

ICT - UNIFESP SJC

# PROJETO DE FILTRO

## Dados 02

Processamentos de Sinais

# Integrantes

Aline Andreotti 122035

Bruna Salgado 120683

Felipe Hideki 69558



# Índice da Apresentação

- Introdução;
- Objetivo;
- Metodologia;
- Resultados obtidos;
- Conclusão;



# Introdução

## Filtro FIR

- fase linear;
  - não causa distorção de fase;
  - simetria na resposta;
- estáveis;

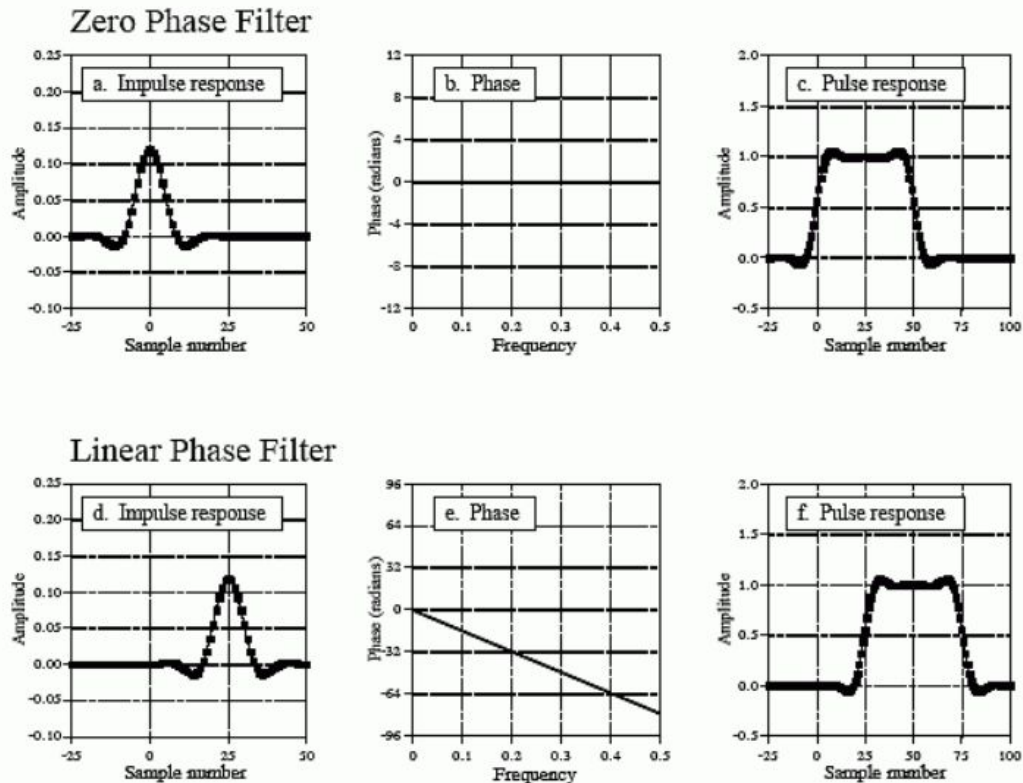


Figura 1: Exemplo de filtro de fase linear  
Fonte: <http://www.dspguide.com/ch19/4.htm>



# Introdução

$$y[n] = \sum_{k=-M_1}^{M_2} a_k x[n - k]$$

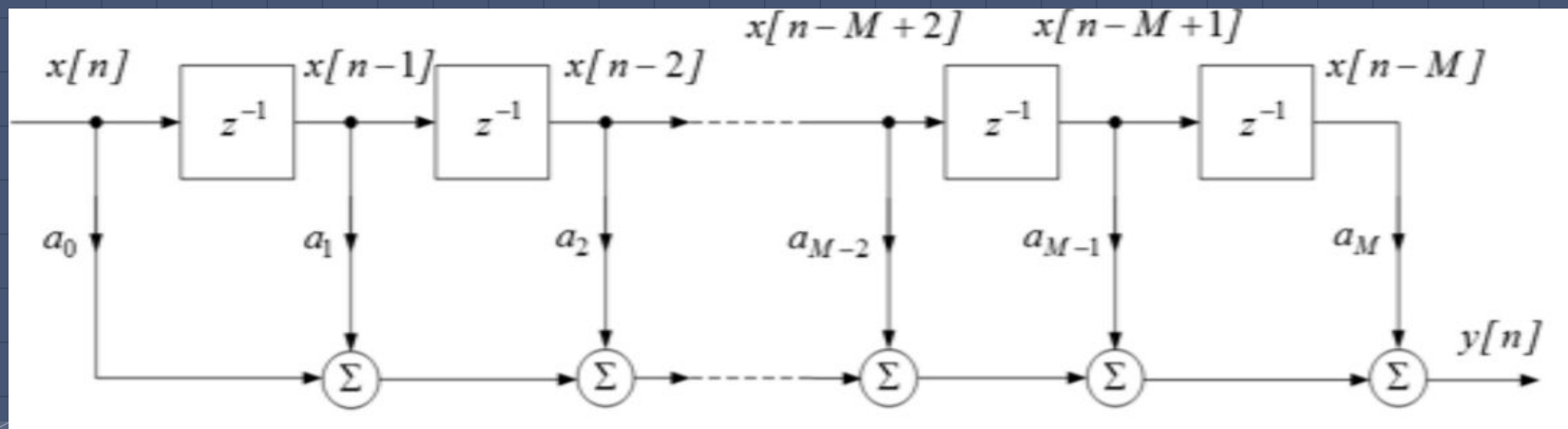


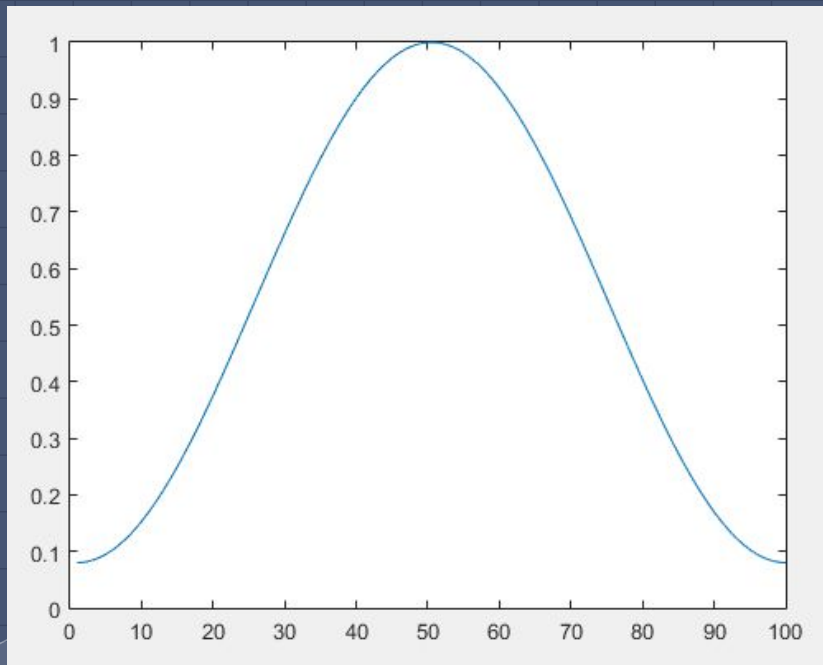
Figura 2: Equação e diagrama de blocos de um filtro FIR

Fonte: <http://www.ece.ufrgs.br/~eng04006/aulas/aula24.pdf>



# Introdução

## Hamming



## Kaiser

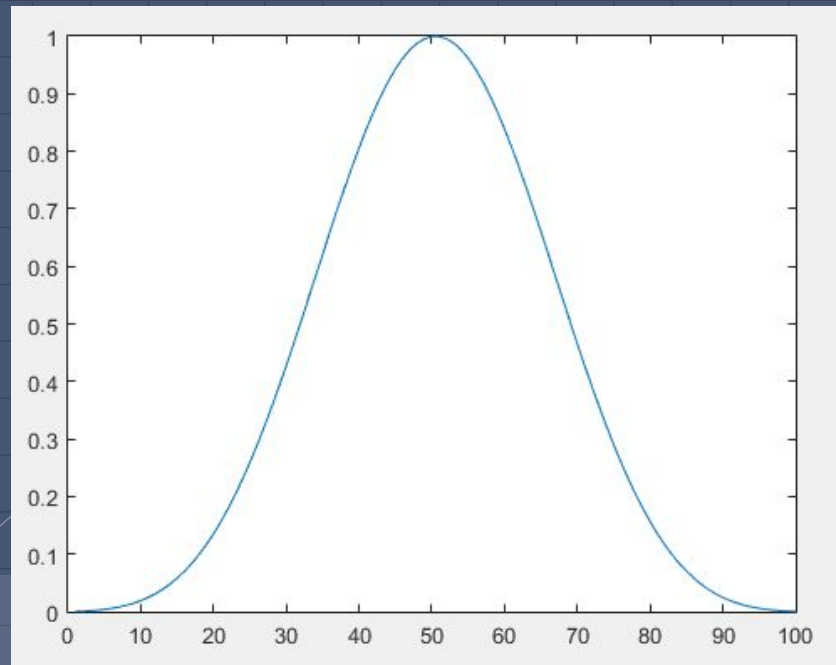
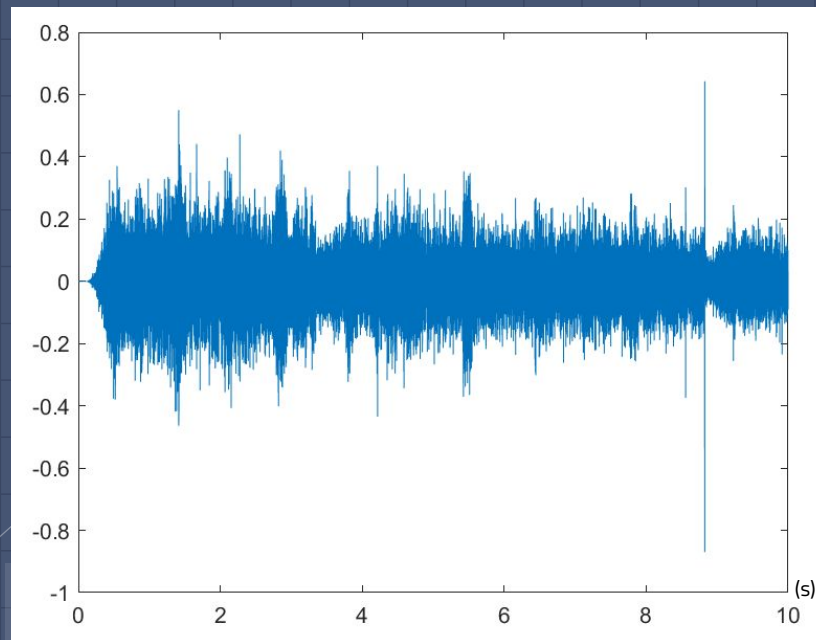


Figura 3: Janelas utilizadas



# Objetivo

Identificar uma sequência de teclas pressionadas (padrão DTMF) de um sinal de áudio.



*Figura 4: Sinal original, no domínio do tempo*



# Metodologia

## PASSO 1

- FFT - Análise do espectro de energia do sinal original
- FILTRO FIR AA - Projeto de um filtro anti-aliasing com Janelamento KAISER
  - Ordem 1000
  - Beta=10

## PASSO 2

- DOWNSAMPLING
  - Fator = 13

## PASSO 3

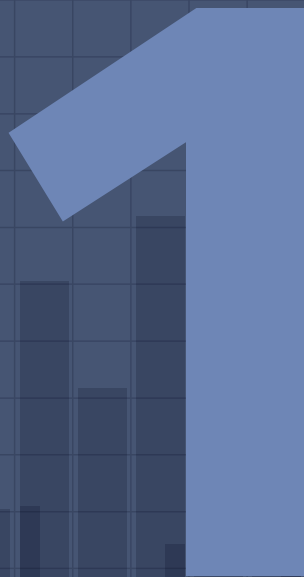
- FILTROS PASSA-FAIXA
- Frequência DTMF
  - 697 a 941 Hz
  - 1209 a 1633 Hz
- JANELAMENTO
  - Hamming
  - Kaiser

## PASSO 4

- Separar as regiões de cada tecla
- Inserção de zeros
- FFT para cada uma das teclas.
- Encontrar a sequência digitada



PASSO 1





# Metodologia

Espectro da energia do sinal original

- Frequência de amostragem  $\gg$   
Frequência máxima do sinal
- Além disso: a frequência máxima de interesse é conhecida
  - Padrão DTMF:  
 $F_{\text{máx}} = \mathbf{1633\text{Hz}}$

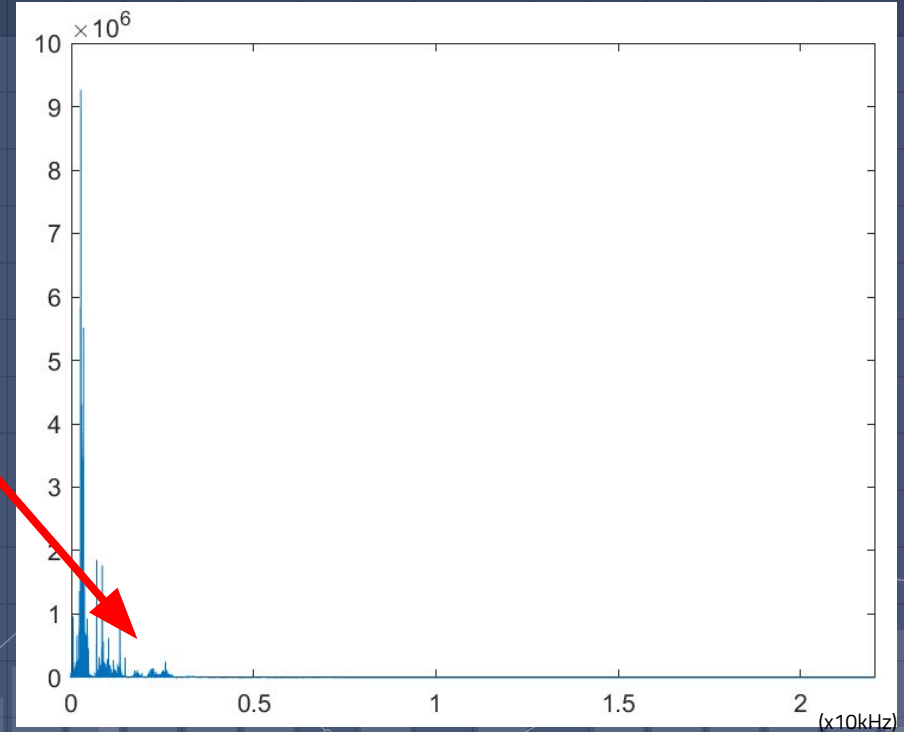


Figura 5: Espectro de energia do sinal original



# Metodologia

1º Utilizar um Filtro FIR para remover de imediato frequências conhecidas como ruído.

Filtro FIR AA

- FC=1633Hz
  - Janela Kaiser
    - Parâmetros
- Ordem = 1000
- Beta=10

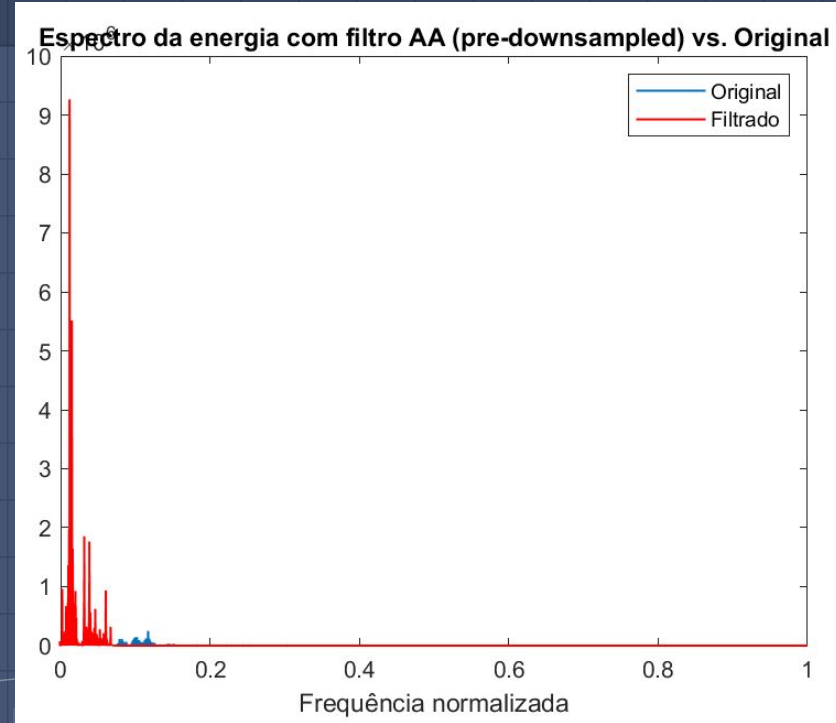


Figura 6: Comparação entre espectro do sinal filtrado vs. original



# Metodologia

Filtragem passa-baixa AA, janela Kaiser de ordem 1000,  $\beta=10$  ( $f_c \approx 1633\text{Hz}$ )

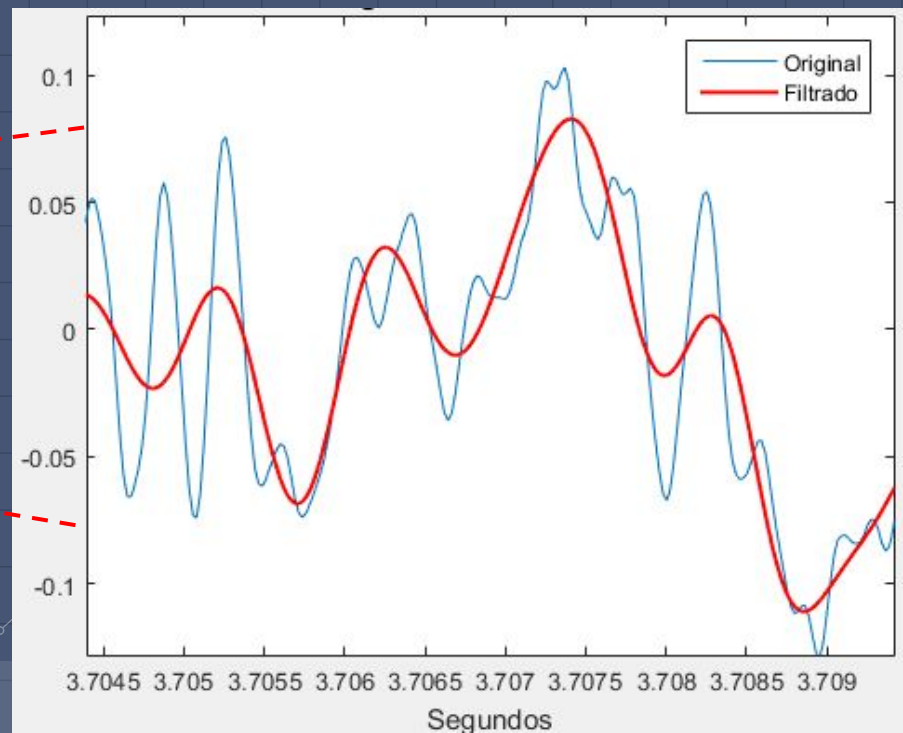
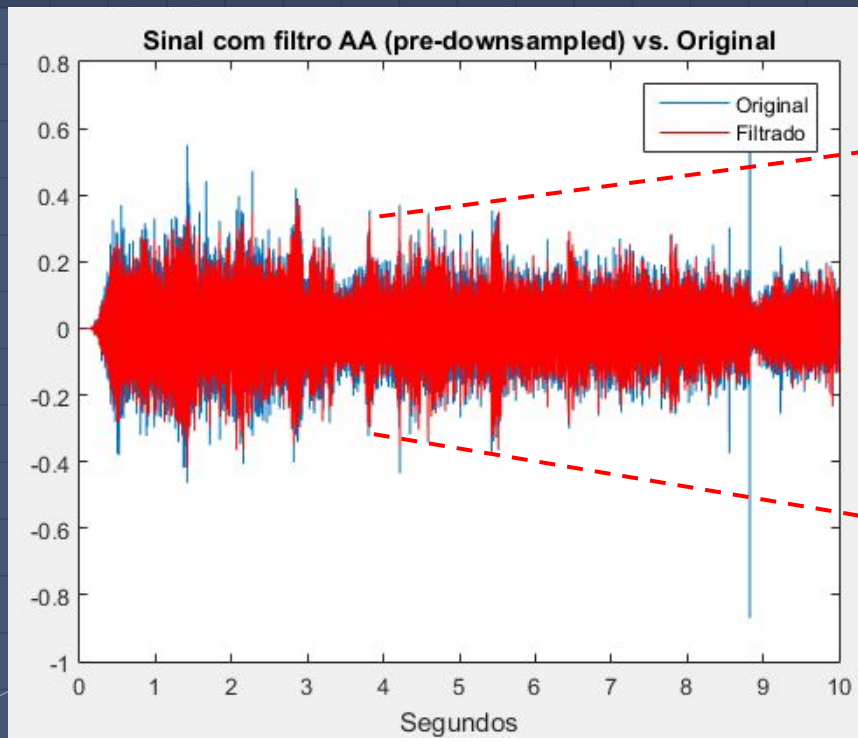


Figura 7-8: Efeito do filtro FIR AA no domínio do tempo

PASSO 2

2



# Metodologia

## *Downsampling*

$$F_{Nyquist} > 2 \cdot F_{m\acute{a}x}$$

$$F_{Nyquist} > 3266\text{Hz}$$

- *Fator de Downsample*

$$F_{ds} = F_s / F_{Nyquist}$$

$$F_{ds} \approx 13$$

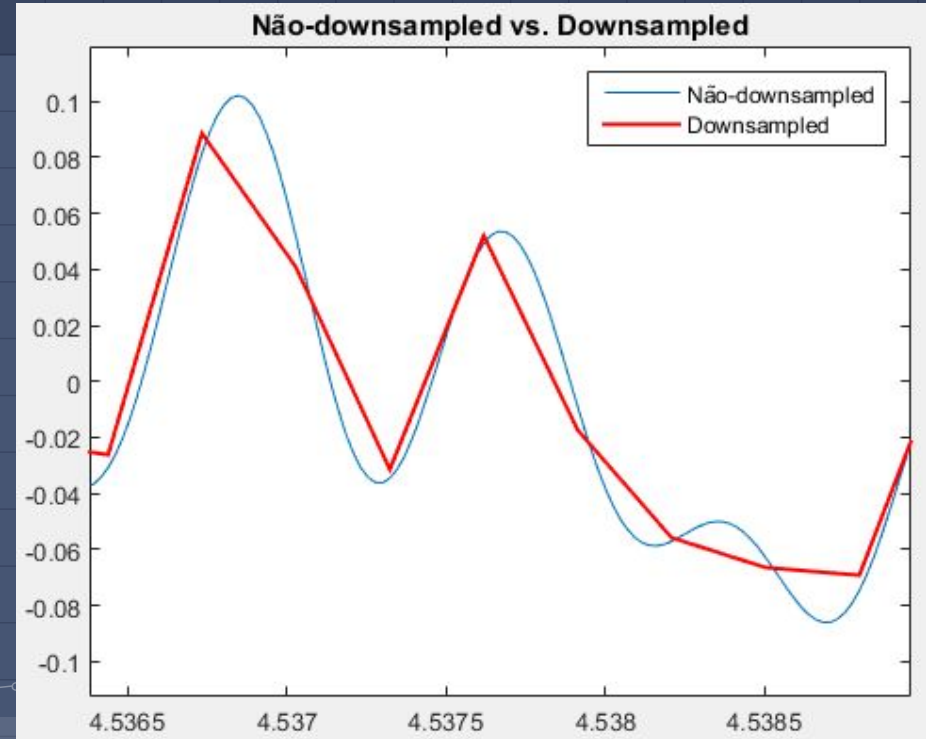
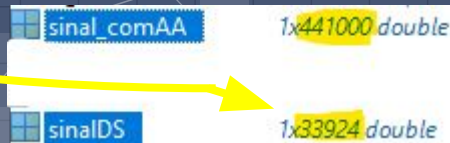
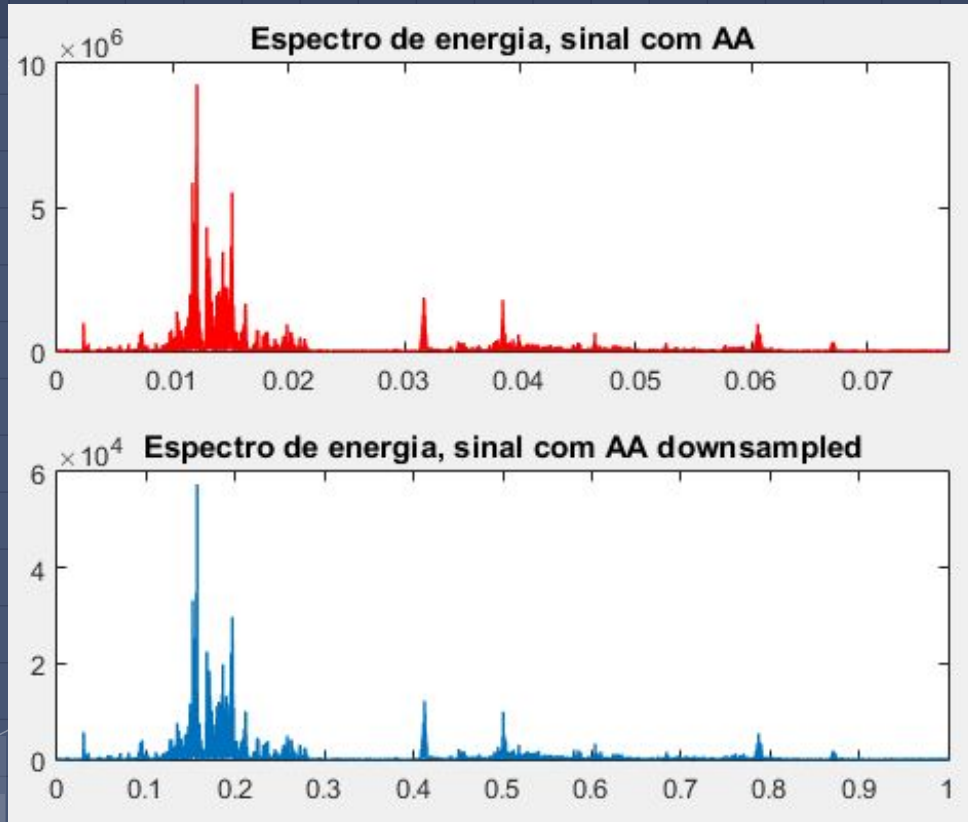


Figura 9: Sinal *downsampled* - Domínio do tempo



# Metodologia



Obs.: *Downsampling* é uma reamostragem do sinal com menos pontos, portanto o modifica ligeiramente no domínio do tempo. Se realizado corretamente, a falta destes pontos não afeta o domínio da frequência!

Figura 10: Comparação de espectros de energia, no domínio da frequência (normalização fora de escala)



# Metodologia

- Após o filtro, o sinal possui frequências no range de 1633Hz
- É tabelado as 2 bandas de frequência do Sinal DTMF
  - Banda 1 - 697Hz até 941Hz
  - Banda 2 - 1209Hz até 1633Hz

- 2 Filtros Passa-Banda
- Critério de Qualidade do sinal
  - Atingir -50dB

*Janelamento suave é o mais apropriado.*

## 1) Janelas

a) Hamming

b) Kaiser



PASSO 3

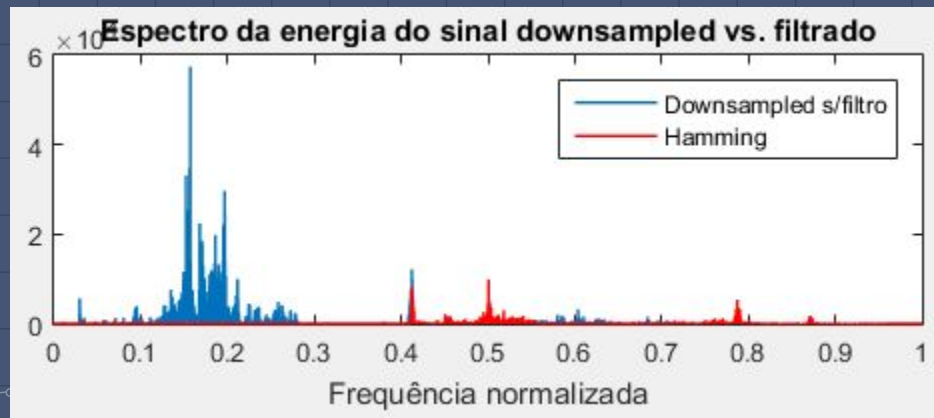
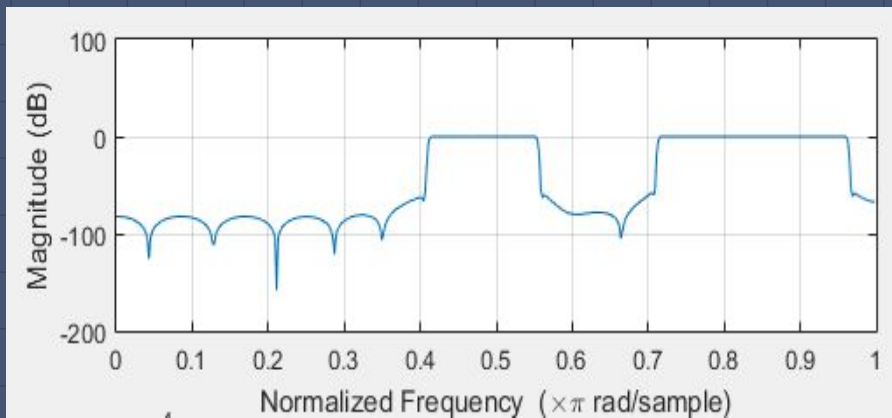
3



# Metodologia

## Janelamento

*a. Hamming, de ordem 1000*



*Figura 11-12 : Janelamento Hamming e comparação dos espectros de energia*



# Metodologia

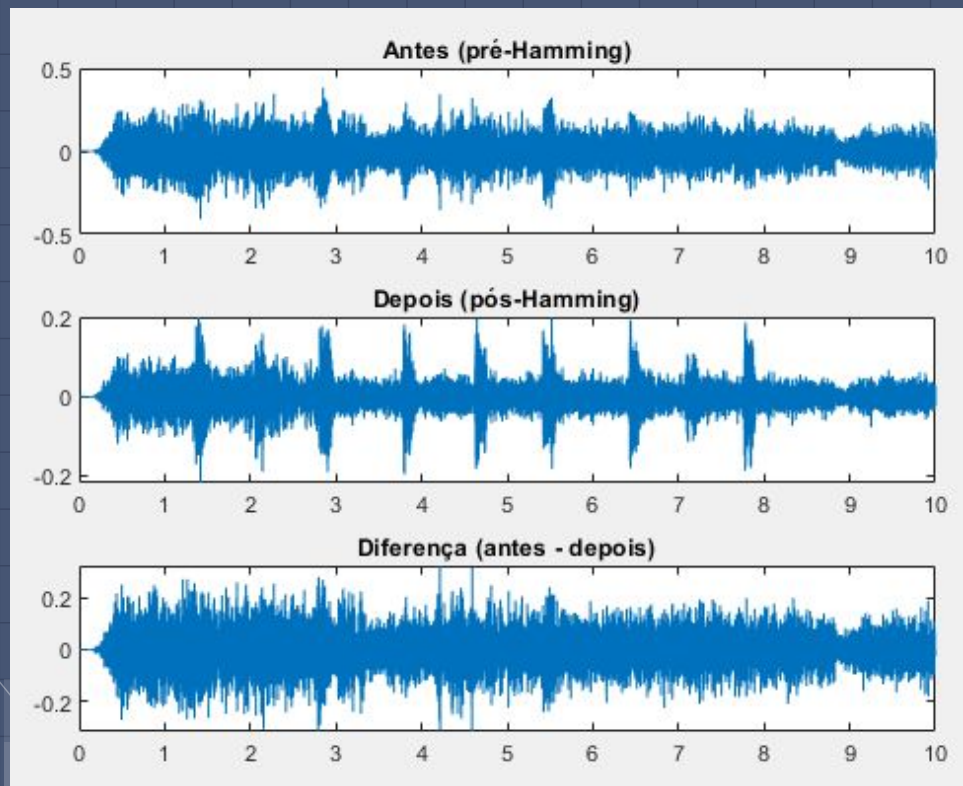


Figura 13 - Comparação do  
sinal - Janelamento Hamming



# Metodologia

## Janelamento

*b. Kaiser, de ordem 1000, parâmetro  $\beta = 10$*

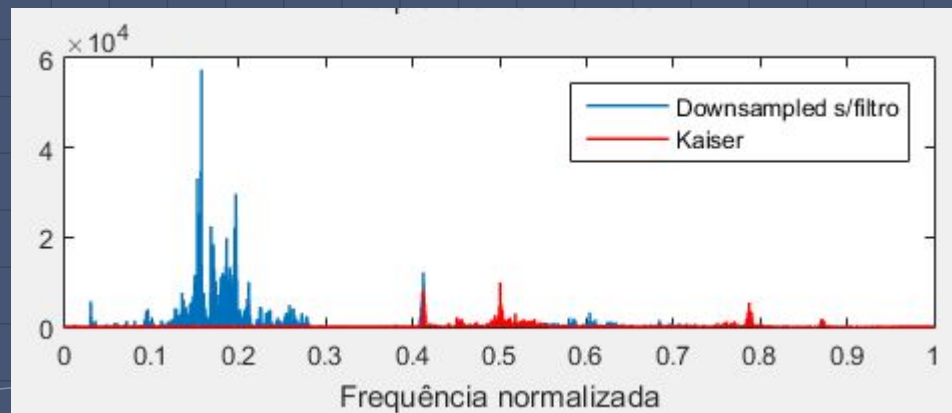
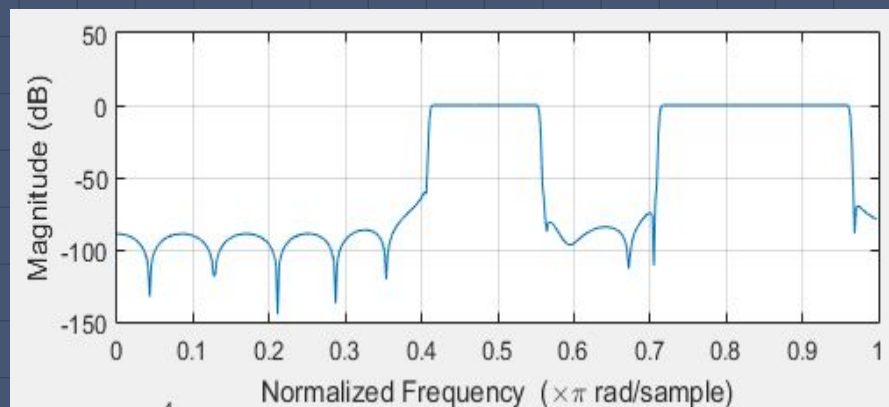
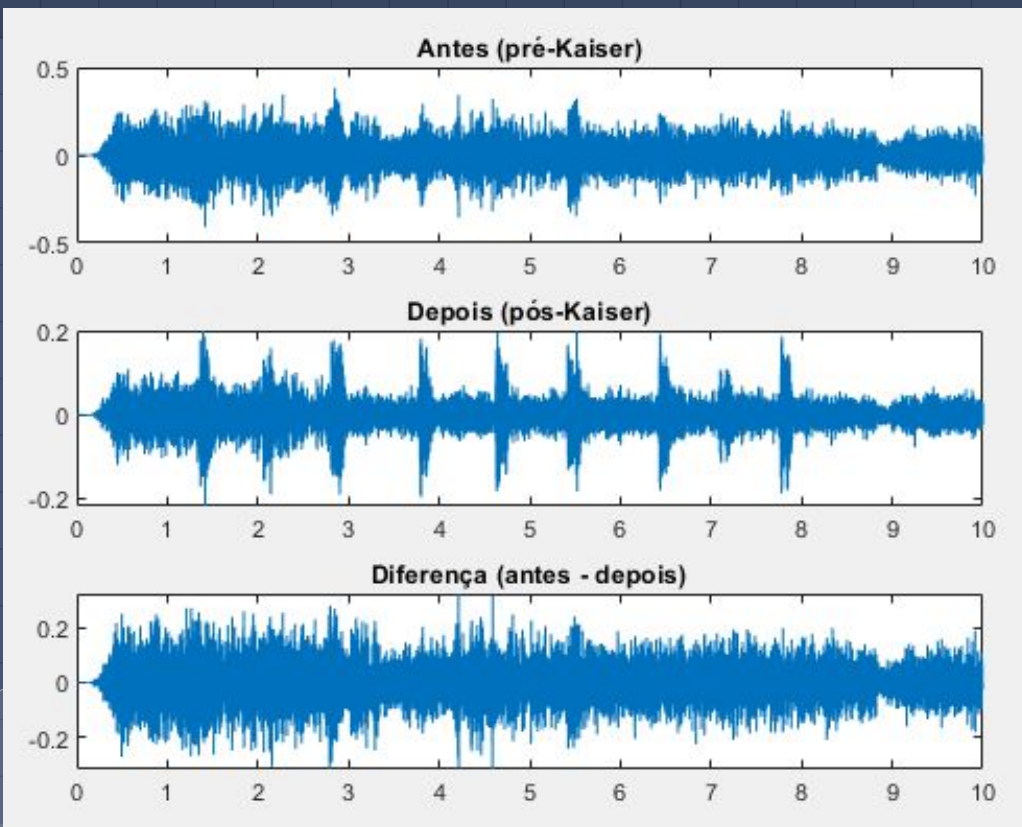


Figura 14-15: Janelamento Kaiser e Espectro do Sinal



# Metodologia



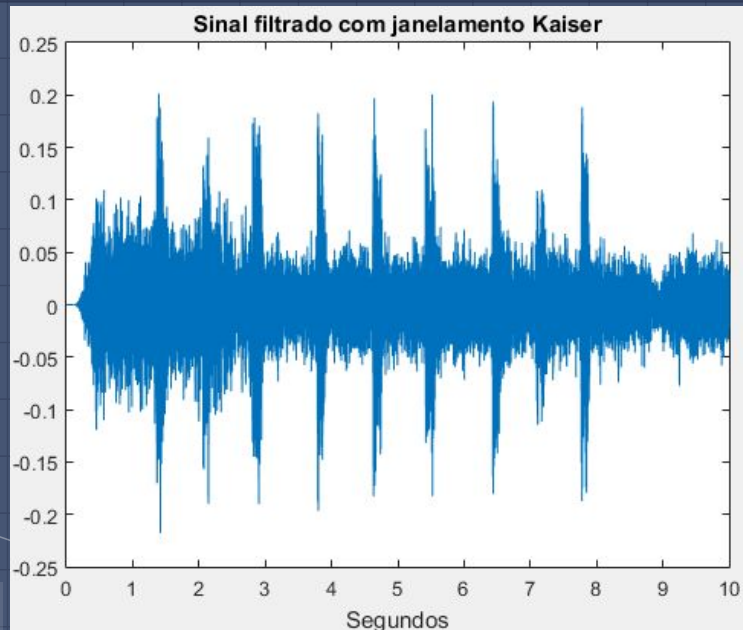
*Figura 16 - Comparação dos sinais, filtragem com janelamento Kaiser*



# Metodologia

Janelamento e filtragem possibilitaram:

- Visualizar as teclagens no domínio tempo;
- Separar intervalos para a inserção de zeros nas teclas individuais. (*Empírico*)



*Figura 17: Sinal do domínio do tempo, pós-filtragem com janelamento Kaiser*

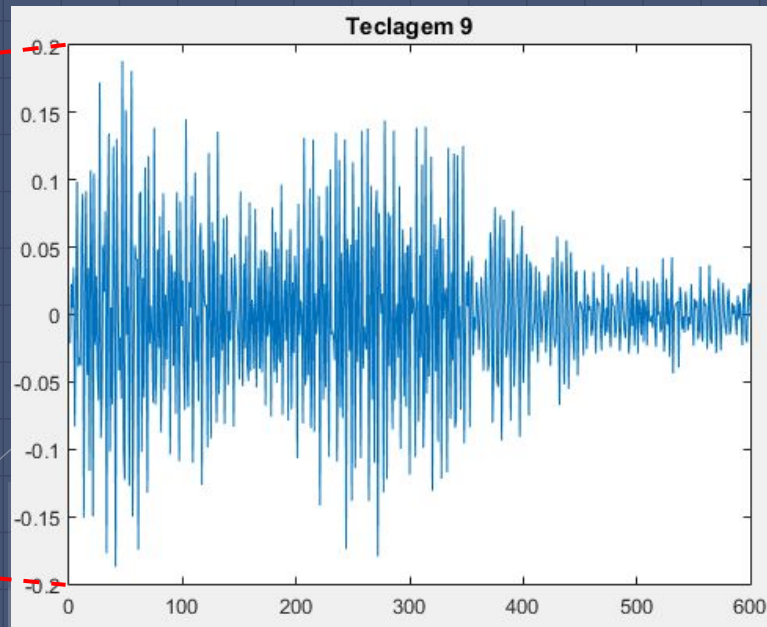
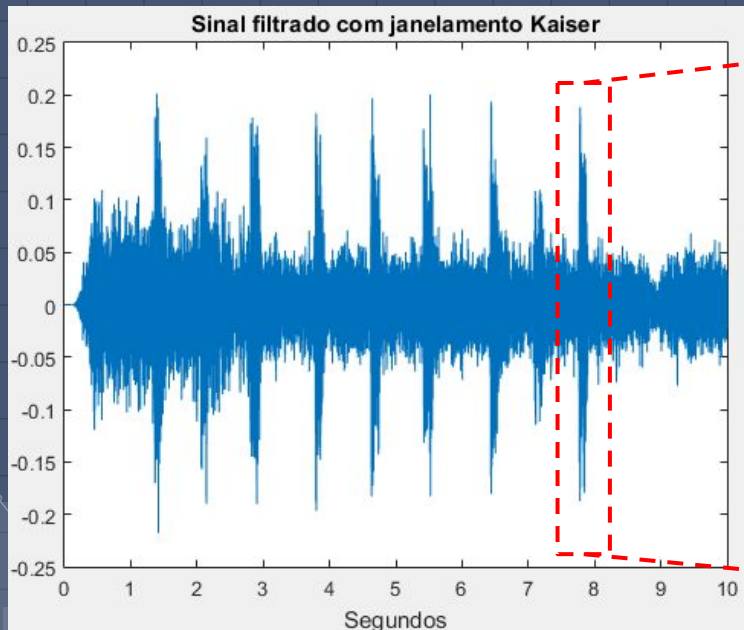
PASSO 4

4



# Metodologia

## Separação de trechos do sinal







# Metodologia

## *Inserção de zeros*

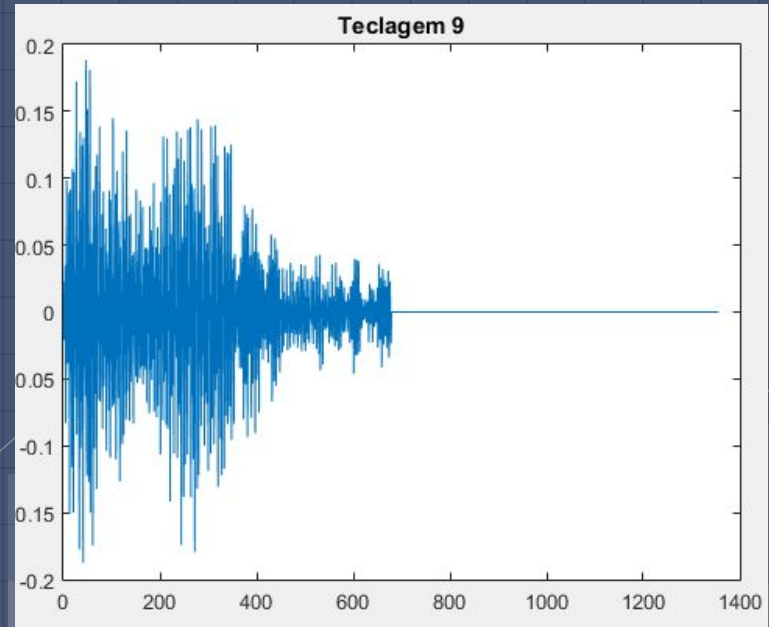
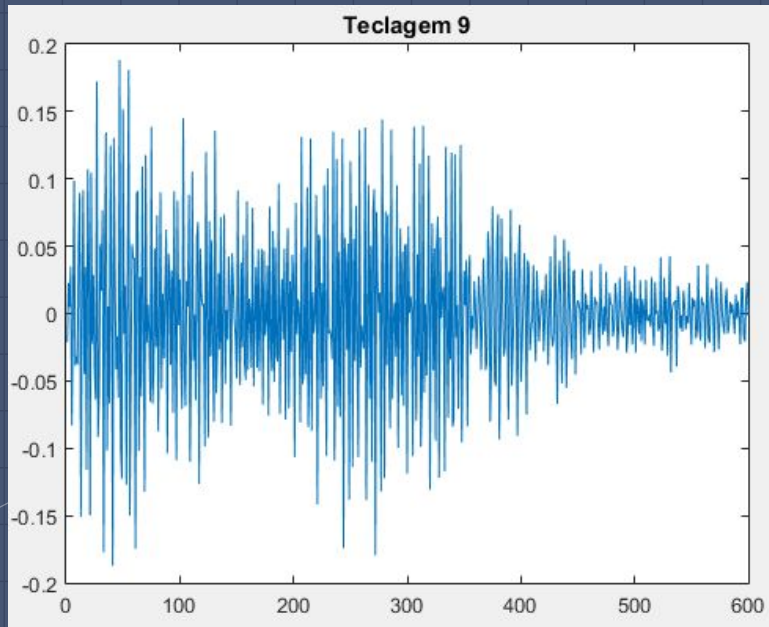
- Foi utilizado a inserção de zeros de ordem 1;
- Usado para aumentar quantidade de pontos no tempo;
  - Aumenta a resolução na frequência;
- Melhora a identificação de picos próximos.





# Metodologia

## Inserção de zeros (*zero-padding*)





# Metodologia

*Após o zero padding*

- FFT de cada tecla
- Determinação das frequências
  - Consultando tabela

DTMF

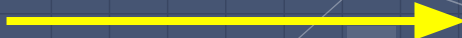


Tabela DTMF

Hz	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

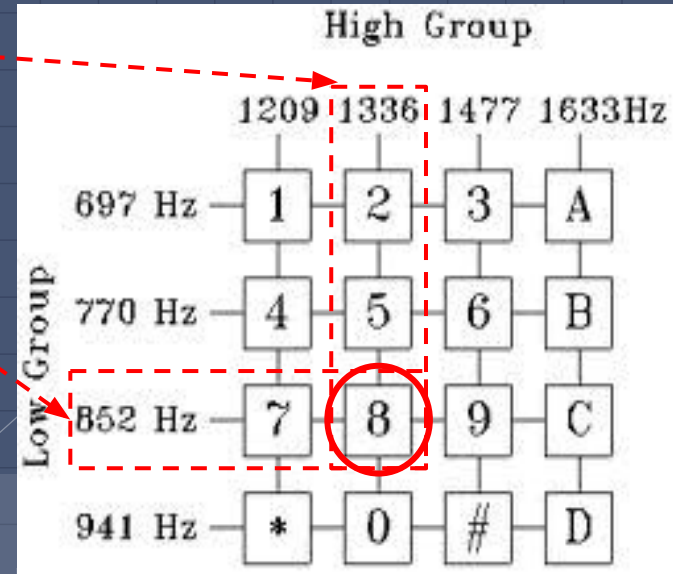


**Teclagem 9**

Two peaks are identified and labeled with their X and Y coordinates:

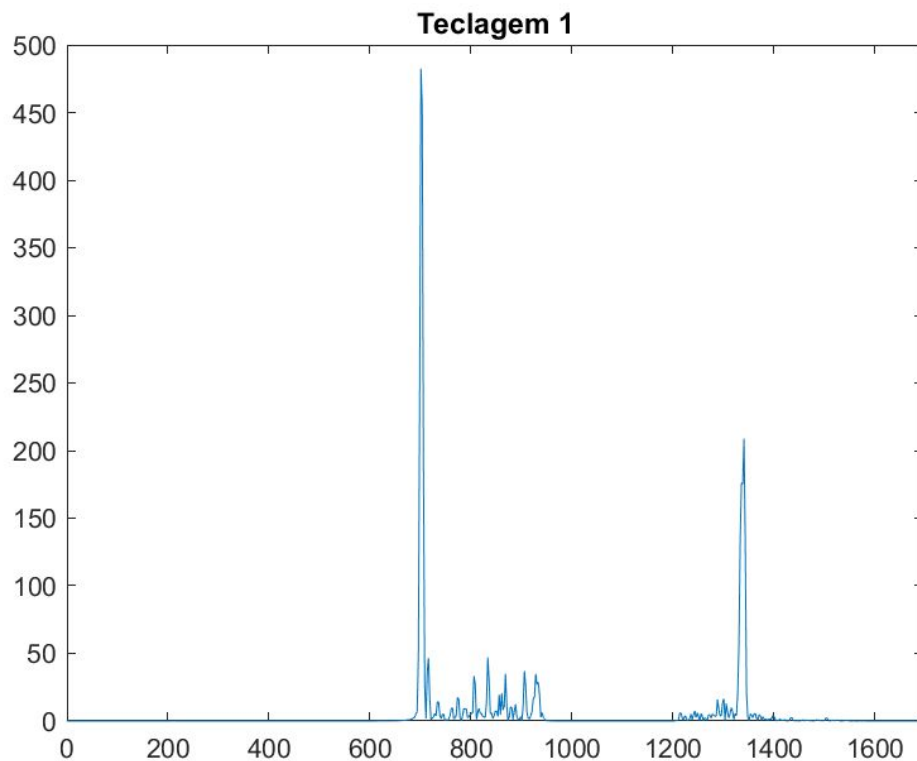
- Peak 1: X: 850, Y: 246
- Peak 2: X: 1338, Y: 393.3

A red dashed line represents a linear fit to the peaks.





# Resultados - Tecla 1



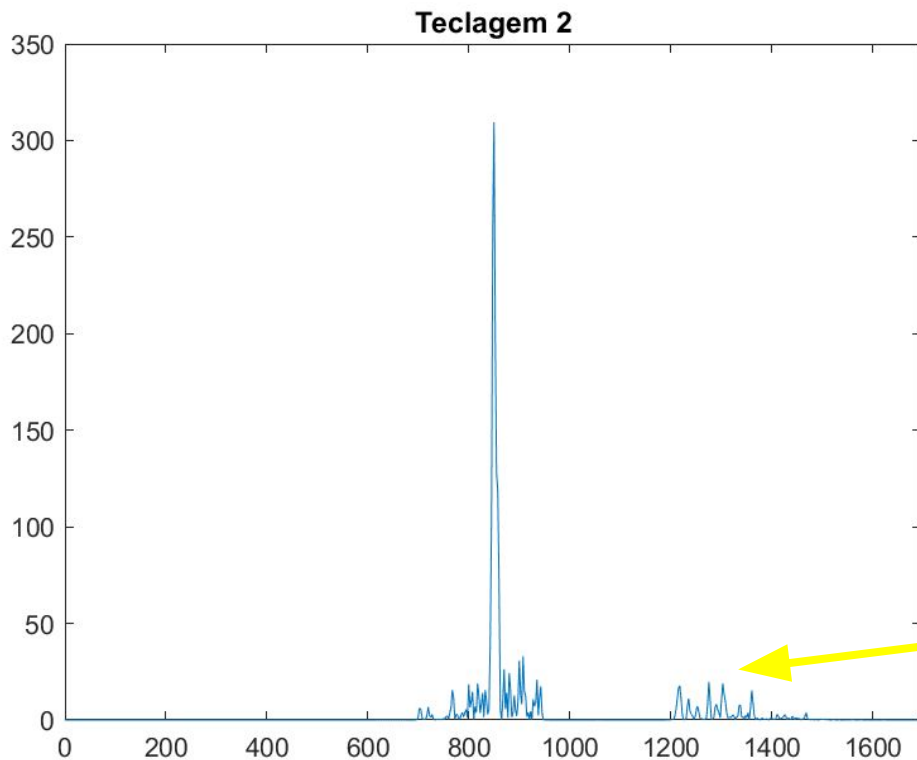
F.baixa = 701Hz

F.Alta = 1341Hz

**Dígito -> 2**



# Resultados - Tecla 2



F.baixa = 850Hz

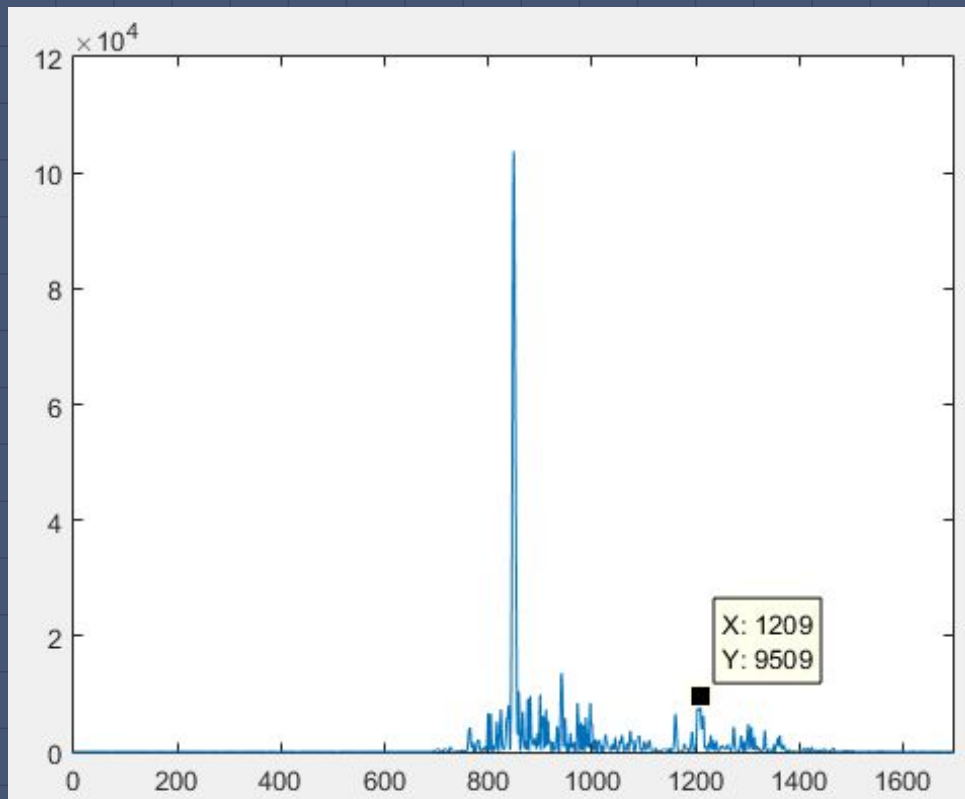
F.Alta = **????Hz**

Dígito -> ????

Impossível determinar a frequência alta. *Necessário outra abordagem*



# Resultados - Tecla 2



F.baixa = 850Hz

F.Alta = 1209Hz

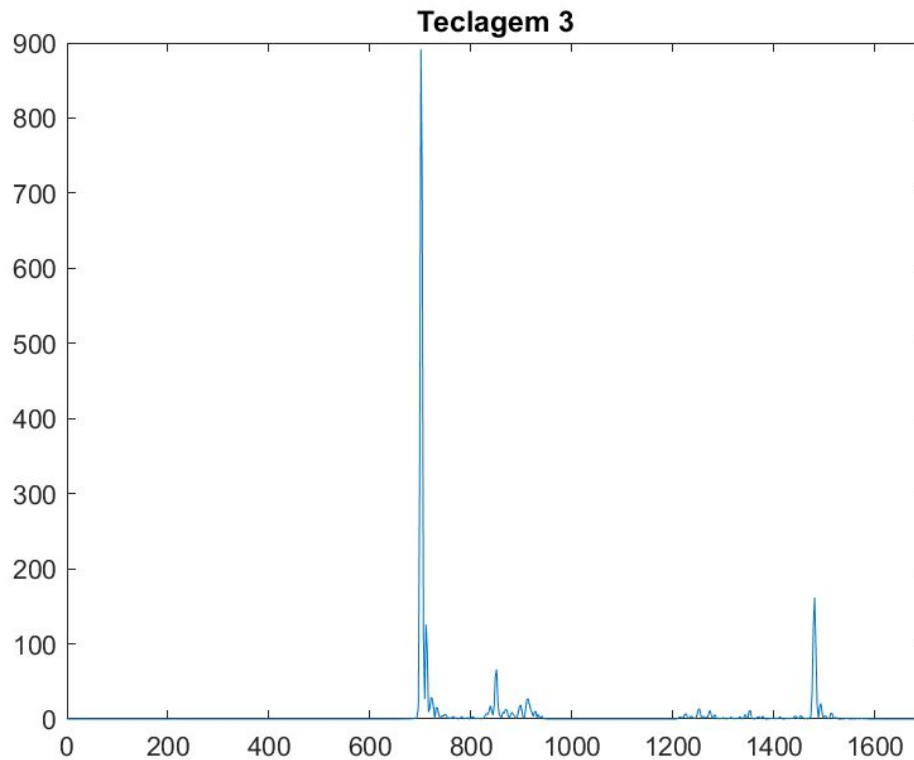
**Dígito -> 7**

Utilizado:

- Passa-Faixa
  - $f_c = 697\text{Hz} \sim 1633\text{Hz}$



# Tecla 3



F.baixa = 701Hz

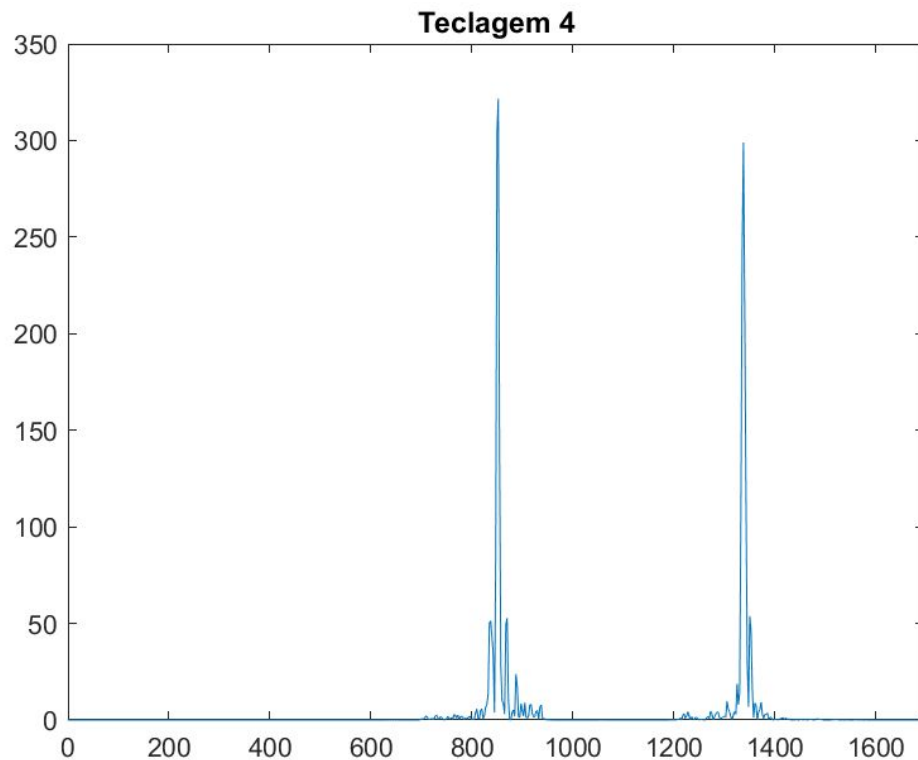
F.Alta = 1481Hz

**Dígito -> 3**





# Tecla 4



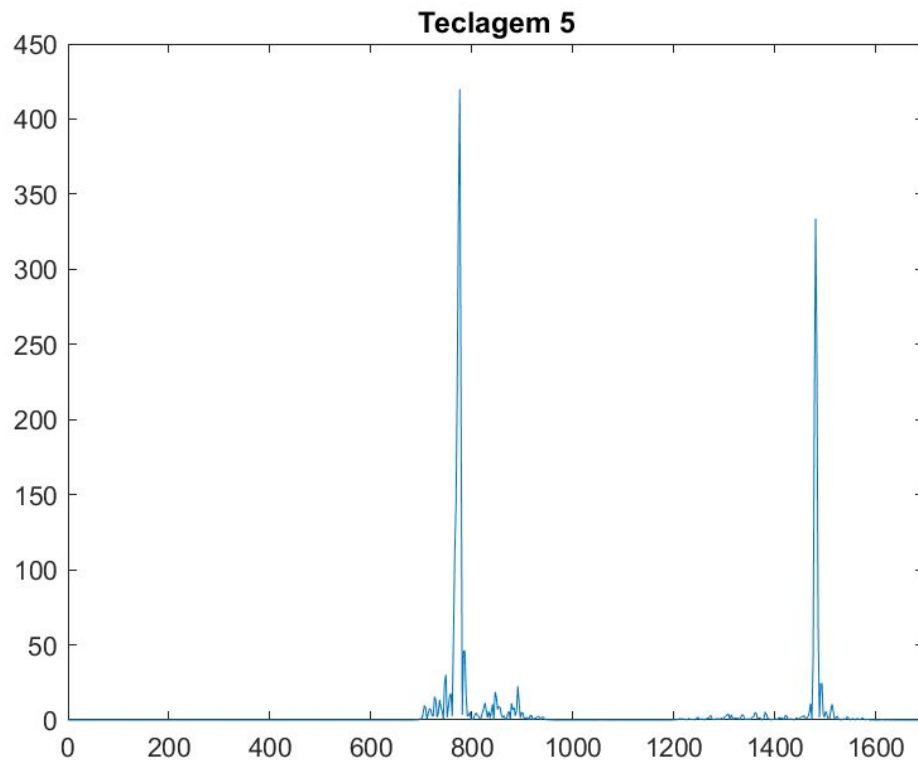
F.baixa = 852Hz

F.Alta = 1338Hz

**Dígito -> 8**



# Tecla 5



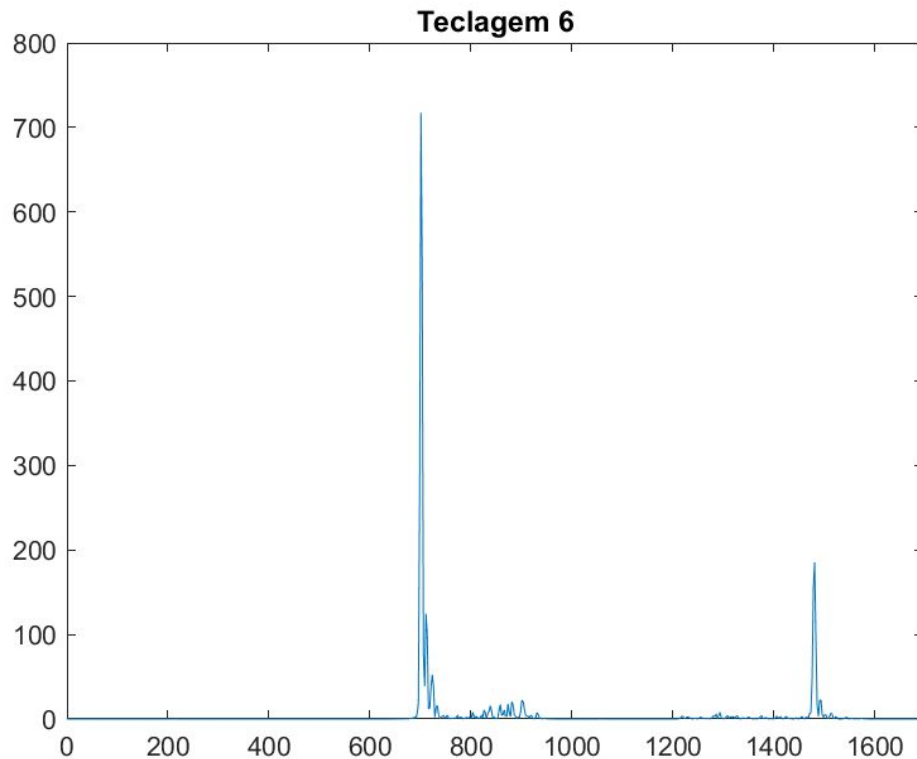
F.baixa = 776Hz

F.Alta = 1481Hz

**Dígito -> 6**



# Tecla 6



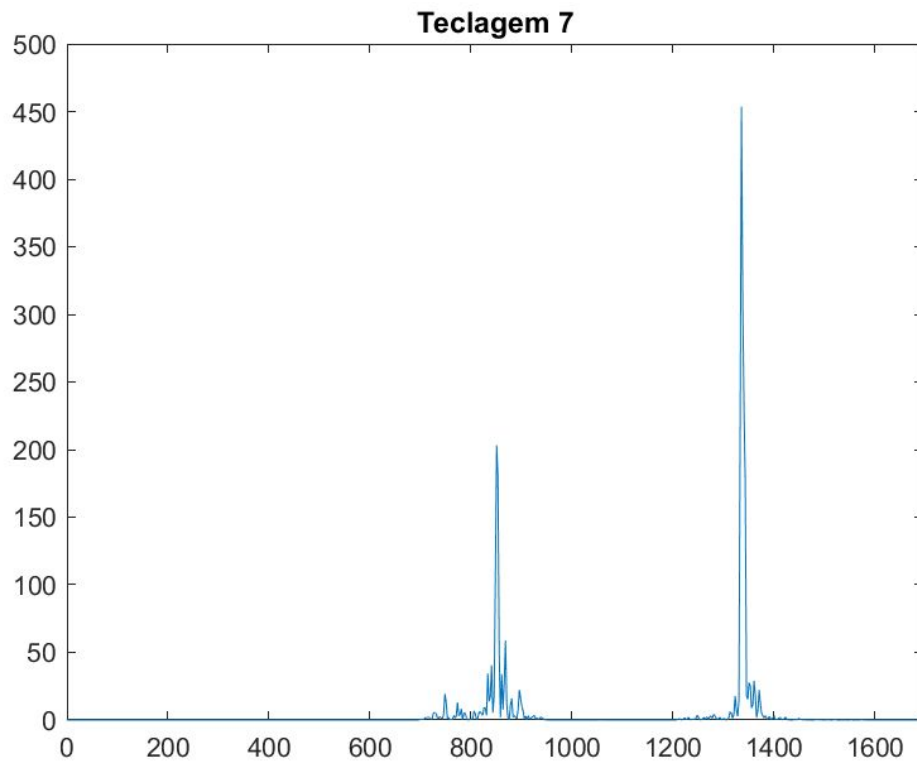
F.baixa = 701Hz

F.Alta = 1481Hz

**Dígito -> 3**



# Tecla 7



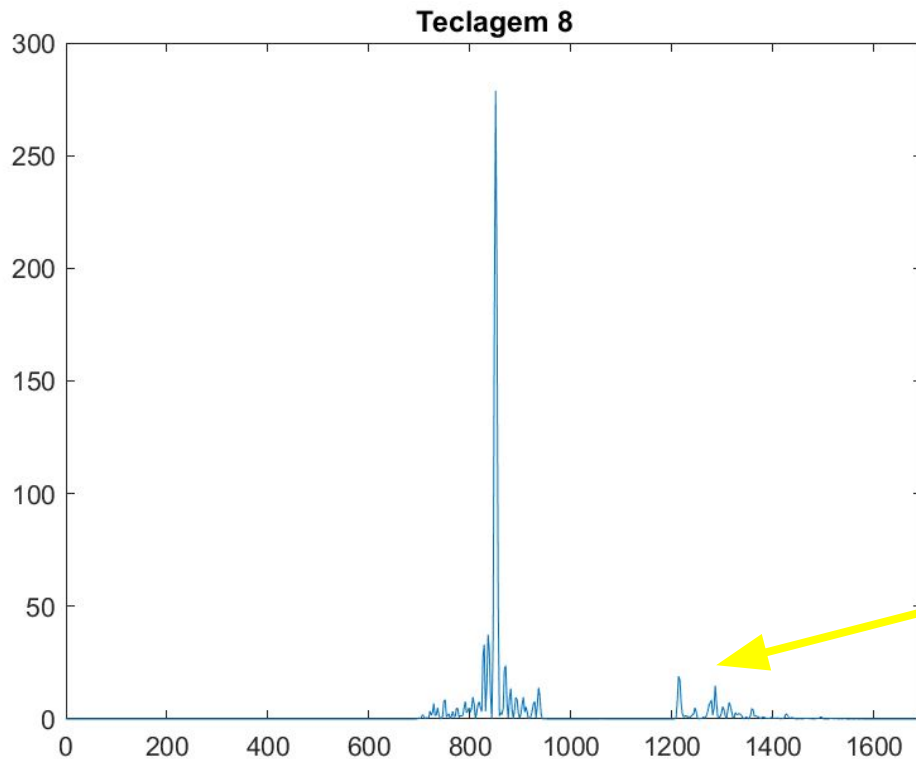
F.baixa = 851Hz

F.Alta = 1336Hz

**Dígito -> 8**



# Tecla 8



F.baixa = 851Hz

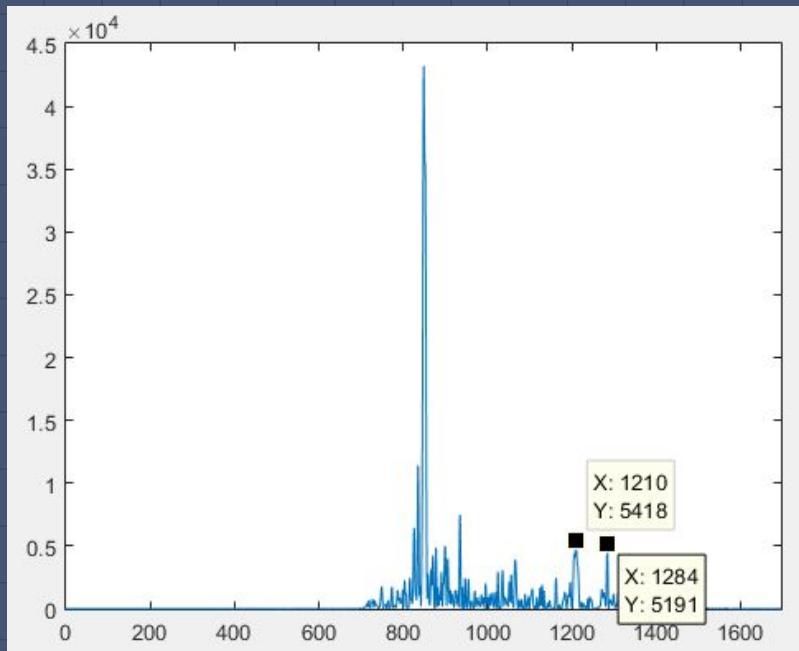
F.Alta = **????Hz**

Dígito -> ????

Impossível determinar a frequência alta. *Necessário outra abordagem*



# Tecle 8



Dois picos a partir de 1200, o mais próximo de uma frequência DTMF é o pico 1210

F.baixa = 851Hz

F.Alta = 1210Hz

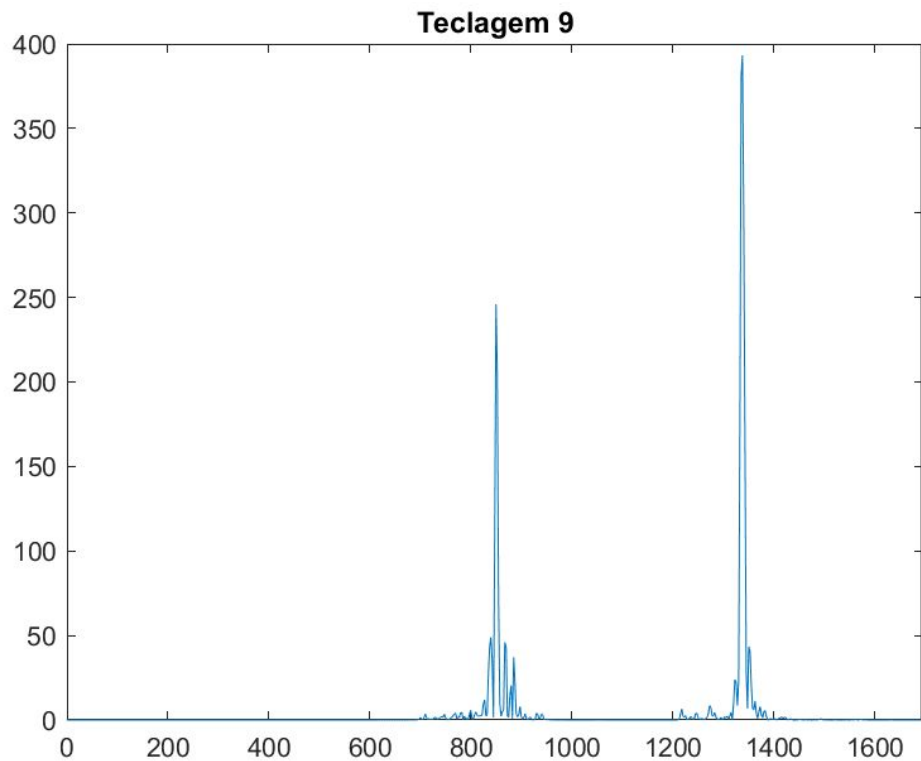
**Dígito -> 7**

Utilizado:

- Passa-Faixa
  - $f_c = 697\text{Hz} \sim 1633\text{Hz}$



# Tecla 9



F.baixa = 850Hz

F.Alta = 1338Hz

**Dígito -> 8**



# Resultados

	f-baixa (Hz)	f-alta (Hz)	nº DTMF
Teclagem 1	701	1341	<b>2</b>
Teclagem 2	850	12??/1209	<b>7</b>
Teclagem 3	701	1481	<b>3</b>
Teclagem 4	852	1338	<b>8</b>
Teclagem 5	776	1481	<b>6</b>
Teclagem 6	701	1481	<b>3</b>
Teclagem 7	851	1336	<b>8</b>
Teclagem 8	851	12??/1210	<b>7</b>
Teclagem 9	850	1338	<b>8</b>





# Conclusão

O procedimento realizado foi devidamente adequado para a mitigação dos sinais indesejados e coleta das informações relevantes. Janelas com ordens muito altas ( $>1000$ ) se tornam similares pois se aproximam da janela ideal.



**OBRIGADO!**