



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**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

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 Áudio com aplicações em Música Digital *Reverb Shimmer* [Distrito Federal] 2017. xvi, 10 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. Microcontrolador 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 Áudio com aplicações em Música Digital Reverb Shimmer*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 10 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Filipe Miguel Ribeiro

TÍTULO: Tratamento de Sinal de Áudio com 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 TEORIA MUSICAL .....	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> .....	1
1.3.3	MICROCONTROLADOR MSP430F5529 E TMS320 .....	1
1.4	DIAGRAMA DE BLOCO DO PROJETO .....	2
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA E FERRAMENTAS .....</b>	<b>3</b>
2.1	SINAIS DE TEMPO DISCRETO E TRANSFORMADA DISCRETA DE <i>Fourier</i> ..	3
2.2	FILTROS DIGITAIS .....	3
2.2.1	CONCEITOS INICIAIS .....	3
2.2.2	FILTROS IIR .....	3
2.2.3	FILTROS FIR .....	4
2.2.4	FILTROS ADAPTATIVOS .....	4
2.3	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....	5
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>6</b>
3.1	BLOCO 1 .....	6
3.2	BLOCO 2 .....	6
3.3	BLOCO 3 .....	6
<b>4</b>	<b>SIMULAÇÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>8</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>9</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>10</b>

## LISTA DE FIGURAS

5.1 Overview of a BSS system for speech signals. In order to simplify the drawing, only first order reflections are shown here. Analog to digital (AD) and digital to analog (DA) converters between the separation system and the transducers are omitted. ....	8
--	---



## LISTA DE TABELAS

5.1	Tempos de execução em segundos para diferentes máquinas.....	8
-----	--	---

# 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

BTC	Bioimpedância transtorácica
CO	<i>Cardiac output</i> (débito cardíaco)
HR	<i>Heart rate</i> (frequência cardíaca)
HRV	<i>Heart rate variability</i> (variabilidade da frequência cardíaca)
LoG	<i>Laplacian of Gaussian</i> (laplaciano da gaussiana)
RM	Ressonância magnética
SNA	Sistema nervoso autônomo
SV	<i>Stroke volume</i> (volume ou débito sistólico)
SVV	<i>Stroke volume variability</i> (variabilidade do volume sistólico)
TE	Tempo de eco
TR	Tempo de repetição

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

## 1.2 INTRODUÇÃO À TEORIA MUSICAL

## 1.3 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES DE HARDWARE

### 1.3.1 Micontroladores 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 *micontrolador 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 TSM320 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**

## 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 contêm 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):

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

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 (SCHLICHTHÄRLE, 2011).

Notoriamente, os filtros IIR 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 (HAYKIN, 1999).

### 2.2.3 Filtros FIR

### 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 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.

## **2.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS**

## **3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO**

**3.1 BLOCO 1**

**3.2 BLOCO 2**

**3.3 BLOCO 3**



## **4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS**

## 5 CONCLUSÕES

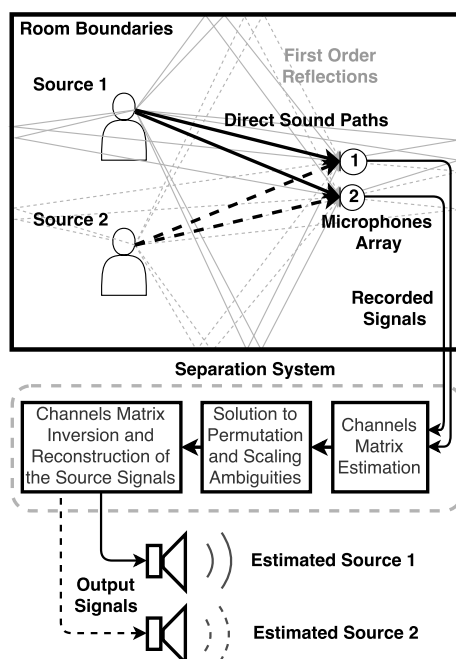


Figura 5.1: Overview of a BSS system for speech signals. In order to simplify the drawing, only first order reflections are shown here. Analog to digital (AD) and digital to analog (DA) converters between the separation system and the transducers are omitted.

Tabela 5.1: Tempos de execução em segundos para diferentes máquinas

Algoritmo	Laptop 1.8 GHz	Desktop PIII 850 MHz	Desktop MMX 233	Laptop 600 MHz
Matlab ARE	649,96	1.857,5	7.450,5	9.063,9
<i>CH</i>	259,44	606,4	2.436,5	2.588,5
<i>CH + LYAP</i>	357,86	952,9	3.689,2	3.875,0

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAYKIN, B. V. V. S. *Signals and Systems*. [S.l.]: Jonh Wiley & Sons, Inc., 1999.

SCHLICHTHÄRLE, D. *Digital Filters: Basics and Design*. [S.l.]: Springer, 2011.

## APÊNDICES