

Trabalho Prático 1 PDS

Nuno José Gomes Rodrigues a85207

26 de Abril de 2020

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Conceitos teóricos	3
2.1	Amostragem	3
2.2	Decimação	3
2.3	Aliasing	5
2.4	Filtro Elíptico	6
3	Código Matlab	7
4	Testes	9
4.1	N=2	10
4.2	N=3	12
4.3	N=4	14
4.4	N=5	16
4.5	N=6	18
4.6	N=7	20
4.7	N=8	22
5	Conclusão	24
6	Repositório online	24

1 Introdução

Este trabalho incide na alteração da frequência de amostragem por amostragem discreta de um sinal contínuo amostrado, transformada-z e filtros digitais. Para o efeito, será implementado um módulo em Matlab que permite fazer a sub amostragem de um sinal de áudio de forma a que a representação de este sinal amostrado ocupe menos memória e exija menos cálculos no seu processamento. Este é o método estudado de decimação. Ao resultado desta decimação poderá ser necessário o uso de um filtro passa-baixo na eventualidade na ocorrência de "aliasing". No âmbito deste trabalho será utilizado o filtro elíptico e este terá as seguintes especificações:

- Ripple na banda passante de 40 dB
- Ripple na banda de rejeição de 60 dB
- Largura de banda de transição de 20% da banda passante.

Quanto ao sinal utilizado, trata-se de um sinal áudio amostrado a 8kHz.

2 Conceitos teóricos

2.1 Amostragem

Para um sinal poder ser processado digitalmente, este tem de ser amostrado a uma certa frequência, isto é, transformar um sinal contínuo em um sinal discreto. Este sinal discreto pode ser digitalmente armazenado e alterado.

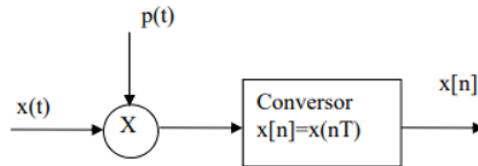


Figura 1: Diagrama de blocos da Amostragem

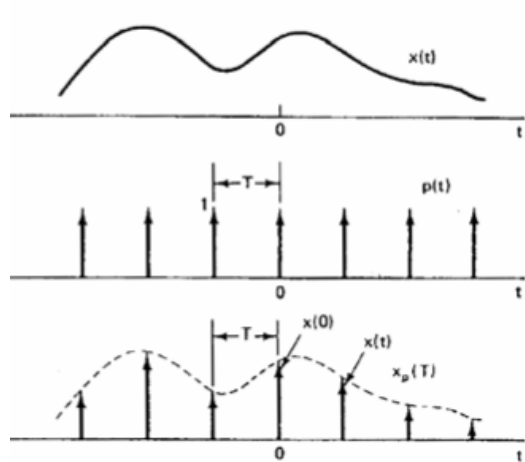


Figura 2: Amostragem

A amostragem consiste na multiplicação do sinal por um trem de impulsos, tal como se pode ver na figura 1. Na figura 2 é possível ver o resultado desta multiplicação.

2.2 Decimação

Uma vez tendo obtido e armazenado a representação discreta do sinal parte-se para o processamento deste. Este processamento será muito pesado uma vez que está a ser realizado em toda a informação do sinal, o que geralmente não é necessário. Então, para baixar a

memória que o sinal ocupa e a quantidade de processamento necessário, é feita a decimação do sinal, que consiste em reduzir o número de amostras deste por um fator N , ou seja, quanto maior o valor de N , menos amostras terá o sinal.

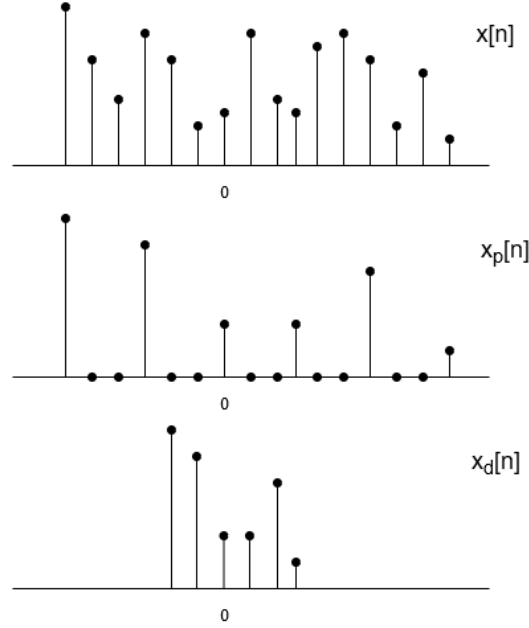


Figura 3: Decimação no domínio dos tempos com fator $N=3$

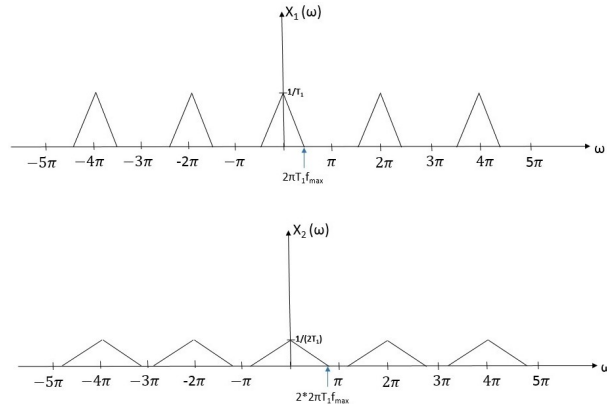


Figura 4: Decimação no domínio das frequências sem ocorrência de aliasing

2.3 Aliasing

Aquando à decimação pode ocorrer o fenómeno de "aliasing" que consiste na sobreposição do espetro de duas amostras diferentes. Estas sobreposições de espetros provocam distorções ao sinal que não permitirão que o sinal recuperado seja o sinal inicial.

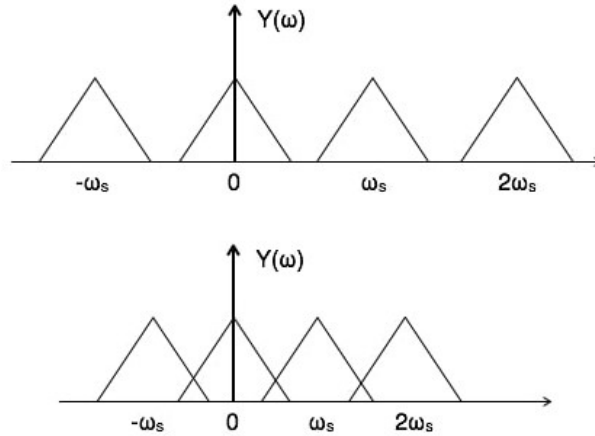


Figura 5: Decimação no domínio das frequências com ocorrência de aliasing

Segundo o teorema de Nyquist, para que não aconteça aliasing, a frequência de amostragem deve ser maior que duas vezes a maior frequência do sinal amostrado. Em termos ideais, para evitar o aliasing pode-se utilizar um filtro passa-baixo com frequência de corte de π/N . Este filtro não é realizável devido à sua natureza não causal.

2.4 Filtro Elíptico

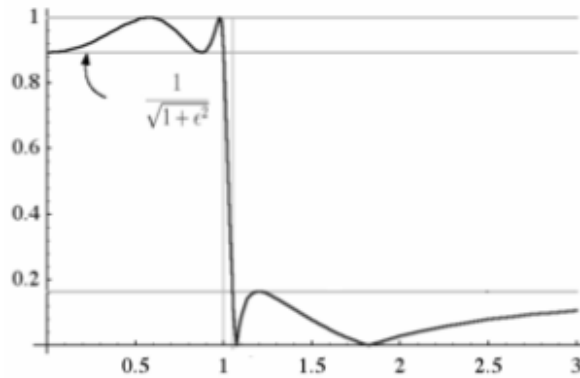


Figura 6: Diagrama de Amplitude de um Filtro Elíptico

- A banda de transição do filtro elítico tem uma razão de $N \cdot 20 \text{ dB/dec}$, sendo N a ordem do filtro e continua ainda depois de ω_s .
- Ao contrário de outros filtros, o elítico para além de possuir polos na banda de transição, possui também zeros.
- Este filtro possui um polo imaginário colocado perto de ω_s , o que faz aumentar o declive da banda de transição, precisando de menor ordem para obter resultados tão bons como outros filtros de ordens maiores.
- Ao contrário de outros filtros, o filtro elítico possui ripple na banda passante e na banda de rejeição. Se o ripple na banda passante for muito baixo, este filtro aproxima-se de um filtro Chebyshev tipo 2. Se o ripple na banda de rejeição foi muito baixo, este filtro aproxima-se de um filtro Chebyshev tipo 1. Se ambos os ripples forem muito baixos, aproxima-se de um filtro Butterworth.
- A fase do filtro Elítico é muito pouco linear.

3 Código Matlab

```

load handel.mat
N=1;
Fs=8000;
%%=====
%%                                CAPTAÇÃO DE SOM                                %%
%%=====
som = audiorecorder(8000,16,1);    %% Fs=8000Hz, nBits = 16, 1 canal -> Cria um objeto
recordblocking(som, 10);          %% Grava durante 10 segundos
double_som= getaudiodata(som);    %% Converte o objeto de audio em double, permitindo reproduzir, visualizar e manipular

figure
plot(double_som);
title('Sinal de som original');
xlabel('Tempo');
ylabel('Amplitude');
figure
freqz(double_som);
title('Diagrama de bode do sinal de som original');
filename = 'som_original.wav';
audiowrite(filename,double_som,Fs);
for N=2: 8
    Fs=8000/N;
    %%=====
    %%                                DECIMAÇÃO SEM FILTRAGEM                                %%
    %%=====

    decimado_nao_filtrado=decimacao(double_som,N);
    figure
    plot(decimado_nao_filtrado);
    title(sprintf('Sinal de som nao filtrado com N=%d',N));
    figure
    freqz(decimado_nao_filtrado);
    title(sprintf('Diagrame de bode do sinal de som não filtrado com N=%d',N));
    filename=sprintf('NaoFiltradoN=%d.wav',N);

    audiowrite(filename,decimado_nao_filtrado,round(Fs));
    %%=====
    %%                                DESIGN DO FILTRO                                %%
    %%=====
    banda_passante=pi/N;
    banda_rejeicao= banda_passante + 0.2*banda_passante;
    Wp= 2*tan(banda_passante/2);

```

<pre> %%===== %% DESIGN DO FILTRO %% %%===== banda_passante=pi/N; banda_rejeicao= banda_passante + 0.2*banda_passante; Wp= 2*tan(banda_passante/2); Ws= 2*tan(banda_rejeicao/2); Rp=-20*log10(1-0.01); %%Ganho 1 (1) ripple de 40 db (0.01) Rs=60; [n,Wp]=ellipord(Wp,Ws,Rp,Rs,'s'); [b,a]=ellip(n,Rp,Rs,Wp,'s'); [numd,dend]=bilinear(b,a,1); figure freqz(numd,dend); title(sprintf('Diagrama de Bode do filtro para N=%d',N)); %%===== %% DECIMAÇÃO COM FILTRAGEM %% %%===== </pre>	
<pre> %% APLICAÇÃO DO FILTRO sinal_filtrado=filter(numd,dend,double_som); figure plot(sinal_filtrado); title('Sinal de som filtrado não decimado'); figure freqz(sinal_filtrado); title('Diagrama de bode do sinal de som filtrado não decimado'); %%DECIMAÇÃO sinal_final=decimacao(sinal_filtrado,N); figure plot(sinal_final); title(sprintf('Sinal de som filtrado decimado com N=%d',N)); figure freqz(sinal_final); title(sprintf('Diagrama de bode do sinal filtrado decimado e com N=%d',N)); filename=sprintf('FiltradoN=%d.wav',N); audiowrite(filename,sinal_final,round(Fs)); </pre>	

end

```

function y=decimacao(sinal,N)

for i=1 : (length(sinal)/N)
    y(i)=sinal(N*i);    %% xd[n] = x[nN]
end;

```


4 Testes

A amostra de som utilizada foi obtida diretamente pelo Matlab, recorrendo ao uso das seguintes funções: `audiorecord`, `recordblocking` e `getaudiodata`. Estas funções permitem respetivamente gravar som à frequência desejada, neste caso 8KHz, recolher amostra de som do tempo desejado, neste caso 10 segundos e passar o objeto de som para uma variável manipulável pelo Matlab. Para melhor facilidade de reconhecimento de mudanças a nível audível, o som escolhido foi uma música, "Sleeping Dogs" de Zakk Wylde. Inicialmente testou-se o som sem sub amostrar, de seguida testou-se o filtro, depois a sub amostragem do sinal de som, e finalmente a aplicação do filtro seguida da sub amostragem. Para esse efeito, a frequência de Amostragem que inicialmente era de 8KHz, vai ser alterada a cada fator N de sub amostragem. Passa então a ser $8000/N$.

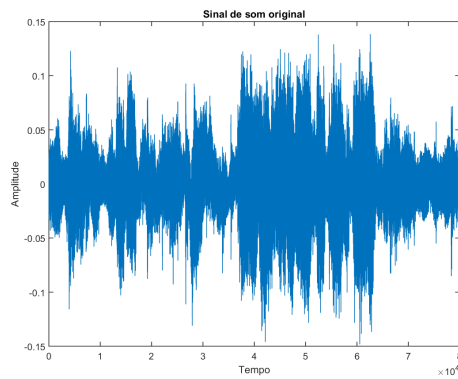


Figura 7: Sinal Original

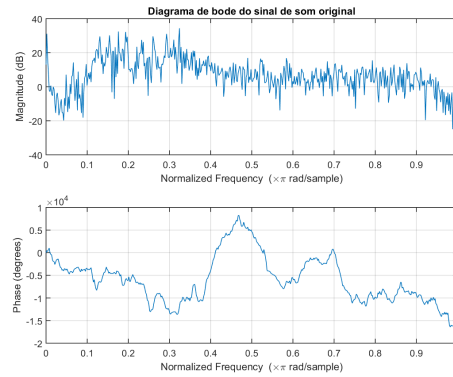


Figura 8: Diagrama de bode do Sinal Original

4.1 N=2

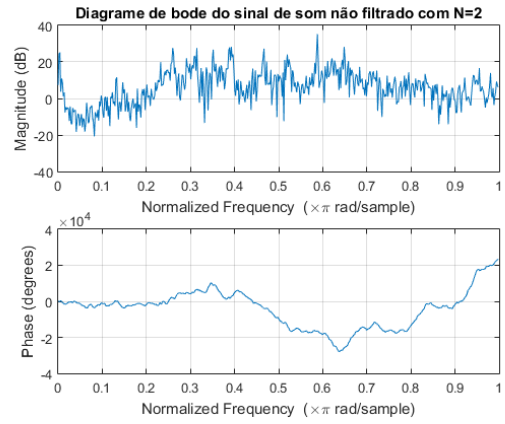
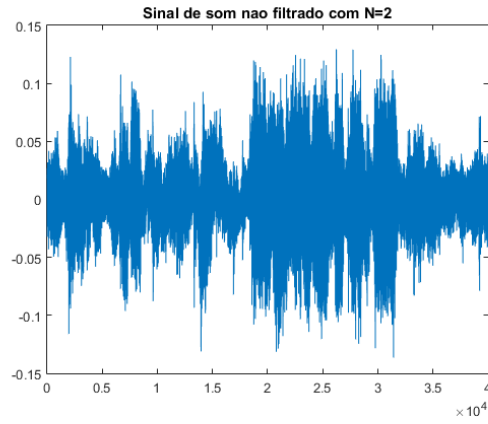


Figura 9: Sinal para N=2

Figura 10: Diagrama de bode para N=2

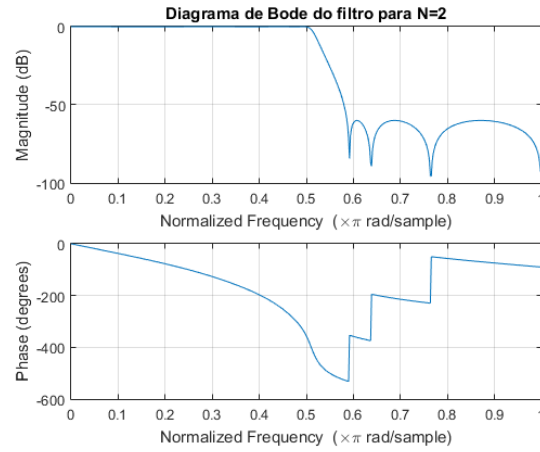


Figura 11: Diagrama de bode do filtro para N=2

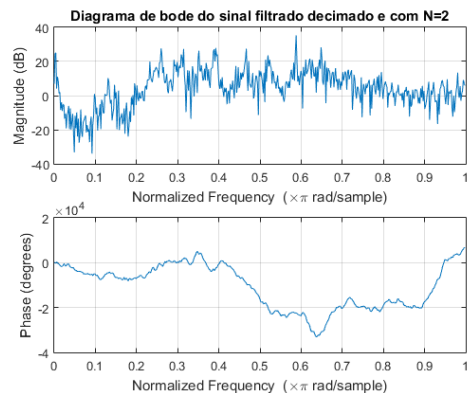
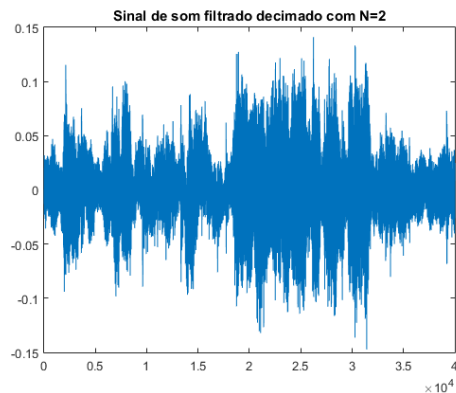


Figura 12: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=2

Figura 13: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=2

Para o fator de decimação $N=2$, o sinal continua audível e agradável ao ouvido quer no sinal filtrado como no sinal não filtrado. As diferenças entre os dois sinais são pouco notórias. Todos os instrumentos se ouvem claramente. A diferença em relação ao sinal original é que para $N=2$ ambos os sinais têm um tom um pouco mais grave, quase como se estivessem a ser ouvidos como vindo debaixo de água.

4.2 N=3

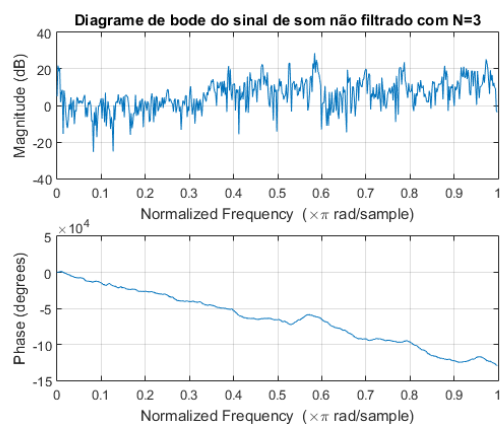
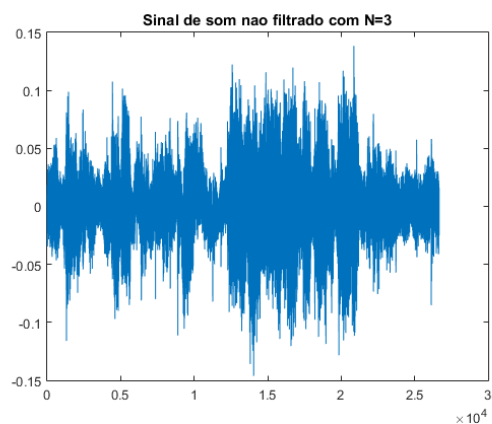


Figura 14: Sinal para N=3

Figura 15: Diagrama de bode para N=3

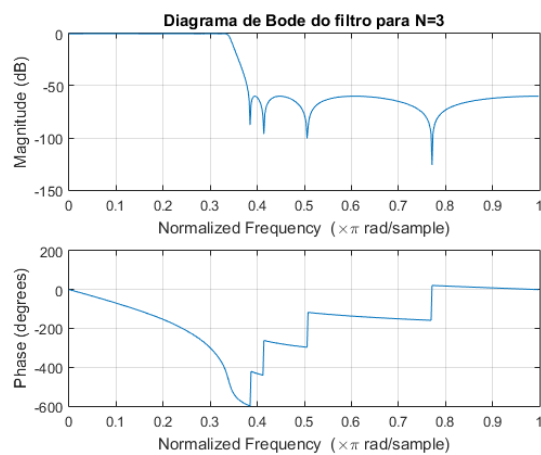


Figura 16: Diagrama de bode do filtro para N=3

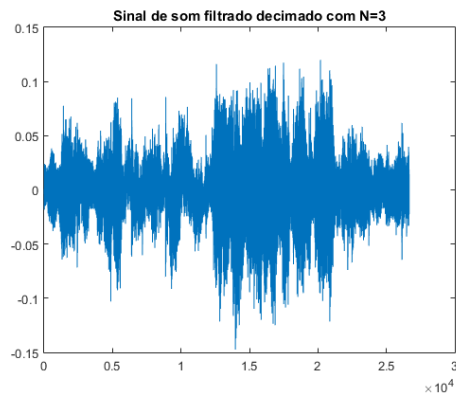


Figura 17: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=3

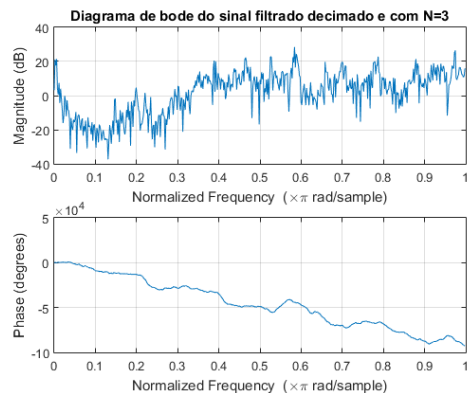


Figura 18: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=3

Para o fator de decimação $N=3$, começam a ser audíveis algumas diferenças entre o sinal filtrado e o sinal não filtrado. Ambos os sinais ficaram mais graves aparecendo algumas interferências no sinal não filtrado. A nível musical, no sinal não filtrado já não se conhece o som da guitarra, parecendo apenas um som de fundo e a letra passa a não ser perceptível. Quanto ao sinal filtrado, todos os instrumentos se ouvem e a voz continua a ser reconhecível.

4.3 N=4

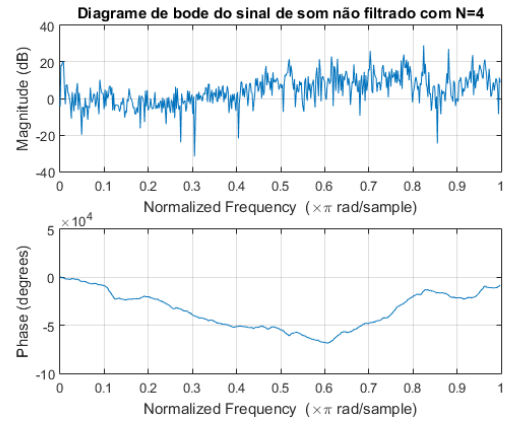
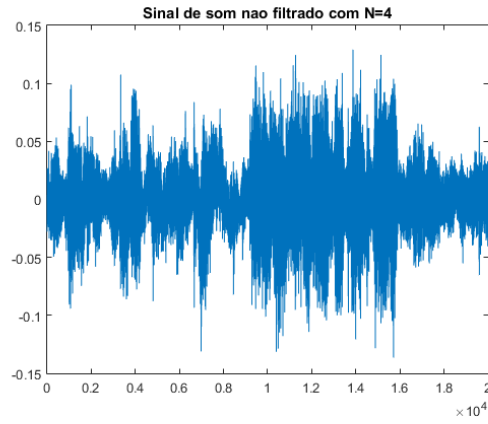


Figura 19: Sinal para N=4

Figura 20: Diagrama de bode para N=4

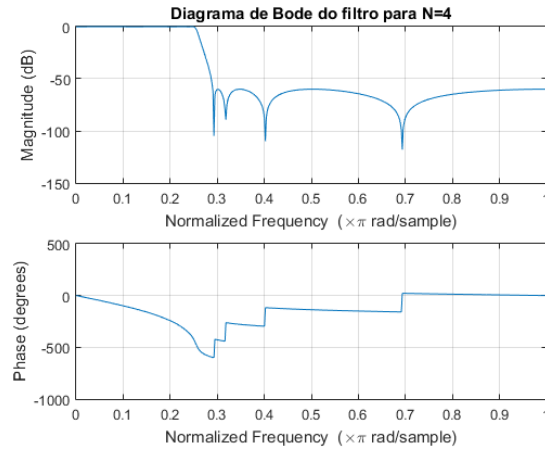


Figura 21: Diagrama de bode do filtro para N=4

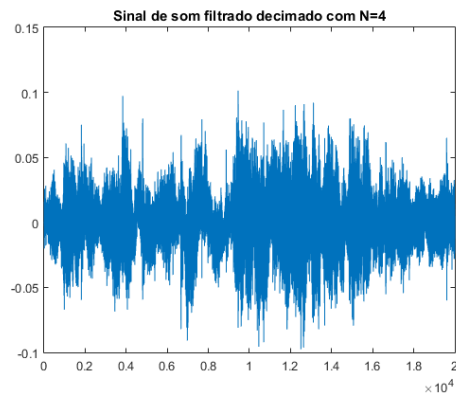


Figura 22: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=4

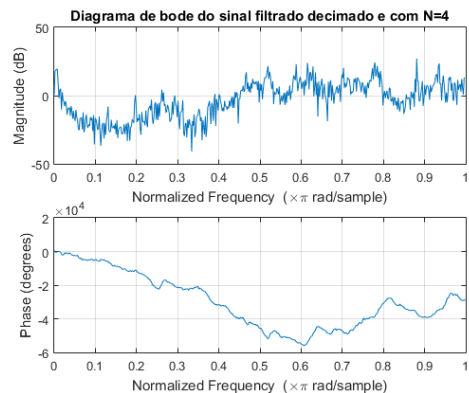


Figura 23: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=4

Para o fator de decimação $N=4$, as diferenças entre o sinal filtrado e não filtrado aumentam. O sinal não filtrado começa agora a ser não agradável ao ouvido visto que apresenta já bastante ruído. O sinal filtrado passa agora a ter uma parte aguda presente no seu todo, deixando também de ser agradável ao ouvido. A nível da música, no sinal não filtrado continua a ouvir-se um pouco a voz ainda que não perceptível e perdem-se algumas batidas da bateria no momento de maior intensidade musical. No sinal filtrado continua a ser perceptível a letra e a bateria, mas não a guitarra.

4.4 N=5

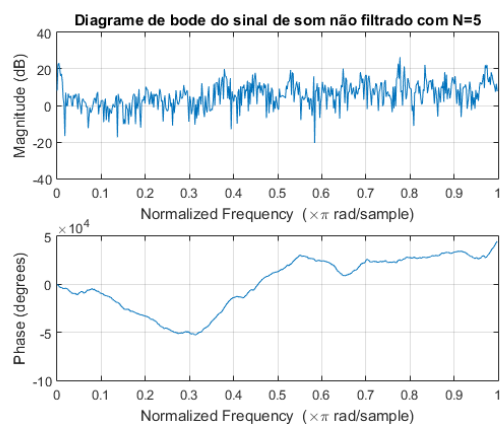
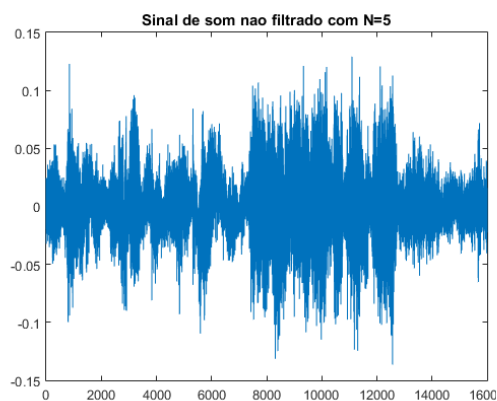


Figura 24: Sinal para N=5

Figura 25: Diagrama de bode para N=5

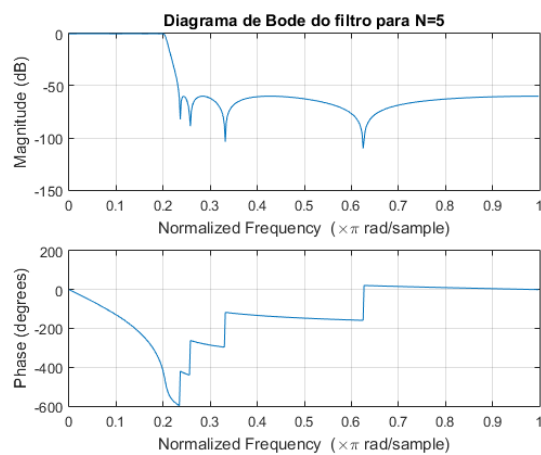


Figura 26: Diagrama de bode do filtro para N=5

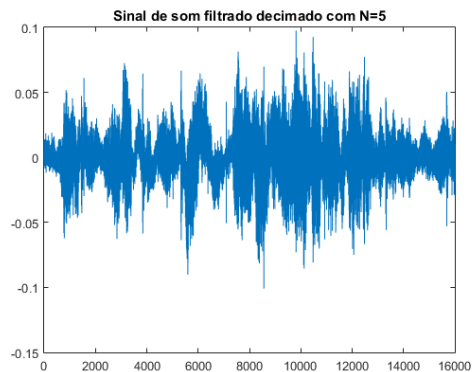


Figura 27: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=5

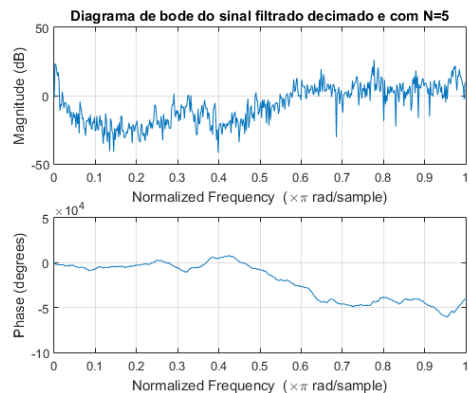


Figura 28: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=5

Para o fator de decimação $N=5$, as diferenças entre o sinal filtrado e não filtrado aumentam ainda mais. O sinal não filtrado ganha bastante ruído enquanto que o sinal filtrado perde agora a componente aguda que anteriormente tinha aparecido, ficando novamente agradável ao ouvido ainda que parecendo um pouco distante e como que estivesse debaixo de água. A nível musical, no sinal não filtrado apenas resta um pouco da melodia e poucas batidas da bateria, enquanto que no sinal filtrado a letra e a bateria continuam perceptíveis e mantém grande parte da melodia.

4.5 N=6

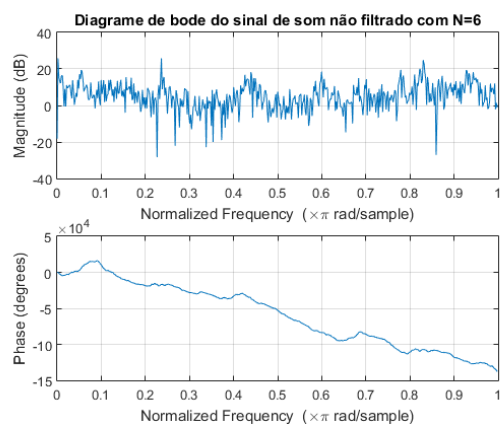
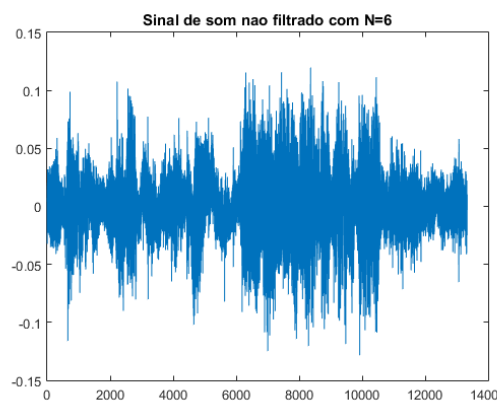


Figura 29: Sinal para N=6

Figura 30: Diagrama de bode para N=6

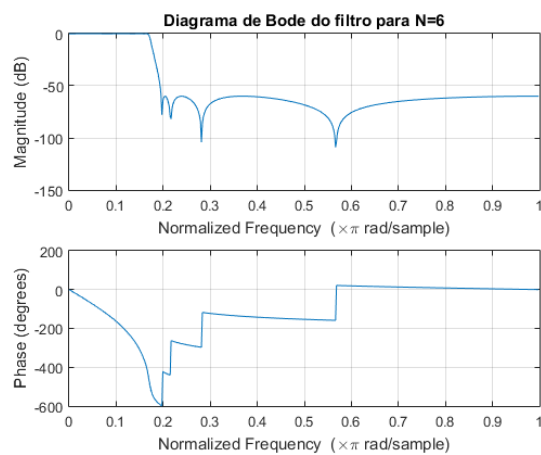


Figura 31: Diagrama de bode do filtro para N=6

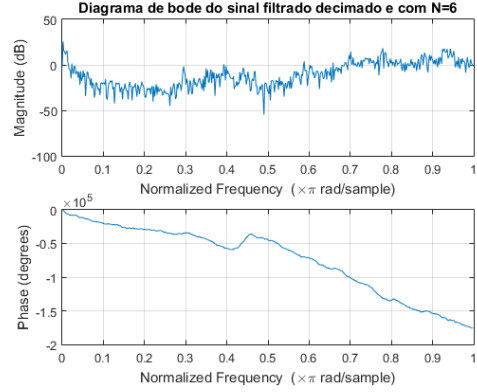
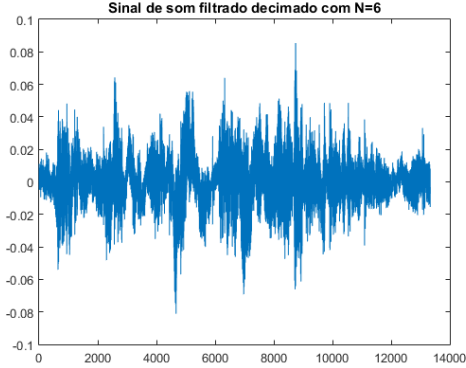


Figura 32: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=6

Figura 33: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=6

Para o fator de decimação $N=6$, o sinal não filtrado passa a ser maioritariamente ruído. O filtrado parece que está a ser ouvido a uma maior distância, voltando a aparecer uma pequena componente aguda na sua extensão. A nível musical, o sinal não filtrado deixa de ser reconhecido como uma música devido à grande quantidade de ruído e já nem se conseguem ouvir as batidas da bateria. No sinal filtrado, ainda se ouve a bateria e a voz, mas a letra deixa de ser reconhecível.

4.6 N=7

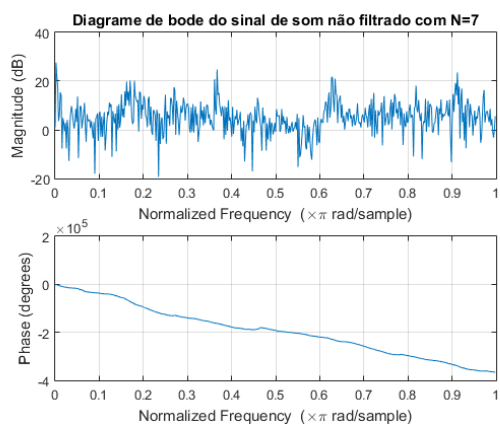
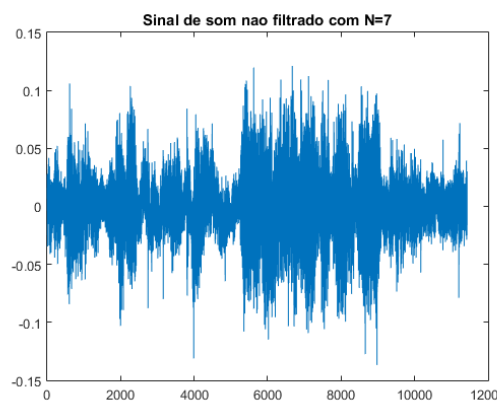


Figura 34: Sinal para N=7

Figura 35: Diagrama de bode para N=7

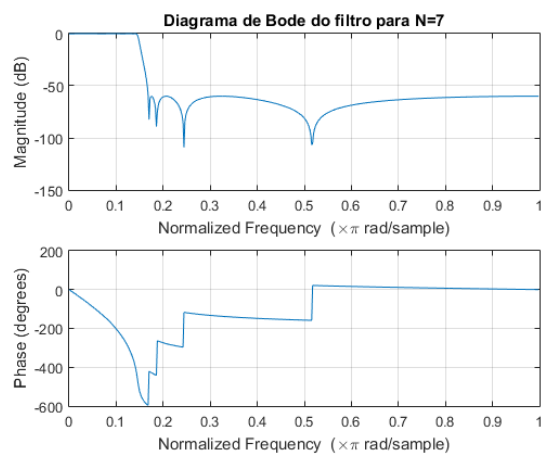


Figura 36: Diagrama de bode do filtro para N=7

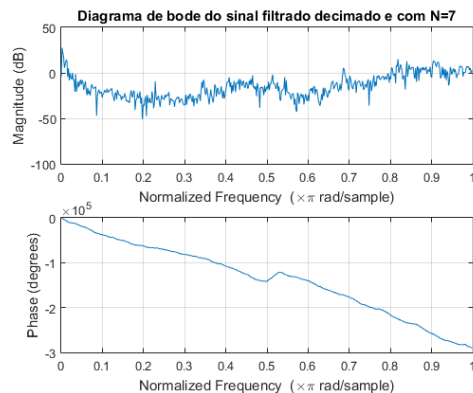
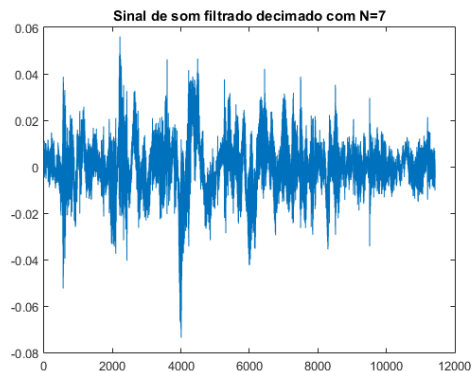


Figura 37: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=7

Figura 38: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=7

Para o fator de decimação $N=7$, o sinal não filtrado continua a ser composto por ruído enquanto o sinal filtrado perde bastante intensidade a nível auditivo comparativamente com o obtido em $N=6$. A nível musical, no sinal filtrado a melodia mantém-se embora que com um volume bastante mais baixo e parecendo mais distante. A voz e a bateria continuam a ser ouvidas.

4.7 N=8

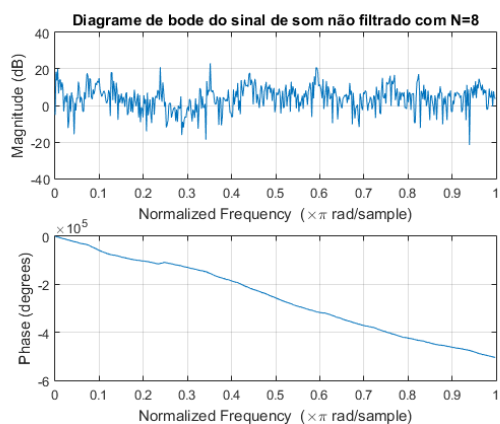
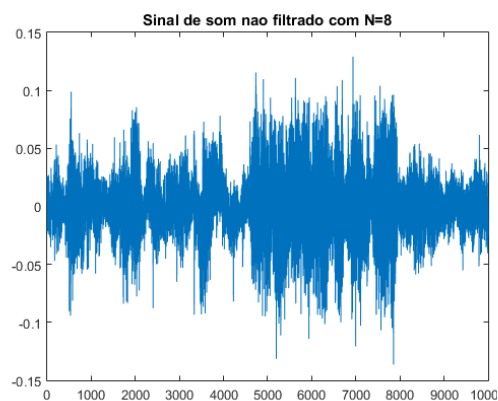


Figura 39: Sinal para N=8

Figura 40: Diagrama de bode para N=8

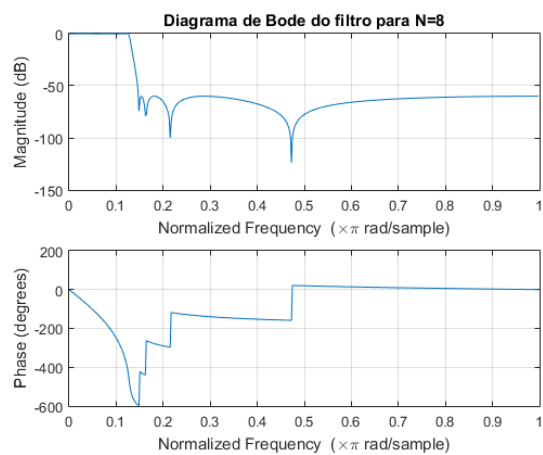


Figura 41: Diagrama de bode do filtro para N=8

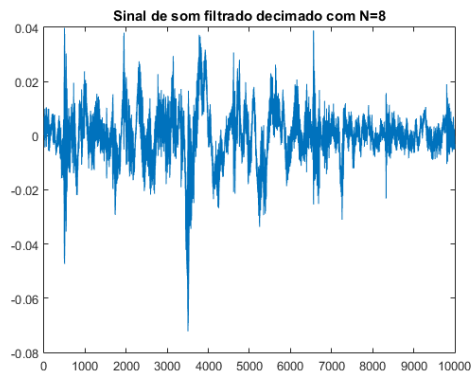


Figura 42: Sinal Filtrado e sub amostrado com N=8

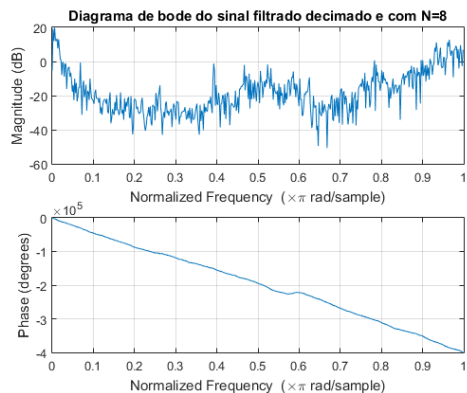


Figura 43: Diagrama de bode do Sinal filtrado e sub amostrado com N=8

Para o fator de decimação $N=8$, o sinal não filtrado é quase constante, parecendo algum som debaixo de água a uma distância elevada, enquanto o sinal filtrado volta a perder novamente bastante intensidade. A nível musical, o sinal filtrado conta agora apenas com a melodia e algumas batidas da bateria, visto que a intensidade do som está demasiado baixa para que se consiga detetar a voz.

5 Conclusão

Foi escolhida uma música como amostra de som já que apresenta uma maior variedade de frequências, permitindo assim um melhor estudo da decimação e do comportamento do filtro.

Foi possível concluir que à medida que com o incremento fator de decimação N , existia a ocorrência de aliasing ficando cada vez mais informação do sinal sobreposta, gerando ruído.

Foi também possível concluir o filtro elíptico consegue prevenir a ocorrência de aliasing quando aplicado ao sinal antes da decimação, mas à medida que o valor de N aumenta, a frequência de corte do filtro também tem de aumentar, o que resulta em perda de informação do sinal.

Com estes resultados, a conclusão final a que cheguei é que embora a decimação de um sinal o torne mais compacto a nível computacional e exija menos poder de processamento e cálculos, é necessário estabelecer um trade off entre estas facilidades e aquele que se deseja obter como resultado final, uma vez que para fatores de decimação elevados, a frequência de corte do filtro anti-aliasing será baixa, cortando muita informação do sinal.

6 Repositório online

De modo a melhor facilidade de acesso e para o professor poder aceder ao ficheiros de áudio resultantes deste trabalho, criei um repositório online público no github onde está presente todo o trabalho efetuado.

<https://github.com/sno0ker/TP1-PDS-85207>