

# Trabalho Final

Igor da Rosa<sup>[20103930]</sup>

Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, Brasil

**Resumo** O sinal ECG(t) foi medido em um paciente e digitalizado através de um conversor A/D com uma frequência de amostragem de 1000 amostras por segundo. Sabendo que um sinal de ECG típico possui banda até aproximadamente 100 Hz, isto é, possui energia até aproximadamente 100 Hz.

**Keywords:** ECG(t), FFT

## 1 Período de amostragem e duração do sinal

### 1.1 Período de amostragem( $T_s$ )

A frequência de amostragem  $f_s$  é 1000 amostras/segundo. O período de amostragem é o inverso da frequência de amostragem:

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{1000} = 0.001s \quad (1)$$

Isso indica o intervalo de tempo entre duas amostras consecutivas do sinal.

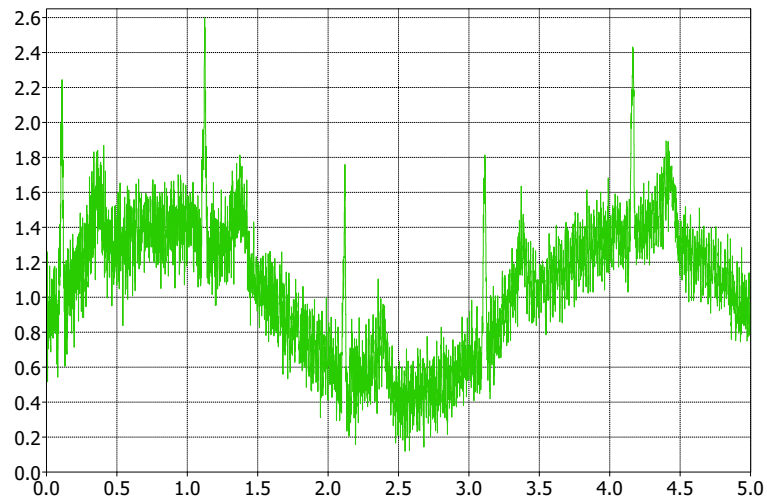
### 1.2 Duração do sinal

Para calcular o tempo total do sinal, usamos o número total de amostras ( $N$ ) e a frequência de amostragem:

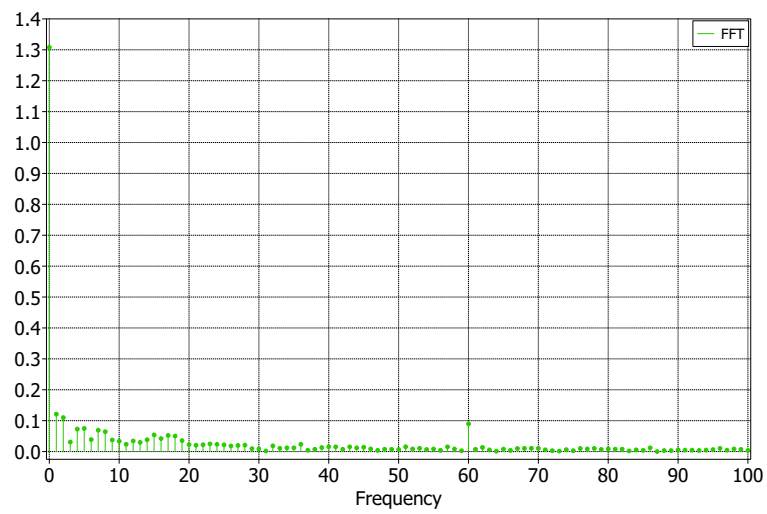
$$\text{Duração} = \frac{N}{f_s} = \frac{299111}{1000} = 299.111s \quad (2)$$

## 2 Plot do sinal e FFT

O sinal ECG está plotado na figura 1. O FFT do sinal está plotado na figura 2.



**Figura 1.** ECG(t) através do output do PLECS.



**Figura 2.** FFT do ECG(t) de sua largura de banda, através do output do PLECS.

**2.1 (a) O sinal contém offset?**

Sim o sinal possui offset, está em 1.06997.

**2.2 (b) Existem ruídos de baixa frequência? Caso afirmativo, em quais?**

É possível identificar as regiões de ruído com base em características de baixa amplitude e alta dispersão. Parece que o sinal tem componentes significativas até cerca de 0.4 na frequência, com picos bem definidos.

Após 0.4, a maioria das magnitudes parece muito menor, o que pode indicar que essas são componentes de ruído, as que têm valores baixos e não seguem um padrão harmônico dos picos principais, se estendendo até aproximadamente 1 Hz.

**2.3 (c) O sinal está contaminado com ruído proveniente da rede elétrica?**

Na Transformada de Fourier, a contaminação pela rede elétrica aparece como um pico claro em 60 Hz. Então sim, o sinal está contaminado com um ruído em 60Hz.

**2.4 (d) O sinal possui ruído acima da banda do ECG?**

Qualquer energia presente em frequências acima de 100 Hz pode ser considerada ruído.

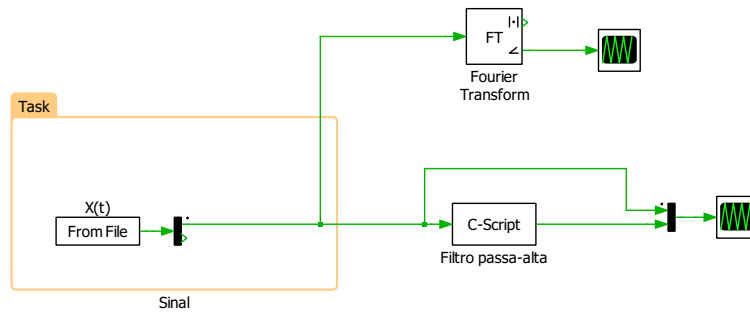
**3 Filtro digital passa alta de 1ª ordem**

Foi desenvolvido o filtro passa-alta de 1ª ordem, apresentado na figura 3. Onde o filtro é representado pelo bloco C-Script chamado filtro passa alta que contém o seguinte código:

```

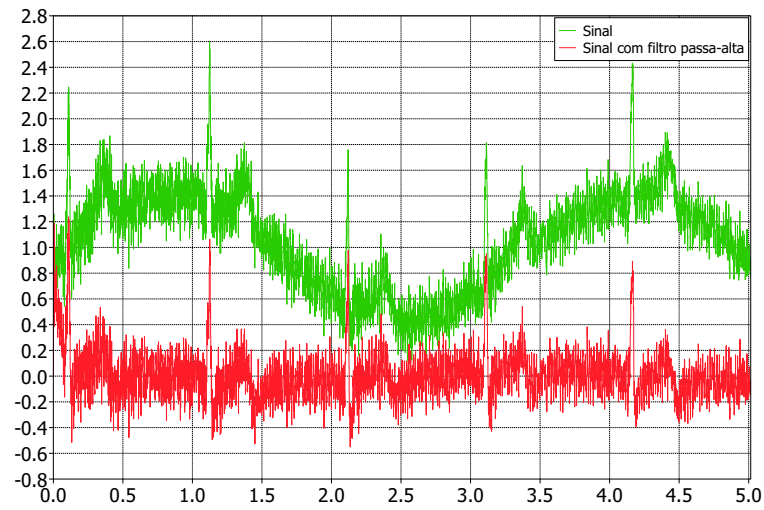
1 float sinal;           // Entrada atual x[n]
2 float sinal_ant;       // Entrada anterior x[n - 1]
3 float sinal_final;     // Saída atual y[n]
4 float sinal_final_ant; // Saída anterior y[n - 1]
5
6 #define FREQ_CORTE 3.0f // Frequência de corte em Hz
7 #define FS 1000.0f     // Frequência de amostragem
8
9 void update()
10 {
11     // Calcula o coeficiente de filtro
12     float RC = 1.0f / (2.0f * 3.14159f * FREQ_CORTE);
13     float dt = 1.0f / FS; // Período de amostragem
14     float alpha = RC / (RC + dt);
15
16     // Filtro passa-alta: y[n] = alpha * (y[n-1] + x[n] -
17     // x[n-1])
18     sinal_final = alpha * (sinal_final_ant + sinal -
19     // sinal_ant);
20
21     // Atualiza valores anteriores
22     sinal_ant = sinal;
23     sinal_final_ant = sinal_final;
24 }

```

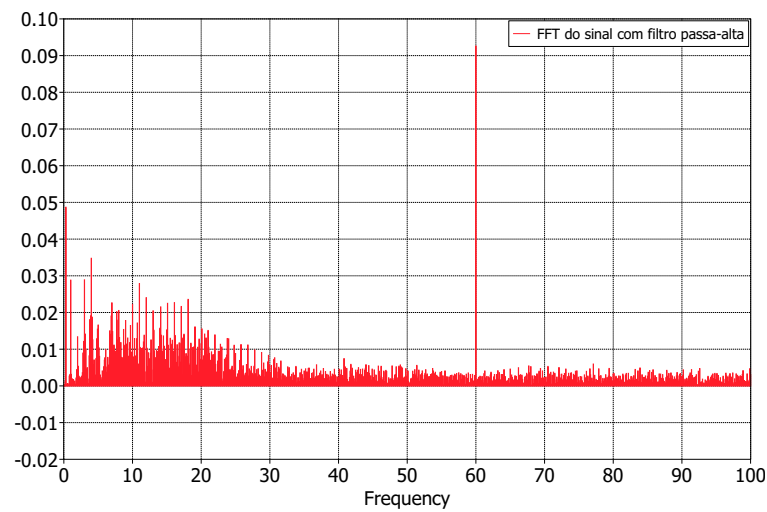


**Figura 3.** Montagem do sistema para o filtro passa-alta de primeira ordem, no software PLECS.

E os resultados do ECG(t), para 5 segundos com o filtro passa-alta está representado na figura 4. Já o resultado do FFT do ECG(t) pode ser observado na figura 5.



**Figura 4.** Sinal do ECG(t) com o filtro passa-alta, no software PLECS.



**Figura 5.** FFT do sinal do ECG(t) com o filtro passa-alta, no software PLECS.

### 3.1 (a) Qual a função de transferência do filtro? E qual a equação a diferenças utilizada?

A equação de diferenças do filtro passa-alta é dado pela equação abaixo:

$$y[n] = \alpha(y[n-1] + x[n] - x[n-1]) \quad (3)$$

Onde:

- $x[n]$  Entrada atual (sinal).
- $x[n-1]$  Entrada anterior.
- $y[n]$  Saída atual.
- $y[n-1]$  Saída anterior.
- $\alpha = \frac{RC}{RC+\Delta T}$  Coeficiente do filtro, dependente da frequência de corte e da frequência de amostragem.

Com base na equação de diferenças, obtemos pela transformada de Z:

$$\begin{aligned} Y[z] &= \alpha(z^{-1}Y[z] + X[z] - z^{-1}X[z]) \\ Y[z](1 - \alpha z^{-1}) &= \alpha(X[z] - z^{-1}X[z]) \end{aligned} \quad (4)$$

Logo o nosso  $H(z)$  será:

$$H[z] = \frac{Y[z]}{X[z]} = \frac{\alpha(1 - z^{-1})}{(1 - \alpha z^{-1})} \quad (5)$$

### 3.2 (b) Plote o diagrama de magnitude (Bode) desse filtro. Qual a frequência de corte encontrada?

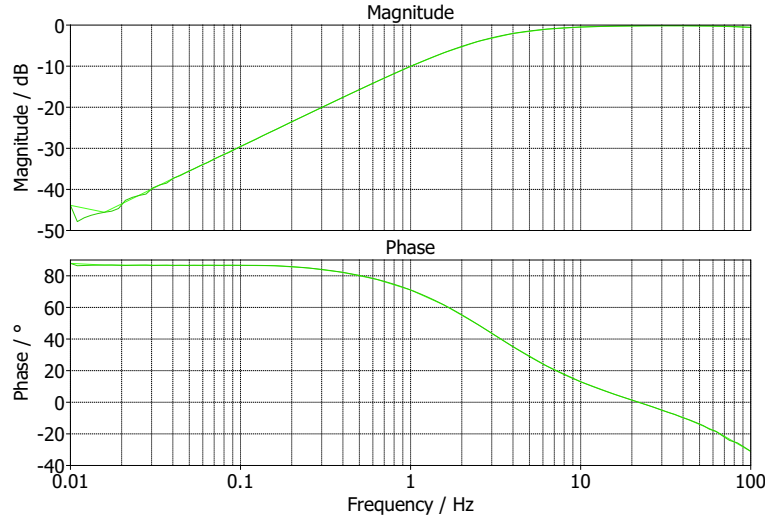
O diagrama de Bode está representado na figura 6. A frequência de corte, onde o ganho é de -3dB, foi encontrada em 3Hz, assim como foi definido no código.

### 3.3 (c) Qual o objetivo do filtro passa altas para este caso?

O objetivo do filtro passa-altas neste caso é remover componentes de baixa frequência ou ruídos de baixa frequência presentes no sinal de entrada. Isso pode incluir:

- **Remoção de offset do sinal:** O filtro passa-alta elimina essa componente, centralizando o sinal em torno de zero.
- **Eliminação de ruídos de baixa frequência:** O filtro passa-altas atenua essas frequências, permitindo que frequências mais altas, relacionadas à dinâmica útil do sinal, passem inalteradas.

Neste caso específico, com uma frequência de corte definida como 3 Hz, o filtro está configurado para preservar as frequências acima de 3 Hz (como as componentes do ECG de interesse) e atenuar as frequências mais baixas, que normalmente correspondem ao ruído ou desvios indesejados no sinal.



**Figura 6.** Diagrama de bode do filtro passa-alta, no software PLECS.

### 3.4 (d) Quais as mudanças observadas no sinal $ECG_{pa}(t)$ e na FFT do mesmo?

Após a aplicação do filtro passa-altas, o sinal  $ECG_{pa}(t)$  teve os componentes de baixa frequência atenuados, o que reduziu a amplitude de variações lentas, como tendências ou offsets. Isso é evidente pela redução do desvio em relação ao eixo zero.

Na FFT do sinal filtrado figura 5, observa-se que os componentes em baixas frequências, próximos a 0 Hz, foram atenuados. Isso é esperado, pois o filtro passa-alta remove precisamente essas frequências. A frequência de 60 Hz, possivelmente relacionada ao ruído da rede elétrica, ainda está presente, mas as amplitudes dos componentes de baixa frequência foram consideravelmente reduzidas.

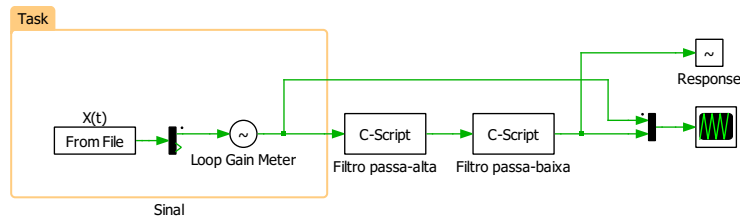
## 4 Filtro digital passa-baixa de 1ª ordem

Foi desenvolvido o filtro passa-baixa de 1ª ordem, apresentado na figura 7. Onde o filtro é representado pelo bloco C-Script chamado filtro passa alta que contém o seguinte código:

```

1 float sinal;           // Entrada atual x[n]
2 float sinal_ant;       // Entrada anterior x[n - 1]
3 float sinal_final;     // Saída atual y[n]
4 float sinal_final_ant; // Saída anterior y[n - 1]
5
6 #define FREQ_CORTE 100.0f // Frequência de corte em Hz
7 #define FS 1000.0f      // Frequência de amostragem
8
9 void update()
10 {
11     // Calcula o coeficiente de filtro
12     float RC = 1.0f / (2.0f * 3.14159f * FREQ_CORTE);
13     float dt = 1.0f / FS; // Período de amostragem
14     float alpha = dt / (RC + dt);
15
16     // Filtro passa-baixa:  $y[n] = \alpha * x[n] + (1 - \alpha) * y[n-1]$ 
17     sinal_final = alpha * sinal + (1.0f - alpha) *
18         sinal_final_ant;
19
20     // Atualiza valores anteriores
21     sinal_ant = sinal;
22     sinal_final_ant = sinal_final;
23 }

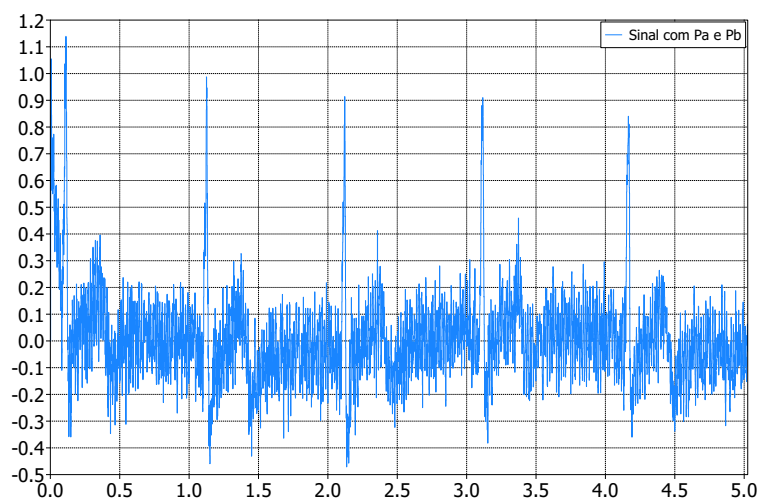
```



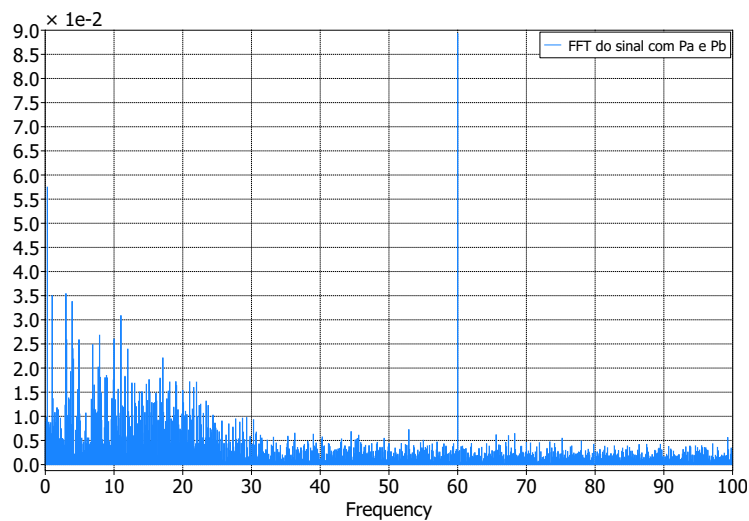
**Figura 7.** Montagem do sistema para o filtro passa-baixa de primeira ordem após o filtro passa-alta de primeira ordem, no software PLECS.

Onde obtemos o sinal ECG(t) representado na figura 8. Também obtemos o FFT do sinal ECG(t) representado na figura 9.





**Figura 8.** Sinal ECG(t), filtrado por passa-alta,em seguida de um passa-baixa, no software PLECS.



**Figura 9.** FFT do sinal ECG(t), filtrado por passa-alta,em seguida de um passa-baixa, no software PLECS.

#### 4.1 (a) Qual a função de transferência do filtro? E qual a equação a diferenças utilizada?

A equação de diferenças do filtro passa-baixa é dado pela equação abaixo:

$$y[n] = \alpha(x[n]) + (1 - \alpha)y[n - 1] \quad (6)$$

Onde:

- $x[n]$  Entrada atual (sinal).
- $y[n]$  Saída atual.
- $y[n - 1]$  Saída anterior.
- $\alpha = \frac{\Delta T}{RC + \Delta T}$  Coeficiente do filtro, dependente da frequência de corte e da frequência de amostragem.

Com base na equação de diferenças, obtemos pela transformada de Z:

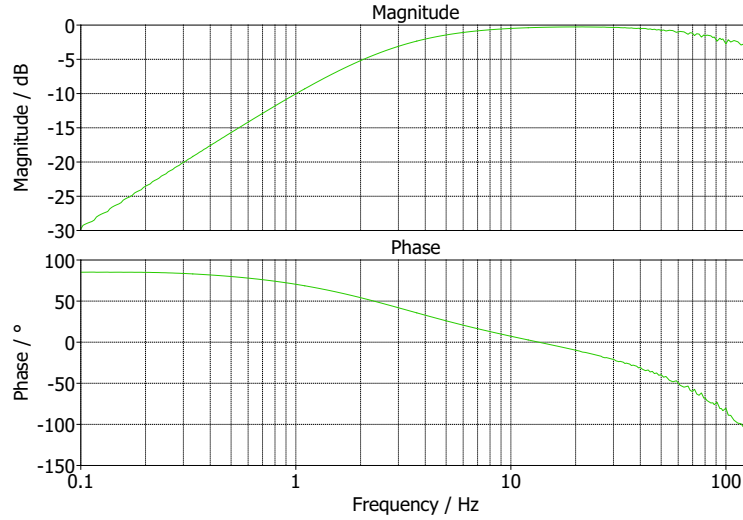
$$Y[z] = \alpha X[z] + (1 - \alpha)z^{-1}Y[z] \quad Y[z](1 - (1 - \alpha)z^{-1}) = \alpha X[z] \quad (7)$$

Logo o nosso  $H(z)$  será:

$$H[z] = \frac{Y[z]}{X[z]} = \frac{\alpha}{(1 - (1 - \alpha)z^{-1})} \quad (8)$$

#### 4.2 (b) Plote o diagrama de magnitude (Bode) desse filtro. Qual a frequência de corte encontrada?

O diagrama de Bode está representado na figura 10. A frequência de corte, onde o ganho é de -3dB, foi definida em 100Hz, porém, existe uma "trepidação" após os 100Hz no diagrama de Bode. Isso indica que pode haver ruído no equipamento de medição ou no ambiente, resultando em uma resposta não suave. Porém, a frequência de corte se aproxima muito de 100Hz apesar da trepidação do sinal.



**Figura 10.** Diagrama de bode do filtro passa-baixa após passar por um passa-alta, no software PLECS.

#### 4.3 (c) Qual o objetivo do filtro passa baixas para este caso?

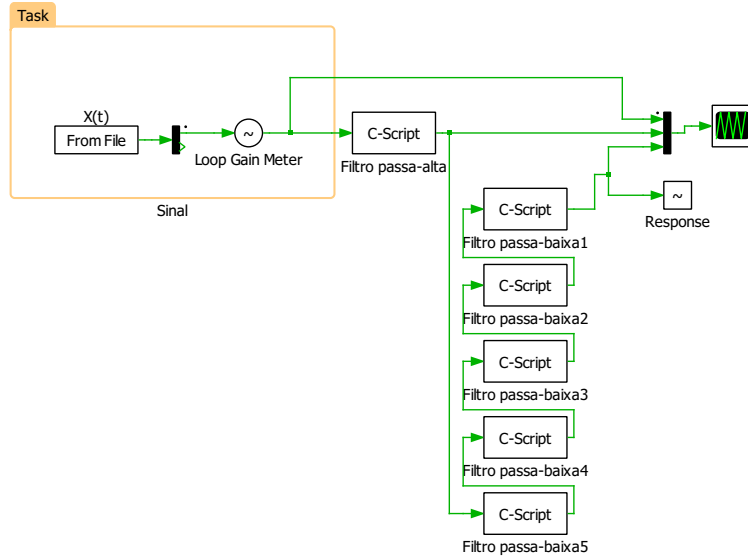
Após o passa-alta, o filtro passa-baixa remove as altas frequências indesejadas, como ruídos de alta frequência ou variações rápidas no sinal. O objetivo final é isolar as frequências relevantes do sinal de interesse, que no caso do ECG correspondem à faixa de 3 Hz a cerca de 100 Hz.

#### 4.4 (d) Quais as mudanças observadas no sinal $ECG_{pb}(t)$ e na FFT do mesmo?

As mudanças são bem pouco visíveis, porém a variação do sinal muda brevemente. Já sobre o FFT, o nível geral de ruído é reduzido, resultando em um sinal mais limpo.

### 5 Filtro passa-baixa de 5ª ordem

O filtro passa-baixa de 5ª ordem após o filtro passa-alta foi implementado, representado no sistema da figura 11.



**Figura 11.** Sistema de 1 filtro passa-alta e 5 filtros passa-baixa, no software PLECS.

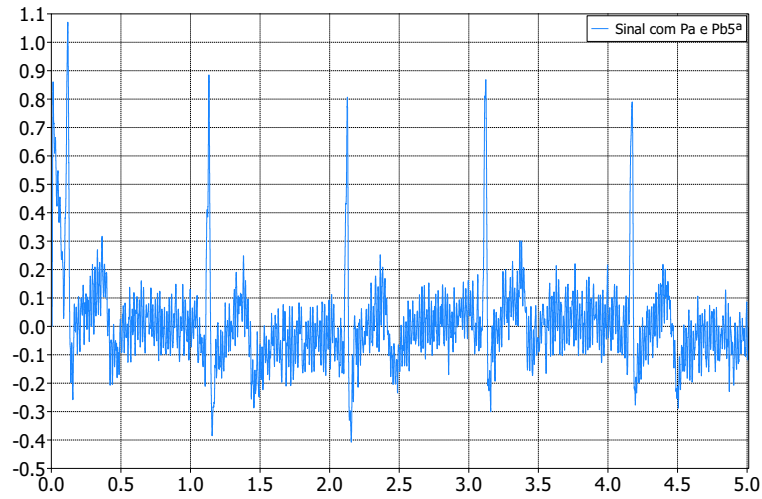
Gerando o sinal  $ECG_{pb2}(t)$  representado na figura 12. E gerando o FFT do sinal representado na figura 13.

Podemos observar que aumentou consideravelmente a suavidade do  $ECG(t)$ , deixando a curva bem encorpada, definida e fácil de interpretar. O FFT não aparentou mudar muito visualmente, mas percebe-se uma pequena redução no tamanho dos picos. Também percebe-se redução nos picos de baixa frequência, que pode indicar que o componente de baixa frequência de um sinal foi atenuado

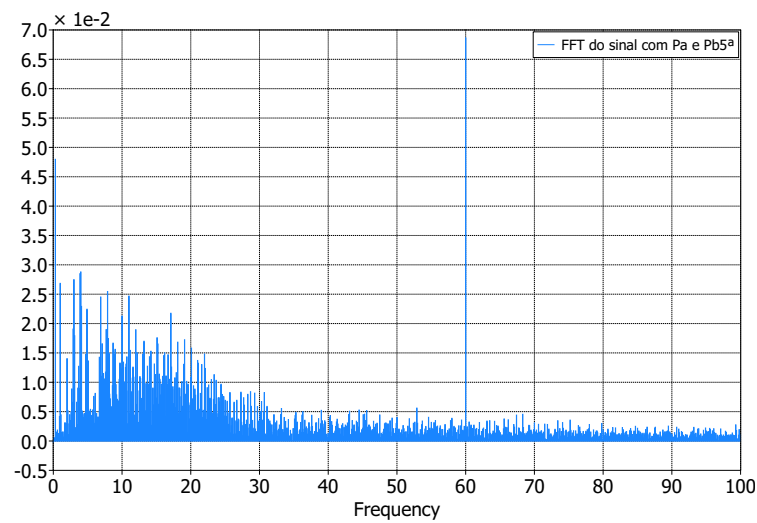
## 6 Mudança de frequência de corte para os filtros passa-baixa para 50Hz

O  $ECG_{pb3}(t)$  está representado na figura 14. Já o FFT do sinal está representado na figura 15.

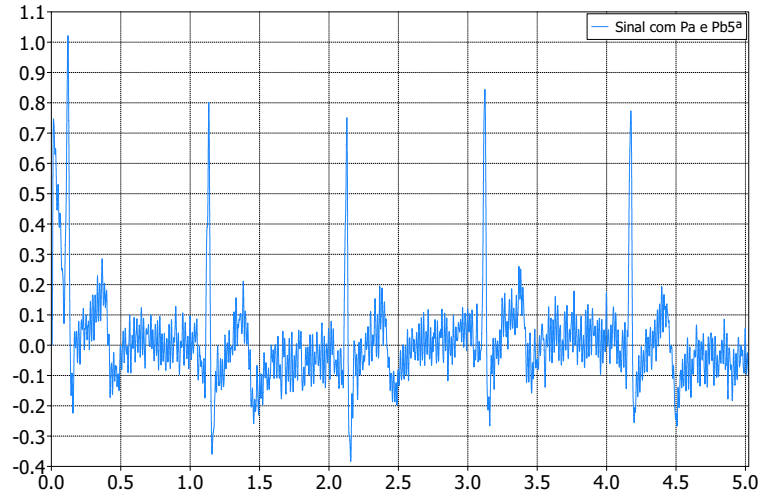
As principais mudanças observadas são a redução significativa da interferência causada pela rede elétrica, concentrada na frequência de 60 Hz, com uma diminuição considerável do pico próximo a essa frequência. Além disso, o filtro atenuou com maior intensidade os componentes do sinal em frequências mais altas, especialmente aquelas acima da frequência de corte de 50 Hz.



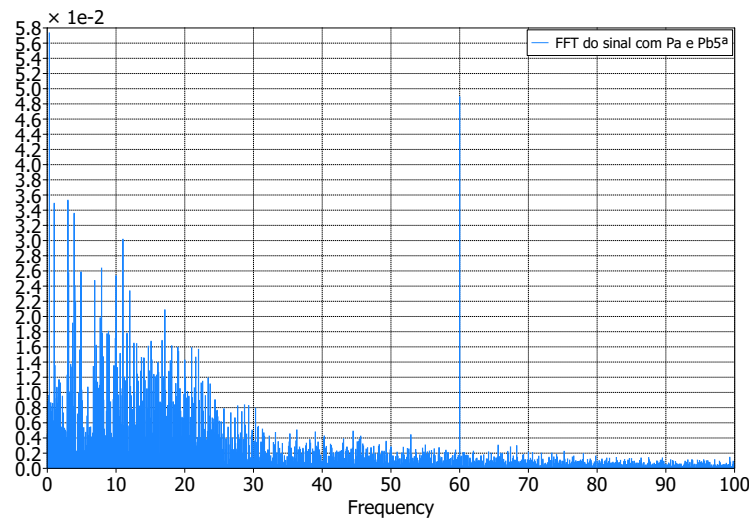
**Figura 12.** Sinal do sistema de passa-alta de 1ª ordem seguido do passa-baixa de 5ª ordem, no software PLECS.



**Figura 13.** FFT do sinal do sistema de passa-alta de 1ª ordem seguido do passa-baixa de 5ª ordem, no software PLECS.



**Figura 14.** Sinal do sistema de passa-alta de 1ª ordem seguido do passa-baixa de 5ª ordem com 50Hz de frequência de corte, no software PLECS.



**Figura 15.** FFT do sinal do sistema de passa-alta de 1ª ordem seguido do passa-baixa de 5ª ordem com 50Hz de frequência de corte, no software PLECS.