



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Tratamento de Sinal de Áudio  
com aplicações em Música Digital**  
*Reverb Shimmer*

**Filipe Miguel Ribeiro**

**Brasília, julho de 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**





UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Tratamento de Sinal de Áudio  
com aplicações em Música Digital  
*Reverb Shimmer***

**Filipe Miguel Ribeiro**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia  
Elétrica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Eletricista*

Banca Examinadora

Prof. Dr. André Café, ENE/UnB  
*Orientador*

---

Prof. Fulano de Tal 2, ENE/UnB  
*Examinador Interno*

---

Prof. Fulano de Tal 2, ENE/UnB  
*Examinador interno*

---

Prof. Fulano de Tal 2, ENE/UnB  
*Examinador interno*

---

## FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, FILIPE MIGUEL

Tratamento de Sinal de Áudiocom aplicações em Música Digital *Reverb Shimmer* [Distrito Federal] 2017.

xvi, 14 p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Elétrica, 2017).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica

1. Efeito Reverb Shimmer

2. Microntrolador MSP430

3. Misturas Convolutivas

4. Separação de sinais de fala

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, F. M. (2017). *Tratamento de Sinal de Áudiocom aplicações em Música Digital Reverb Shimmer*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 14 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Filipe Miguel Ribeiro

TÍTULO: Tratamento de Sinal de Áudiocom aplicações em Música Digital *Reverb Shimmer*.

GRAU: Engenheiro Eletricista ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Conclusão de Curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem autorização por escrito dos autores.

---

Filipe Miguel Ribeiro

Depto. de Engenharia Elétrica (ENE) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

## **Dedicatória**

*Dedicatória do autor 1*

*Filipe Miguel Ribeiro*

## **Agradecimentos**

*A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional e fica à critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) inclui-la deverá(ao) utilizar este espaço, seguindo esta formatação.*

*Filipe Miguel Ribeiro*

---

## **RESUMO**

INSIRA SEU RESUMO AQUI.

---

## **ABSTRACT**

INSERT YOUR ABSTRACT HERE.



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2	INTRODUÇÃO À CONCEITUAÇÃO DO EFEITO DE MODULAÇÃO <i>Reverb</i> .....	1
1.2.1	APLICABILIDADE .....	1
1.3	COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES DE HARDWARE .....	1
1.3.1	MICROCONTROLADORES E DSP'S.....	1
1.3.2	HARDWARES COMERCIAIS DO EFEITO <i>Reverb - Shimmer</i> .....	2
1.3.3	MICROCONTROLADOR MSP430F5529 E TMS320 .....	2
1.4	DIAGRAMA DE BLOCO DO PROJETO .....	2
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA E FERRAMENTAS .....</b>	<b>4</b>
2.1	SINAIS DE TEMPO DISCRETO E TRANSFORMADA DISCRETA DE <i>Fourier</i> .	4
2.2	FILTROS DIGITAIS.....	4
2.2.1	CONCEITOS INICIAIS .....	4
2.2.2	FILTROS IIR .....	4
2.2.3	FILTROS FIR .....	5
2.2.4	FILTROS ADAPTATIVOS .....	6
2.2.5	FILTRO PENTE - <i>Comb Filter</i> .....	7
2.3	CONVERSÃO DIGITAL ANALÓGICA .....	9
2.4	CONVERSÃO ANALÓGICA DIGITAL .....	9
2.5	COMUNICAÇÃO SERIAL I2C .....	9
2.6	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....	9
2.6.1	<i>Code Composer Studio</i> .....	9
2.6.2	<i>WinFilter</i> .....	9
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>10</b>
3.1	BLOCO 0 - CONVERSÃO ANALÓGICO DIGITAL .....	10
3.2	BLOCO 1 - PROJETANDO UM FILTRO FIR .....	10
3.2.1	MICROCONTROLADOR MSP 430 .....	10
3.2.2	COMUNICAÇÃO SERIAL .....	10
3.3	BLOCO 2 - IMPLEMENTANDO O PITCH-SHIFTER .....	10
3.4	BLOCO 3 - DELAY TIME .....	10
<b>4</b>	<b>SIMULAÇÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>11</b>
4.1	DIAGRAMA TEMPORAIS .....	11
4.2	RESULTADO DO SISTEMA REALIZADO .....	11

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>12</b>
5.1	REALIZAÇÃO DO PROJETO.....	12
5.2	AUTO-CRÍTICA .....	12
5.3	MODELOS PARA TRABALHOS FUTUROS .....	12
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>13</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>14</b>

# LISTA DE FIGURAS

1.1	Diagrama de Blocos Principal do Projeto.....	3
1.2	Diagrama de Fluxo de Sinais do Projeto.....	3
2.1	Diagrama de fluxo de sinais e diagrama de blocos de um filtro FIR .....	5
2.2	Filtro Pente - <i>Comb Filter</i> - Formas de Realimentação .....	7

# LISTA DE TABELAS

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$Q$	Fluxo	[ml/s]
-----	-------	--------

## Símbolos Gregos

$\Delta$	Varição entre duas grandezas similares
$\varepsilon$	Fração muito pequena de uma certa grandeza

## Grupos Adimensionais

$e$	Número de Euler
-----	-----------------

## Subscritos

$max$	Máximo
-------	--------

## Sobrescritos

$—$	Valor médio
-----	-------------

## Siglas

DSP	Processador Digital de Sinais - <i>Digital Signal Processing</i>
LoG	<i>Laplacian of Gaussian</i> (laplaciano da gaussiana)
TE	Tempo de eco
TR	Tempo de repetição
Ts	Período de Amostragem

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

## 1.2 INTRODUÇÃO À CONCEITUAÇÃO DO EFEITO DE MODULAÇÃO REVERB

### 1.2.1 Aplicabilidade

Numa sala, ou em qualquer ambiente acústico, existe um caminho direto pelo qual uma fonte de áudio qualquer pode ser ouvida, no entanto, as respectivas ondas sonoras também podem fluir em caminhos mais longos devido a, por exemplo, reflexão das paredes, do teto, de objetos, antes delas chegarem ao receptor.

A energia envolvida com essas reflexões, as quais viajam essas distâncias maiores do que o som emitido no caminho direto, são parcialmente absorvidas pelas superfícies, logo elas chegam ao receptor com um som mais "fraco" que o som direto.

Essas amostras de som atrasadas e atenuadas ocorridas no evento da emissão do som original é o que denominamos de *reverberação*.

Muito embora possa parecer algo sim, o efeito de reverberação é muito mais que uma série de ecos.

## 1.3 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES DE HARDWARE

No mercado, atualmente, poucas são as empresas possuem em seu portfólio esse tipo de efeito modulante com essa característica. Vale destacar que o efeito puramente de reverberação já é notoriamente conhecido e manipulado por diversos hardwares e softwares no mercado. Note-se que estamos falando do efeito adicional incorporado ao produto que é o chamado *shimmer*.

### 1.3.1 Microcontroladores e DSP's

O termo sistemas embarcados constituem circuitos eletrônicos que utilizam processadores digitais (microprocessadores ou microcontroladores, etc.) em aplicações dedicadas para determinado equipamento ou produtos.

Os microcontroladores, diferentemente dos microprocessadores, em geral, possuem todos os periféricos necessários num único chip. Seu tamanho também é muito pequeno, mesmo contendo

vários periféricos como: memórias, barramentos, *timers*, portas de comunicação, conversores de sinal analógicos para digital etc.

Por outro lado, esses dispositivos possuem um desempenho menor que os microprocessadores, mas são ideais em aplicações que necessitam de menores dimensões, tempo e custos.

As linguagens de programação das unidades processadores de sistemas embarcados podem variar, mas em geral, se limitam às linguagens *C/C++*, *Assembly* e *Java*.

Nessa linha, temos ainda o processador digital de sinais (DSP - *Digital Signal Processing*) e pode definir tanto o processador quanto o processo em si. Esse tipo de tratamento exige um alto desempenho para aplicações numéricas em tempo real.

Os DSP's são construídos para computar de forma eficiente equações de diferenças e algoritmos de transformadas diversas (como a *Fast Fourier Transform* - FFT). As aplicações dos DSP's, em suma, estão relacionadas com sistemas de controle de alta velocidade, realizações de filtros digitais, transformadas rápidas de *Fourier*, processamento de sons e imagens, entre outras.

### **1.3.2 Hardwares Comerciais do Efeito *Reverb* - *Shimmer***

### **1.3.3 Microcontrolador MSP430F5529 e TMS320**

Foram utilizados ao longo do projeto como soluções de hardware essencialmente o *microcontrolador launchpad MSP430F5529*.

Não obstante foram apontados na subseção anterior a respeito das limitações do hardware para tratamento de sinais de áudio em tempo real, o escopo do trabalho levou em consideração a economicidade do hardware em questão, bem como a utilização de operações no domínio do tempo, sem utilização de etapas intermediárias como realização da transformada de *Fourier* para manipulação do sinal de áudio.

Além disso, o projeto teve uma participação do desempenho do TMS320 C2000 o qual, devido ao tempo de aprendizagem do DSP para correta aplicabilidade no projeto, não fora possível.

## **1.4 DIAGRAMA DE BLOCO DO PROJETO**

Nesta parte do trabalho, é mostrado de maneira abstrata os blocos necessários para que obtenha a saída do sistema desejado, ou seja, o efeito do *Reverb* com *Shimmer* implementado em software e executado em hardware.

Temos aqui na figura ?? um sinal analógico oriundo de um instrumento musical - guitarra, que passa por um processador de som digital - DSP o qual faz toda o trabalho de tratamento do sinal analógico convertido para amostras digitais. Aplicando, portanto, nesse contexto, um filtro de resposta finita; um algoritmo de seleção de frequências denominado *pitch-shifter* e por fim

realimentando o sistema acrescentando um pequeno atraso temporal (*delay*).

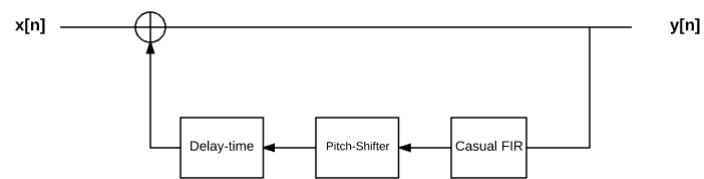


Figura 1.1: Diagrama de Blocos Principal do Projeto.

Como uma lei de controle de malha fechada podemos ilustrar (figura ??) também como um diagrama de fluxo de sinais da seguinte forma:

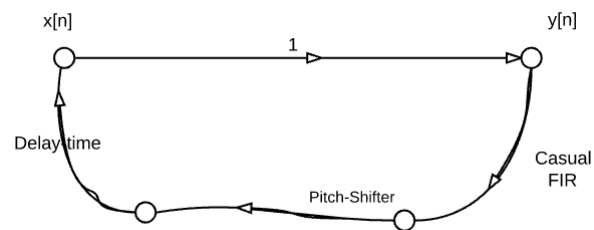


Figura 1.2: Diagrama de Fluxo de Sinais do Projeto.



## 2 METODOLOGIA E FERRAMENTAS

### 2.1 SINAIS DE TEMPO DISCRETO E TRANSFORMADA DISCRETA DE *FOURIER*

### 2.2 FILTROS DIGITAIS

#### 2.2.1 Conceitos Iniciais

Os filtros digitais não contém uma implementação física em si, diferentemente dos filtros analógicos constituídos, geralmente, de associação de resistores e capacitores. Eles são construídos através de algoritmos.

Para que isso possa ocorrer é necessário que o sinal de áudio (analógico) seja devidamente convertido em um sinal digital. esse sinal portanto convolui por um algoritmo de filtro adequado.

De maneira geral, o projeto de um filtro consiste em obter os coeficientes para os filtros. Isso é realizado através de uma equação chamada de equação das diferenças. O processo pode ser simplesmente realizado pela equação (2.1):

$$\text{Saida} = \sum_{1}^n \text{Coeficiente}_n \text{ do filtro} * \text{Amostra}_n \quad (2.1)$$

Assim, o contexto de um filtro digital estará associado a equações de diferenças (ou funções de transferência no domínio Z) cujo parâmetros (coeficientes) serão calculados com o objetivo de discriminar (extrair, atenuar, etc.) determinadas componentes espectrais presentes em um sinal ou uma informação no mesmo sentido dos filtros analógicos, sem a necessidade de um circuito (*hardware*) adicional. Em outras palavras, o filtro digital será uma rotina adicional agregada ao algoritmo responsável pela realização do sistema proposto em questão.

#### 2.2.2 Filtros IIR

Os filtros digitais de resposta infinita ao impulso (*Infinite Impulse Response - IIR*), também conhecidos como filtros recursivos ou autorregressivos, são modelados pela equação de diferença (2.2) ou pela função de transferência (2.3), em que basicamente os valores dos coeficientes dos modelos define a natureza do filtro (passa-baixa; passa-alta; passa-faixa; rejeita-faixa).

A denominação de IIR se deve que a saída do modelo decai para um valor nulo em um tempo infinito em resposta a um impulso aplicado na entrada filtro correspondente.

$$y(k) = \frac{1}{a_0} \left( \sum_{m=0}^M b_m x(k-m) - \sum_{n=1}^N a_n y(k-n) \right) \quad (2.2)$$

$$D(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{a_1 z^{-1} + a_n z^{-n}} \quad (2.3)$$

Resumidamente, a forma usual de calcular os coeficientes de um filtro digital IIR consiste em utilizar o modelo de um filtro analógico, e aplicar uma transformada Z via aproximação retangular ou trapezoidal (OPPENHEIN, 1998).

Notoriamente, uma das vantagens na utilização dos filtros IIR é que eles resultam em comprimentos (quantidade de coeficientes) de filtro menor do que o filtro FIR correspondente, porém, esta melhoria é obtida às custas de distorção de fase e um transitório que não se limita a um intervalo de tempo finito (ROBERTS, 1987).

Adicionalmente, conforme veremos na seção (2.2.5) deste capítulo, um exemplo clássico de um filtro IIR é o Filtro Pente, pois se estável, a resposta simplesmente consiste em repetir 'series de impulsos que decrescem em amplitude com o tempo.

### 2.2.3 Filtros FIR

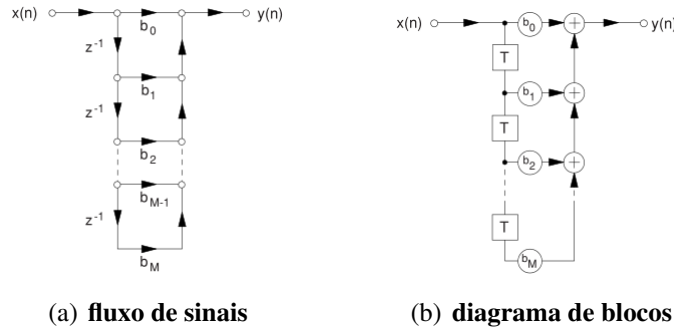


Figura 2.1: Diagrama de fluxo de sinais e diagrama de blocos de um filtro FIR

O lóbulo principal da janela retangular tem aproximadamente a metade da largura do lóbulo principal da janela *Hamming*;

Os lóbulos laterais da janela *Hamming*, em relação ao lóbulo principal, são muitos reduzidos em comparação com os da janela retangular. Especificamente, o pico de amplitude do primeiro lóbulo lateral da janela retangular está somente aproximadamente 13 dB abaixo do pico do lóbulo principal, ao passo que o valor correspondente para a janela *Hamming* é de aproximadamente 40 dB.

É devido a esta último ponto que a janela *Hamming* reduz as oscilações na resposta em frequência de um filtro digital FIR. Todavia, há um preço a ser pago por esta melhoria, a saber, uma faixa de transição mais larga no espectro do filtro.(HAYKIN; VEEN, 2001)

Vantagens:

- Um filtro não recursivo como o filtro FIR é inerentemente estável. Conforme pode ser visto na função de transferência ela é especificada em termos dos zeros apenas no plano-z. Logo não há grandes preocupações em termos da escolha dos coeficientes que possam causar instabilidade no sistema, posto que seu LGR encontra-se estritamente dentro do semi-plano esquerdo do domínio-z.
- O filtro FIR (resposta ao impulso) tem forma simétrica no seu espectro de frequência. Isso produz uma característica de fase linear ideal, ou seja, é equivalente a puramente um atraso temporal em todas as componentes de frequência passando pelo filtro. Em outras palavras, podemos dizer que o filtro FIR não tem *distorção de fase* (LYNN; FUERST, 1998).

## 2.2.4 Filtros Adaptativos

Os filtros adaptativos são constituídos, geralmente, por estruturas FIR, em que os coeficientes dos modelos associados são modificados conforme um procedimento adaptativo. essa modalidade de filtro geralmente é empregada nos seguintes contextos (*lista não exaustiva*):

- Como procedimento alternativo na obtenção de valores dos coeficientes de um determinado filtro FIR, em que padrões de entrada e saída conhecidos são utilizados para estabelecer os valores dos coeficientes do filtro em questão;
- Cancelamento ou redução de ecos/barulhos de um determinado ambiente;
- Na modelagem de sistemas dinâmicos; e
- Como modelagem básica de representações de redes neurais artificiais.

A equação () representa o modelo de um filtro FIR, em que  $W_m(k)$  denota os valores dos coeficientes do filtro em um instante de tempo  $k$ .

$$y(k) = \sum_{m=0}^M W_m(k)x(k-m) \quad (2.4)$$

A diferença ou erro  $\epsilon(k)$  entre o valor de padrão desejado  $d(k)$  para a resposta do filtro e a informação da saída atual  $y(k)$  do modelo associado é expressa por:

$$\epsilon(k) = d(k) - y(k) \quad (2.5)$$

Basicamente para ajustar os valores dos coeficientes de um filtro adaptativo tipicamente utiliza o método do gradiente para essa finalidade (fonte...), sendo o critério da somatória do erro quadrático de  $\epsilon(k)$  frequentemente utilizado na etapa de adaptação.

Vale salientar, que alguns sistemas de comunicação de voz utilizam filtros adaptativos com o objetivo de cancelar ou reduzir ecos ou barulhos do ambiente. Nesse contexto, foi pensado inicialmente a utilização desse modelo de filtro para o projeto. No entanto, será explicado mais a frente a não adoção desse modelo, bem como pela utilização de um filtro FIR típico.

### 2.2.5 Filtro Pente - *Comb Filter*

Em termos práticos *comb filter* ou “filtro pente” é uma versão atrasada do mesmo sinal, causando uma interferência construtiva ou destrutiva de dois sons tocados simultaneamente, porém com atraso entre um para o outro.

Nesse sentido, há basicamente dois tipos de *comb filters*: o (*feedback comb filter*) e (*feedforward comb filter*). Resumidamente, os nomes referem-se à direção em que os sinais são atrasados antes de serem adicionados à entrada. O primeiro tipo considera em adicionar a saída do filtro a entrada imediatamente posterior, enquanto o segundo considera apenas adicionar à saída do filtro as entradas presente e a mesma entrada atrasada.

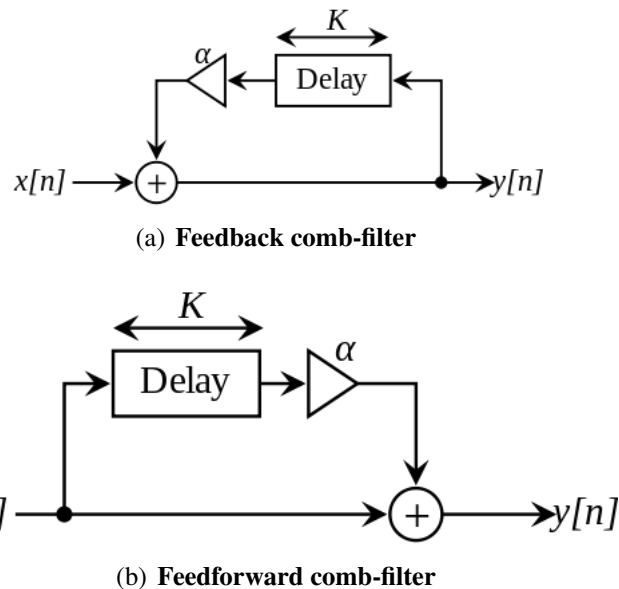


Figura 2.2: Filtro Pente - *Comb Filter* - Formas de Realimentação

Como já informado, o caso do filtro pente com realimentação na saída, é um caso especial de um Filtro de Resposta Infinita (2.2.2), posto que pode ser observado uma figura de atraso (*delay*) no sentido de realimentação no sistema. Este filtro pode ser um modelo físico computacional de "séries de ecos", os quais decaem exponencialmente, bem como espaçados uniformemente no tempo (SMITH, 2010).

Continuando a análise do modelo do referido filtro, ve-se que a estrutura geral de um sistema de realimentação de um *feedback comb filter* pode ser mostrado através da figura 2.2(a). Além

disso pode ser descrito pela seguinte equação<sup>1</sup> de diferenças 2.6:

$$y[n] = x[n] + \alpha y[n - K] \quad (2.6)$$

Se rearranjarmos os termos da equação para que todos as variáveis em  $y$  fiquem do mesmo lado da equação e, na sequência, aplicamos a transformada Z em ambos os membros, teremos:

$$(1 - \alpha z^{-K})Y(z) = X(z) \quad (2.7)$$

Finalmente temos a função de transferência (2.8) correspondente ao sistema:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{1 - \alpha z^{-K}} = \frac{z^K}{z^K - \alpha} \quad (2.8)$$

Uma das formas de estimar a resposta de magnitude em função do valor do tempo de delay  $K$  e fator de atenuação/ganho  $\alpha$  é expressar  $H(z)$  em termos de módulo  $|H(K, \alpha)|$ , bem como, de maneira conveniente, utilizando uma substituição  $z = e^{j\omega}$ .

$$|H(e^{j\omega})| = \frac{1}{|1 - \alpha e^{-j\omega K}|}, \quad -\pi \leq \omega \leq \pi \quad (2.9)$$

Nota-se pela expressão do ganho dada pela equação (2.9) que seu valor tem valores de resposta **periódica** indo de um valor mínimo e subindo para um valor máximo.

Supondo o valor de  $\alpha = 1$  (0 dB), para simplificar os cálculos, a amplitude da resposta reduz-se a:

$$H(w) = \frac{1}{2|\sin(\omega M/2)|} \quad (2.10)$$

Note ainda que para  $\alpha > 0$  são produzidos picos de ressonância em:

$$\begin{aligned} \sin(\omega K/2) &= 0 \\ \omega \frac{K}{2} &= p\pi, \quad p = 0, 1, 2, \dots, K-1 \\ w_p &= 2\pi \frac{p}{K} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Ou seja, em todos harmônicos pares do filtro.

Ademais, esses filtros são utilizados em toda sorte de efeitos de sons, principalmente no universo de instrumentos musicais. Vários desses filtros podem ser usados por exemplo para simular uma reverberação. ((??))

---

<sup>1</sup>Para um critério de estabilidade o coeficiente  $\alpha$  da equação 2.6 tem que ser menor ou igual a 1 (0db).

Por último, vamos falar do modelo proposto para o projeto deste trabalho, no qual consiste de uma versão mais generalista do *feedback comb-filter*. Este modelo propõe a alocação de um filtro casual  $H_l(z)$  na malha de realimentação, em vez de apenas um ganho de atenuação  $\alpha$ . A função de transferência 2.7 pode ser então reescrita como:

$$H(z) = \frac{1}{1 - H_l(z)z^{-K}} \quad (2.12)$$

#### NOTA

Para o critério de estabilidade do sistema, a amplitude de resposta do filtro  $H_l(z)$  deverá ser menor que 1 em todas as frequências, i.e.,  $|H_l(e^{j\omega T})| < 1, \forall \omega T \in [-\pi, \pi)$

## 2.3 CONVERSÃO DIGITAL ANALÓGICA

## 2.4 CONVERSÃO ANALÓGICA DIGITAL

## 2.5 COMUNICAÇÃO SERIAL I2C

## 2.6 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

### 2.6.1 *Code Compose Studio*

### 2.6.2 *WinFilter*

# 3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

## 3.1 BLOCO 0 - CONVERSÃO ANALÓGICO DIGITAL

## 3.2 BLOCO 1 - PROJETANDO UM FILTRO FIR

### 3.2.1 Microntrolador MSP 430

Aqui será dada uma pequena atenção a respeito da escolha do microcontrolador da *Texas Instruments* para o referido projeto, em especial as vantagens auferidas:

1. Baixo Consumo:
2. Baixa Tensão de Operação:
3. Alta Performance:
4. Grande Quantidade de Periféricos:

### 3.2.2 Comunicação Serial

## 3.3 BLOCO 2 - IMPLEMENTANDO O PITCH-SHIFTER

## 3.4 BLOCO 3 - DELAY TIME

## **4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS**

### **4.1 DIAGRAMA TEMPORAIS**

### **4.2 RESULTADO DO SISTEMA REALIZADO**



# **5 CONCLUSÕES**

Relembrar os objetivos

## **5.1 REALIZAÇÃO DO PROJETO**

## **5.2 AUTO-CRÍTICA**

## **5.3 MODELOS PARA TRABALHOS FUTUROS**

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAYKIN, S.; VEEN, B. V. *Sinais E Sistemas*. Bookman, 2001. ISBN 9788573077414.  
Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=tdNYclZwaYIC>>.

LYNN, P. A.; FUERST, W. *Introductory Digital Signal Processing with Computer Applications with 3.5 Disk*. 2nd. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1998. ISBN 0471976318.

OPPENHEIN, R. W. S. A. V. *Discrete-Time Signal Processing*. [S.l.]: Prentice-Hall, 1998.

ROBERTS, C. T. M. R. A. *Digital Signal Processing*. [S.l.]: Addison-Wesley Company, 1987.

SMITH, J. O. *Physical Audio Signal Processing*. [S.l.]: W3K, 2010. ISBN 978-0-9745607-2-4.

## APÊNDICES