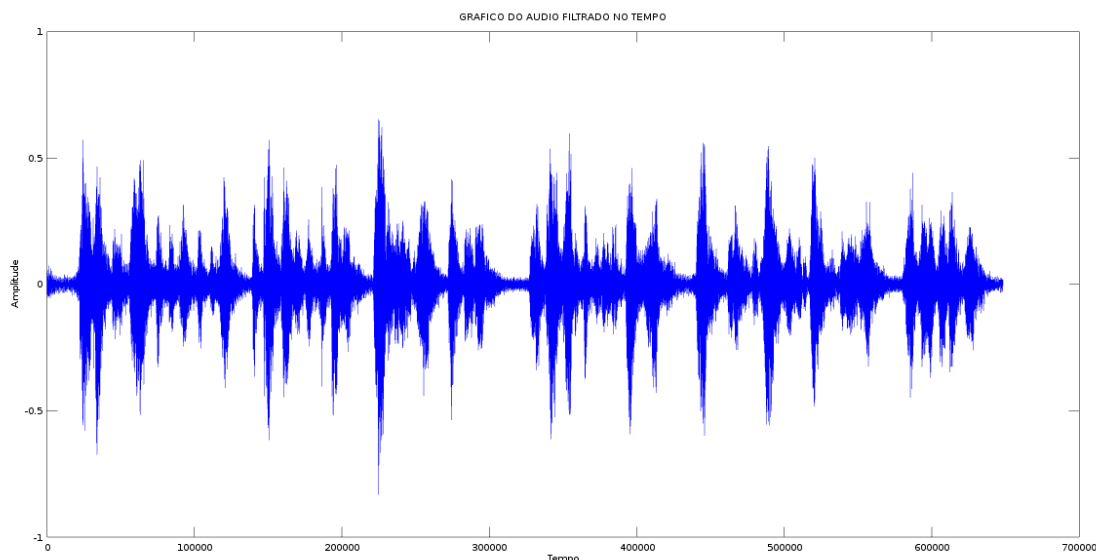


Figura 13. Gráfico do áudio filtrado no tempo.

5. Conclusão

Com a aplicação do filtro FIR com a janela de Hamming, conseguimos um melhoramento do áudio, mas o resultado não tão satisfatório pois ainda conseguimos escutar os ruídos em algumas partes do áudio, mesmo tendo diminuído de forma considerável.

Já com a aplicação do filtro de Butterworth o áudio de saída (filtrado) teve um resultado superior ao áudio aplicado ao Filtro FIR com janela de Hamming, pois não é possível identificar nenhum ruído do áudio original.

Implementação disponível em: <https://github.com/iago-lima/FiltrosAudio>

Referências

- Butterworth, S. (1930). *On the Theory of Filter Amplifiers*. 7rd ed. In *Wireless Engineer* (also called *Experimental Wireless and the Wireless Engineer*).
- da SILVA, M. A. G. (2018). *Filtros Digitais Aplicados em Sinais de Audio*. <http://www.gcg.ufjf.br/pub/doc49.pdf>.
- HAMMING, R. W. (1997). *Digital Filters*. 3rd ed. Dover Publications.
- PUHLMANN, H. F. W. (2014). *Processamento Digital de Sinais - DSP - Parte I*. <https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-processamento-digital-de-sinais-dsp-parte-1/>.