



Introdução ao Processamento Digital do Sinal Eletrocardiográfico

Lic. José Ramón González Montero

Processamento de Imagens e Sinais Biológicos

Niterói, Março 2016

Conteúdo

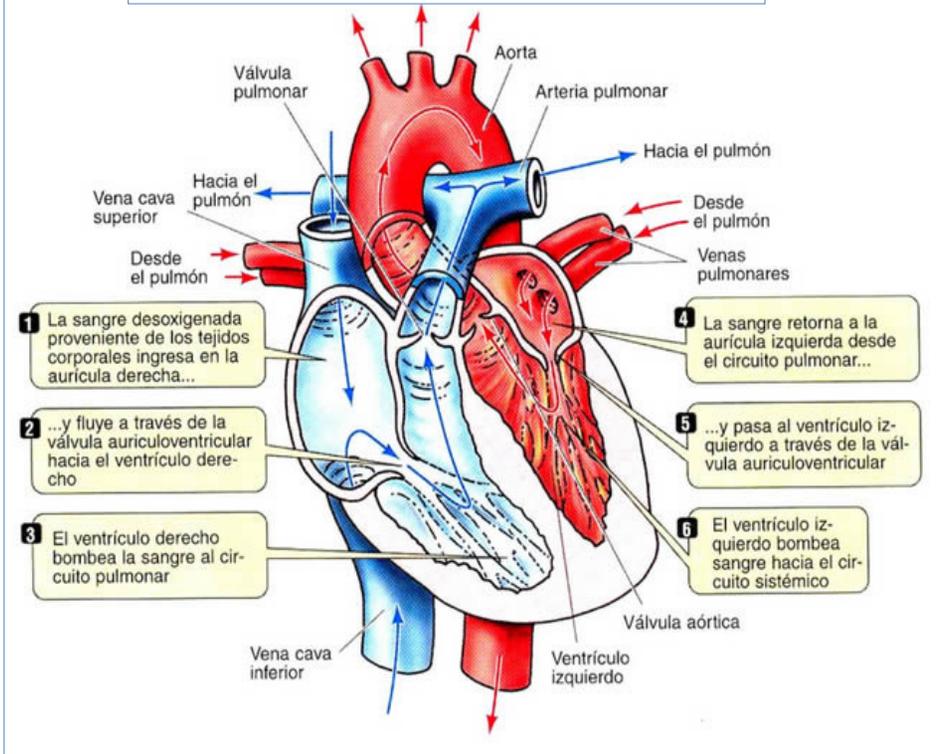
1. Eletrocardiografia básica
2. Processamento digital do sinal (PDS ou DSP) ECG
3. Representação no domínio da frequência. Transformada de Fourier e filtragem
4. Detecção da fibrilação ventricular em tempo real
5. Referências

1. Eletrocardiografia básica

Fases do ciclo cardíaco

- 1. Diástole:** relaxamento ou período inativo pela repolarização das fibras musculares do coração
- 2. Enchimento ventricular:** ao final da diástole ventricular existem aproximadamente 130 ml de sangue em cada ventrículo
- 3. Sístole ventricular:** contração causada pela despolarização dos ventrículos

Fases do ciclo cardíaco

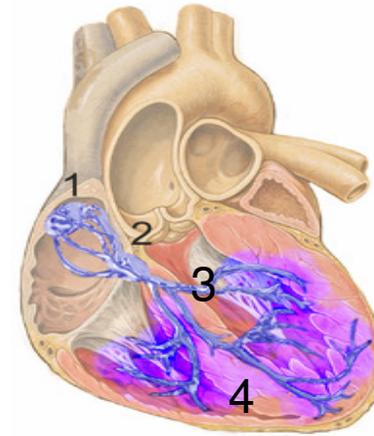


Contrações cíclicas (síncrona e ordenada)

1. Eletrocardiografia básica

Sistema de estimulação e condução elétrica

1. Nódulo Sinoatrial ou Sinusal (NS)
2. Nódulo atrioventricular (NAV)
3. Feixe de His
4. Fibras de Purkinje



Tipos de células

(morfológica e funcionalmente diferentes)

- Contrações
- Especializadas
- Endócrinas

Propriedades das células

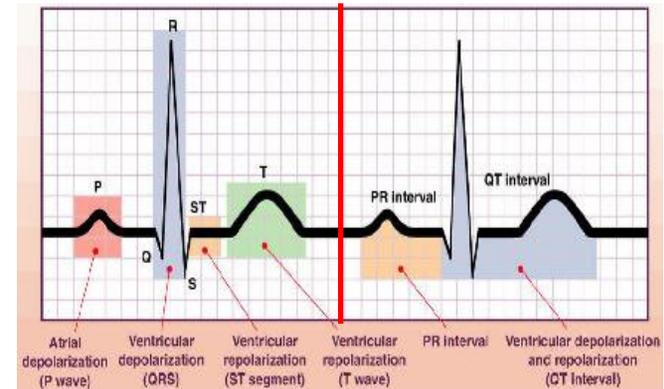
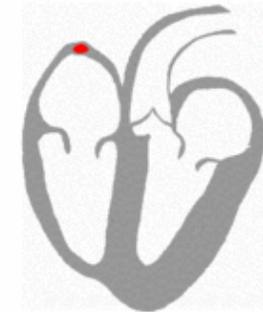
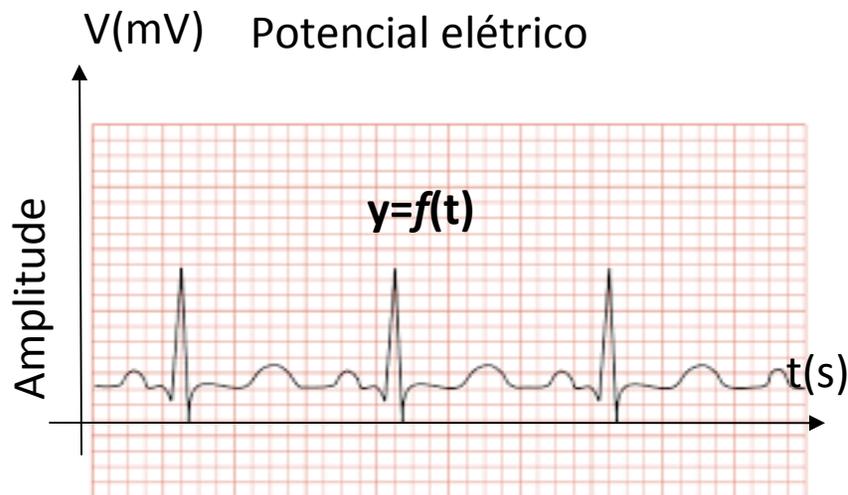
- **Automatismo:** gerar um impulso elétrico (no NS)
- **Excitabilidade:** responder a um impulso elétrico
- **Condução:** transmitir um impulso elétrico

1. Eletrocardiografia básica

Eletrocardiograma (ECG)

- Termo introduzido no ano 1893 por Willem Einthoven.

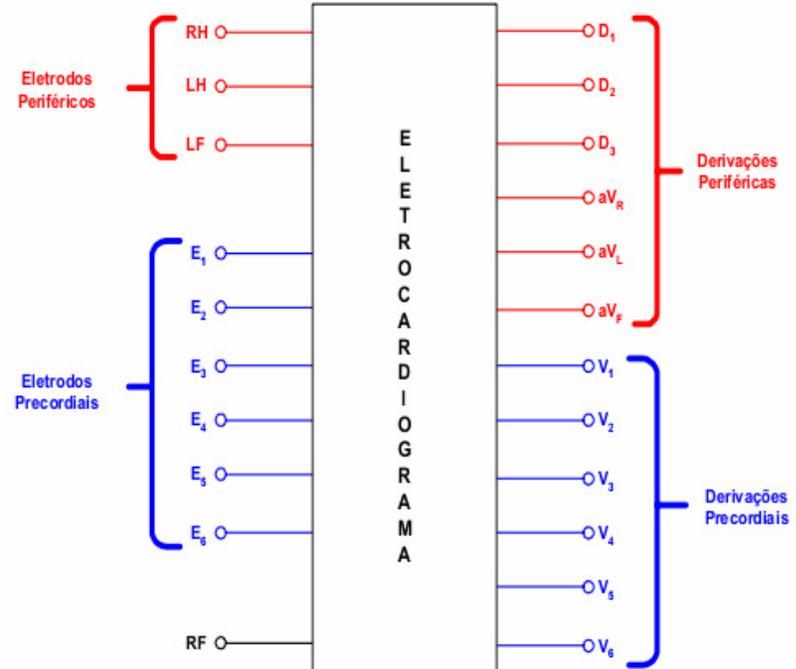
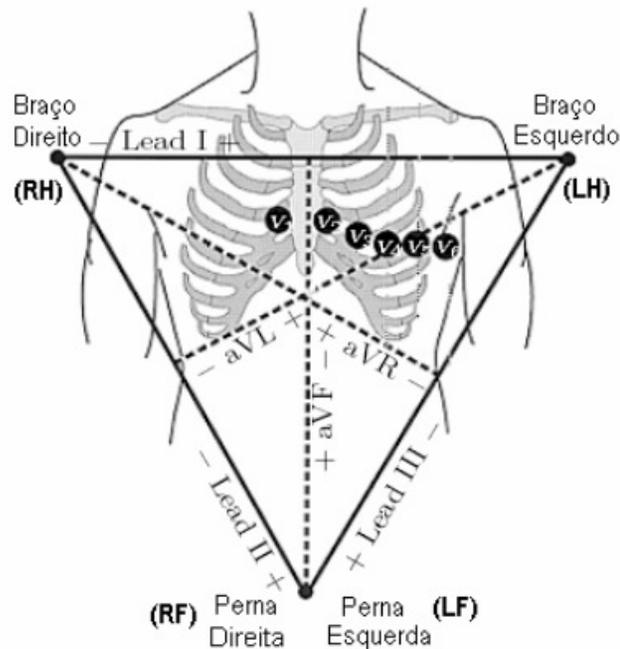
Eletrocardiograma → **Representação gráfica da atividade elétrica do coração**



Período vs Frequência cardíaca (batidas/minuto)

1. Eletrocardiografia básica

Derivações do ECG



$$D_I = LH - RH$$

$$D_{II} = LF - RH$$

$$D_{III} = LF - LH$$

$$aV_R = RH - \frac{LH + LF}{2}$$

$$aV_L = LH - \frac{RH + LF}{2}$$

$$aV_F = LF - \frac{LH + RH}{2}$$

$$V_n = E_n - \frac{LH + RH + LF}{3}, n = 1, 2 \dots 6$$

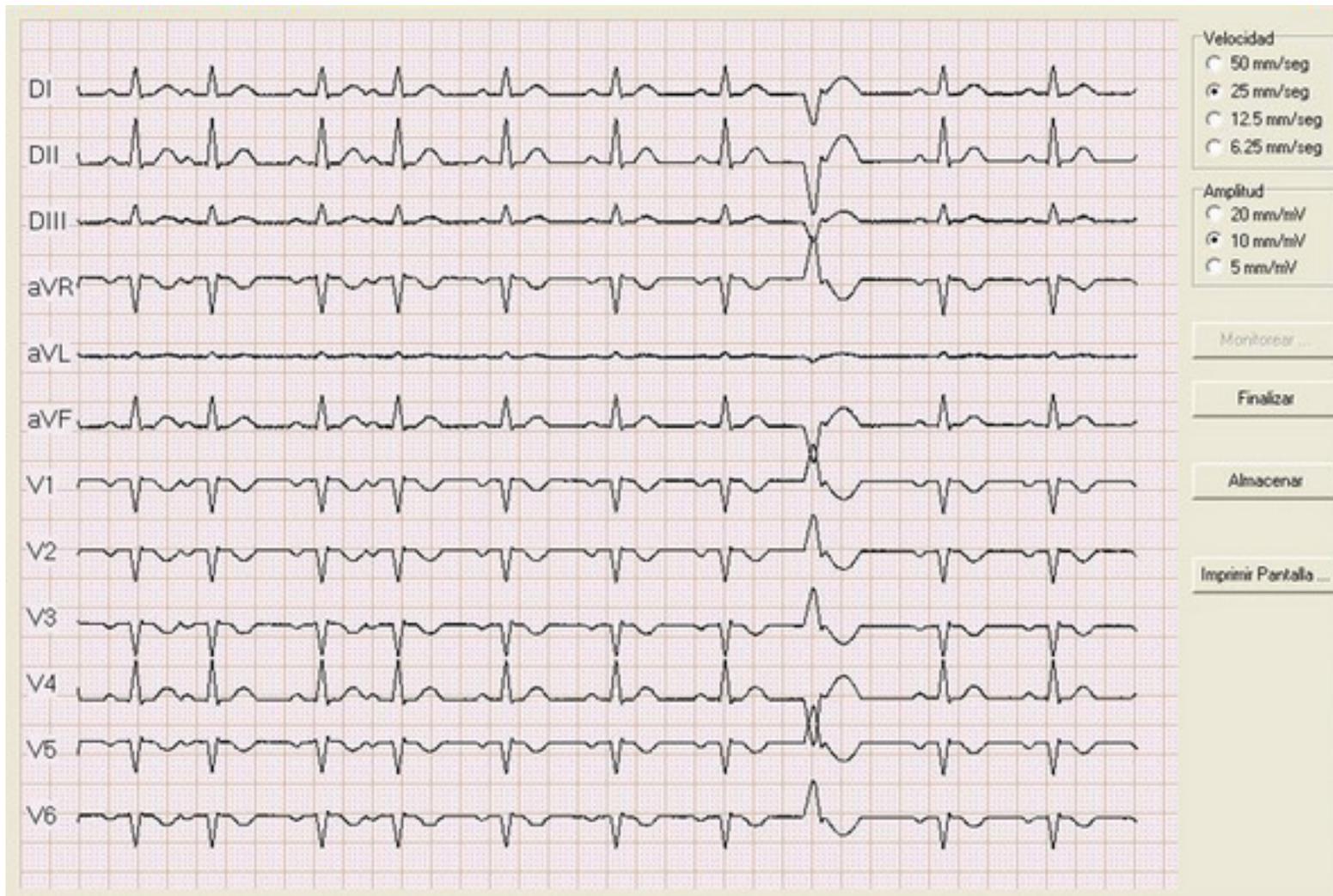
$$aV_R = -\frac{I + II}{2}$$

$$aV_L = I - \frac{II}{2}$$

$$aV_F = II - \frac{I}{2}$$

1. Eletrocardiografia básica

Derivações do ECG



1. Eletrocardiografia básica

Eletrocardiógrafo digital



Aquisição do sinal.
Precisa de amplificação

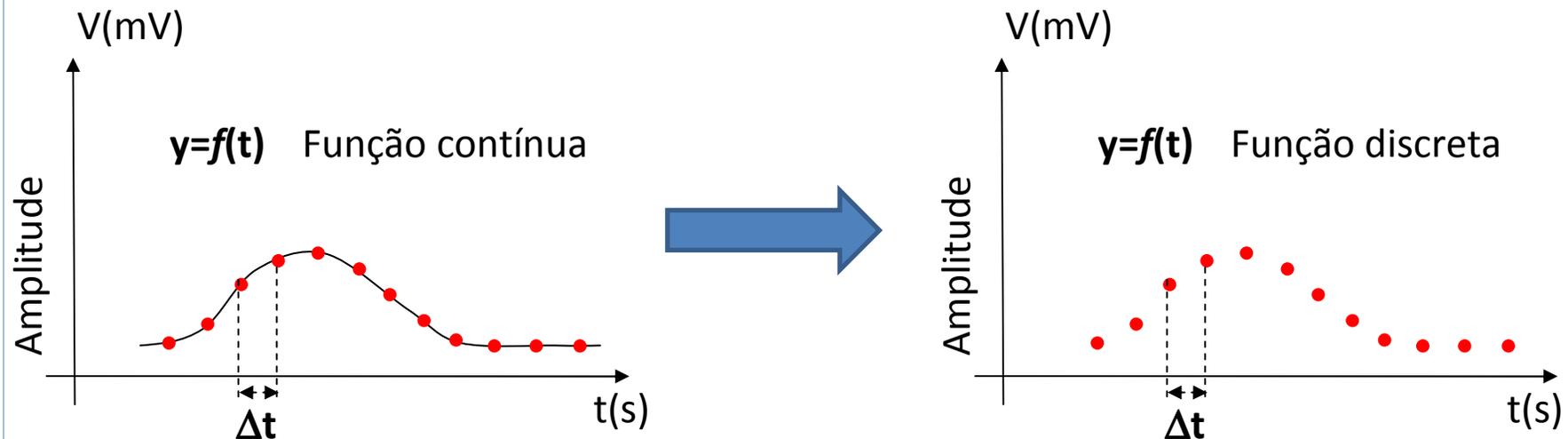
2. Processamento digital do sinal (PDS ou DSP) ECG

Principais etapas do PDS do ECG

Amostragem

- Coletar amostras do sinal cada um tempo fixo Δt chamado “intervalo de amostragem (*mseg*)”.
- A quantidade de amostras selecionadas em um segundo chamado “frequências de amostragem ou F_s (Hz)”

$$\Delta t = \frac{1}{F_s}$$



2. Processamento digital do sinal (PDS ou DSP) ECG

Principais etapas do PDS do ECG

Amostragem

- Teorema da amostragem

Se a frequência mais alta que está contida em um sinal analógico $x_a(t)$ é F_{max} e o sinal é amostrado com uma frequência de amostragem F_s onde satisfaz que $F_s > 2 F_{max}$, então o sinal pode ser reconstruído totalmente a partir das suas amostras.

2. Processamento digital do sinal (PDS ou DSP) ECG

Principais etapas do PDS do ECG

Filtragem

- Eliminação daquelas amostras que pertencem a ruído no sinal, exemplo a rede de energia provoca interferência.

- No domínio do tempo
 - Moving average
- No domínio da frequência
 - Passa baixos
 - Passa altos
 - Passa bandas
 - Stop banda

FIR (Finite Impulse Response)
IIR (Infinite Impulse Response)

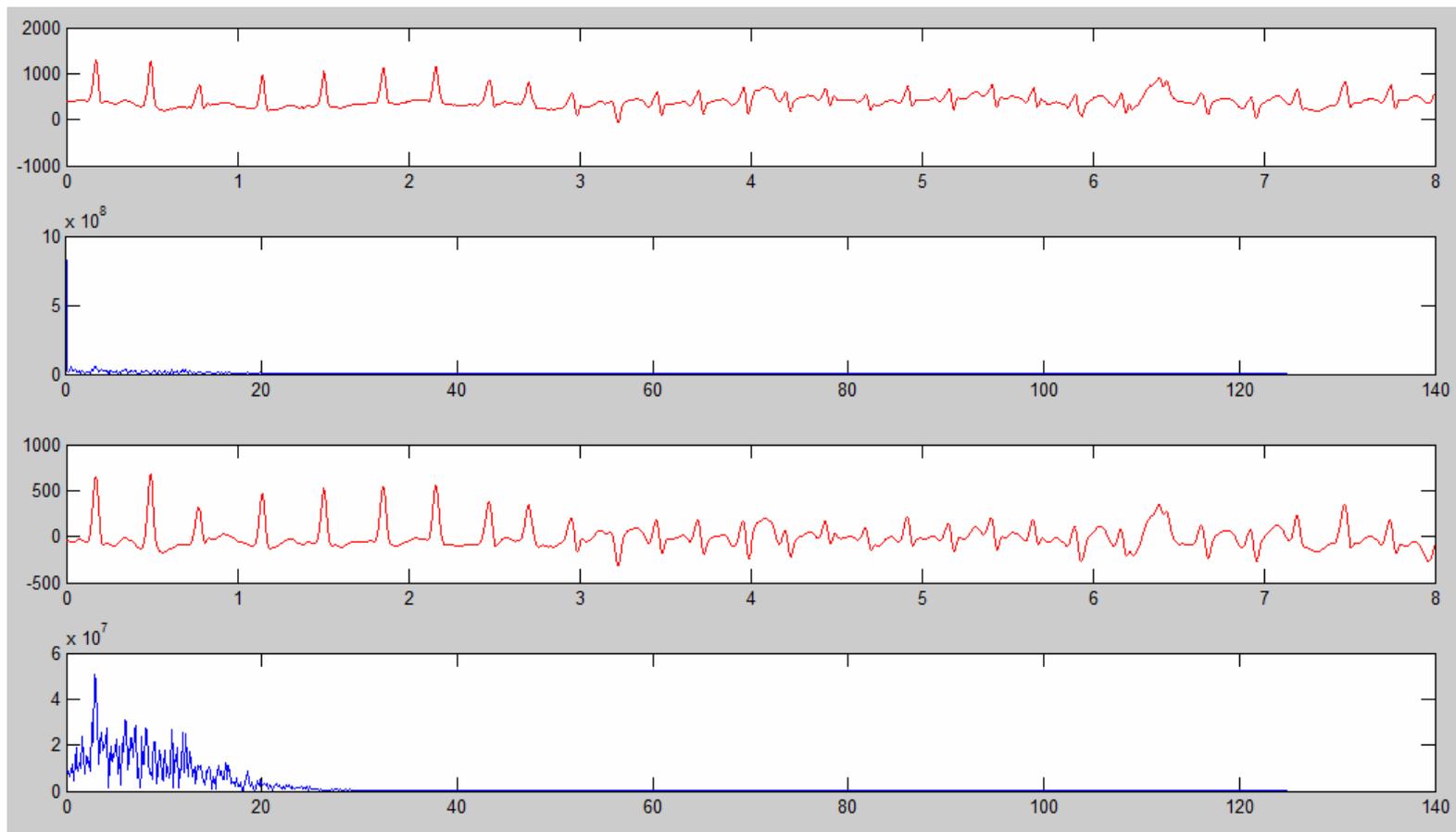
Tratamento do sinal

- Detecção do início do início e fim das ondas do ECG
- Detecção da frequência cardíaca
- Detecção de arritmias

3. Representação no domínio da frequência. Transformada de Fourier

Transformada de Fourier

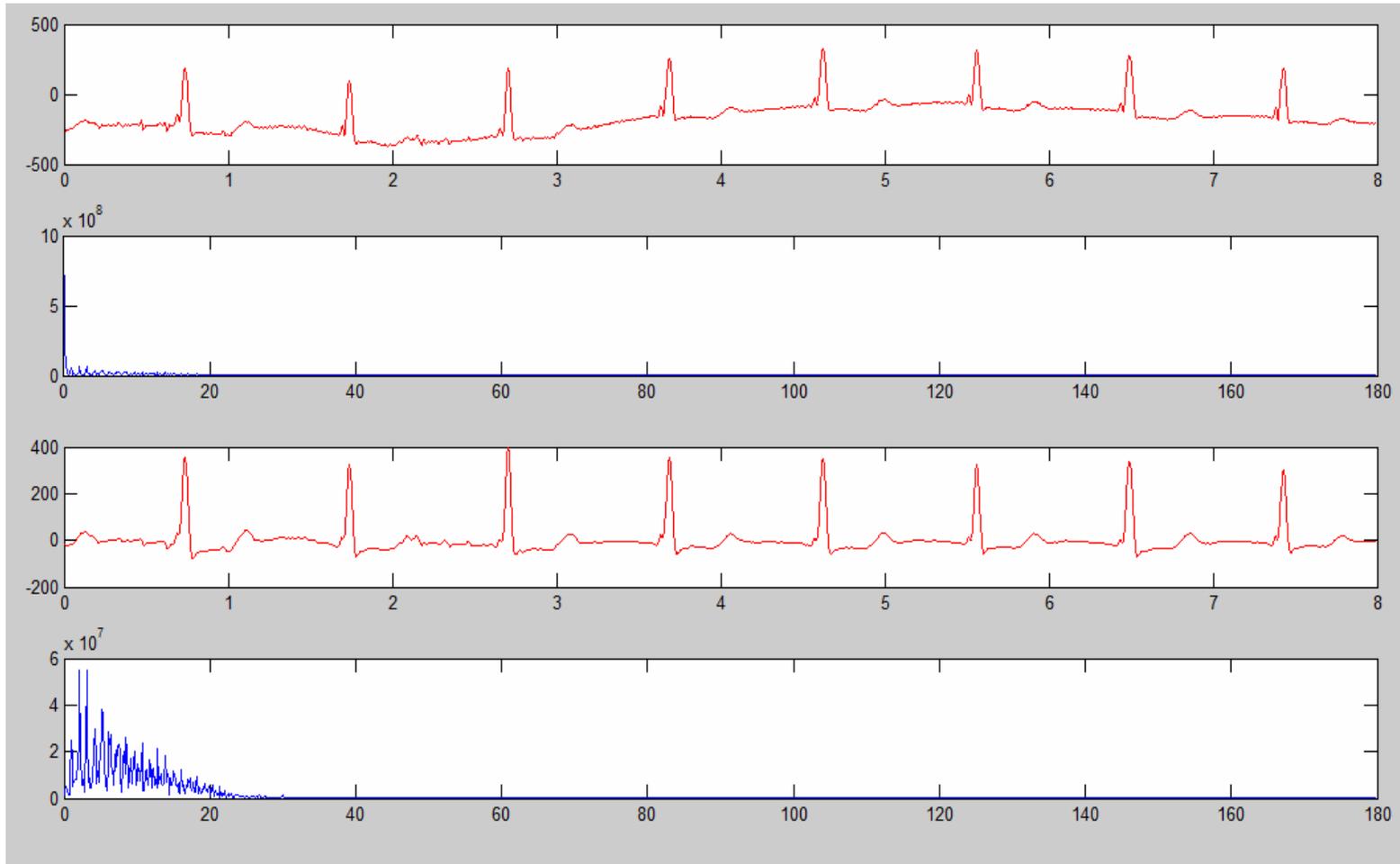
Representação do espectro de frequências



3. Representação no domínio da frequência. Transformada de Fourier

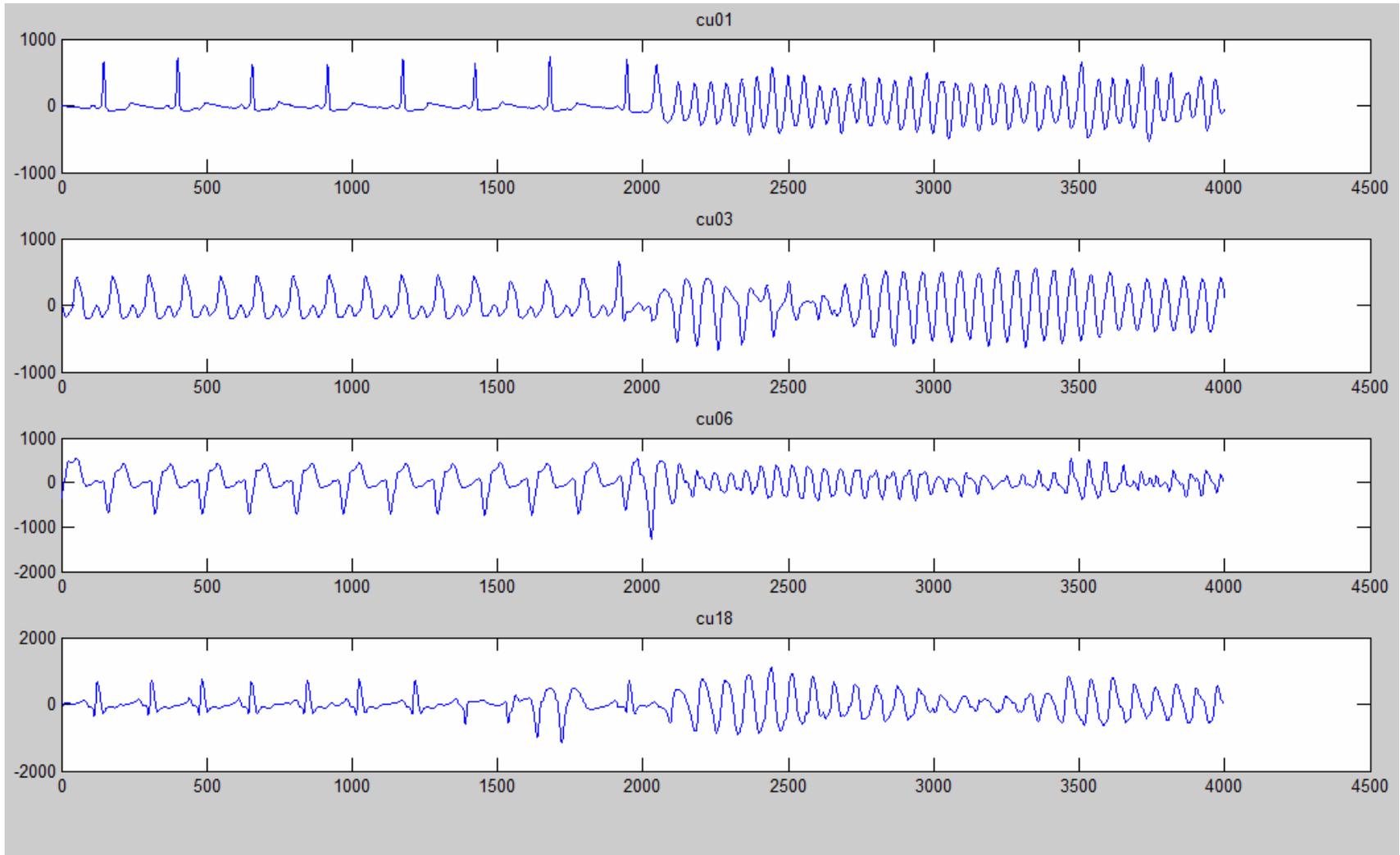
Transformada de Fourier

Representação do espectro de frequências

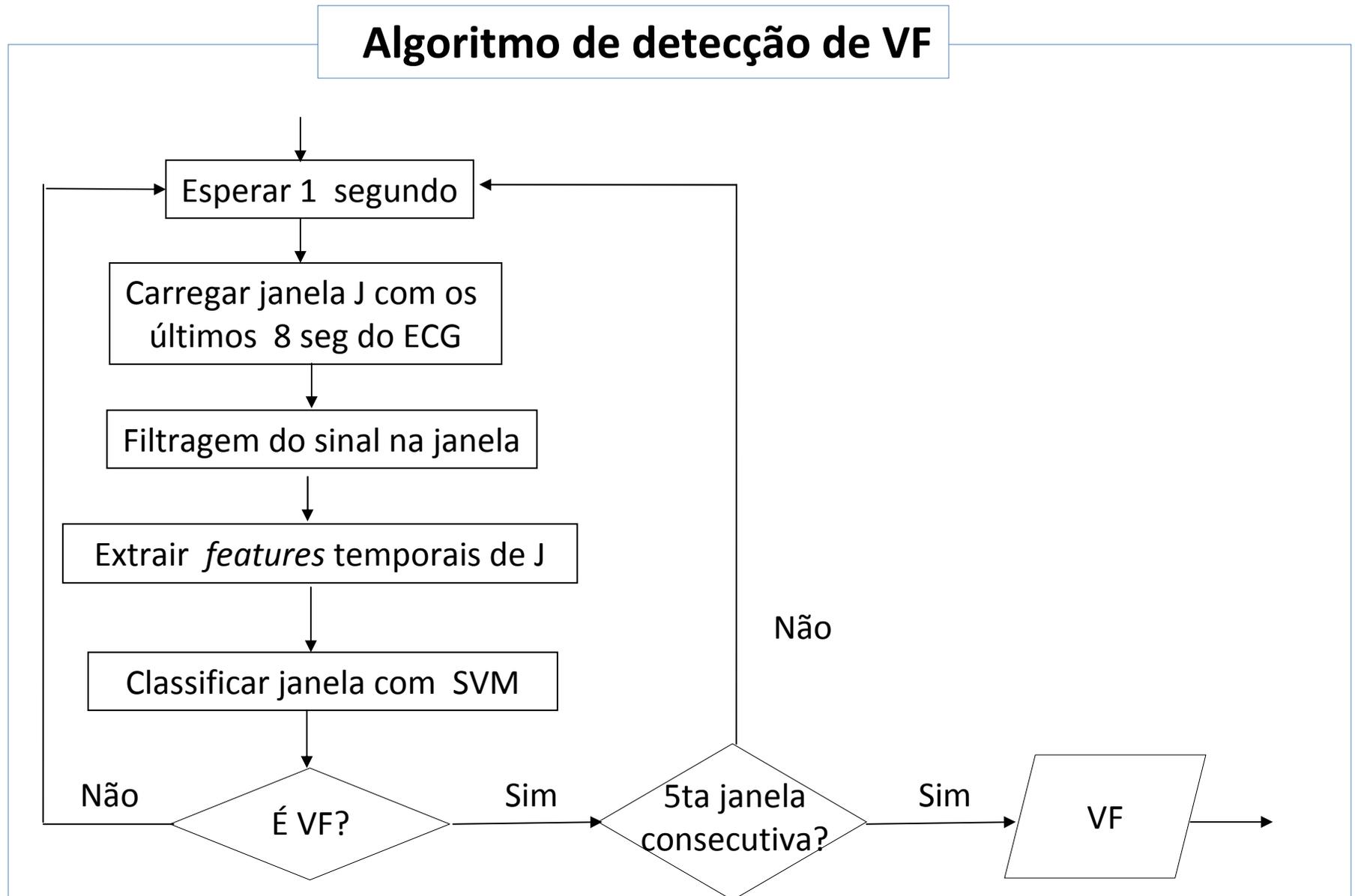


4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Transição de RSN a VF



4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time



4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Filtragem do sinal na janela

%1. Levar à linha base

```
X=X - mean(X);
```

%2. moving averaging 24 Hz (50Hz)

```
b=[.2 .2 .2 .2 .2]; a=[1];
```

```
X=filtfilt(b,a,X);
```

%3. drift suppression

```
T=1/sfreq; % sampling peroid [s]
```

```
Fc=1; % cut-off [Hz]
```

```
c1=1/[1+tan(Fc*pi*T)];
```

```
c2=[1-tan(Fc*pi*T)]/[1+tan(Fc*pi*T)];
```

```
b=[c1 -c1]; a=[1 -c2];
```

```
X=filtfilt(b,a,X);
```

%4. Butturworth filtration , lowpass 30 Hz

```
fh=sfreq/2; % 1/2 sampling rate
```

```
mb=2; % order of filter
```

```
[b,a]= butter(mb,30/fh); % 30Hz - cut-off fr
```

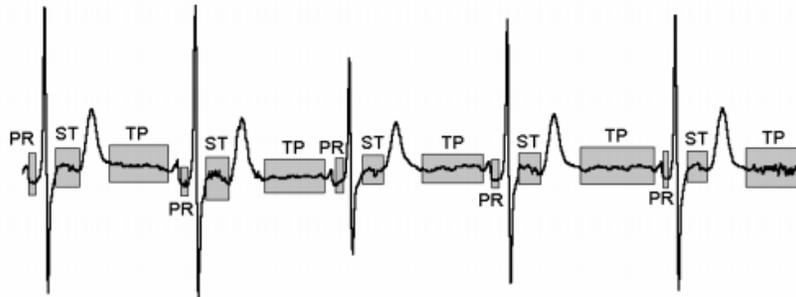
```
X=filtfilt(b,a,X);
```

4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

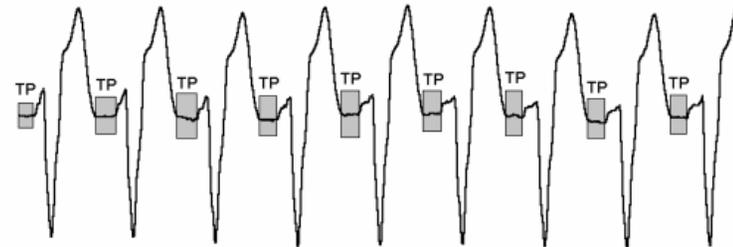
Algoritmo de detecção de VF

Extrair features temporais de J

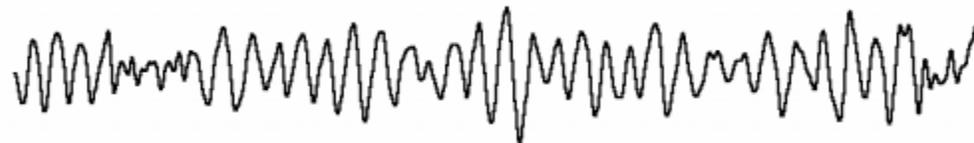
1) Potencial isoelétrico normalizado (Pascau, 1998)



RSN



TV



VF

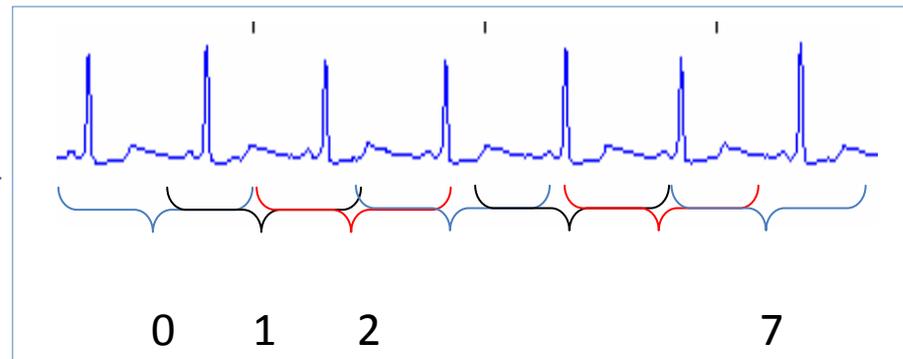
4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Extrair features temporais de J

2) Mean absolute value (MAV) normalizado (Abu, 2010)

Sub-janelas de 2s a
distancia de 1s



$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|$$



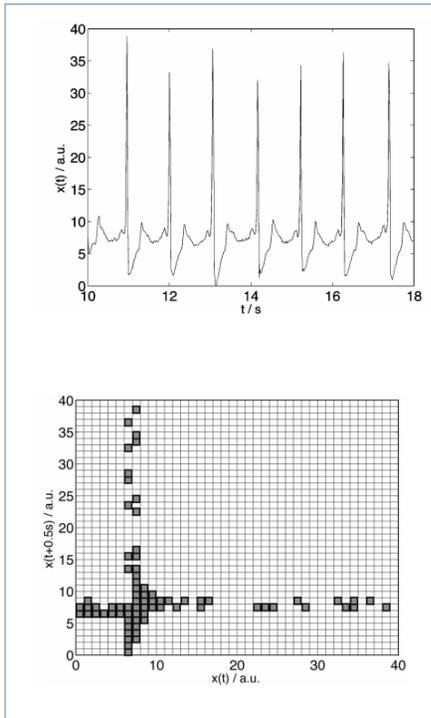
$$MAV_a = \frac{1}{L_e - 1} \sum_{i=1}^{L_e - 1} MAV_i$$

4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Extrair features temporais de J

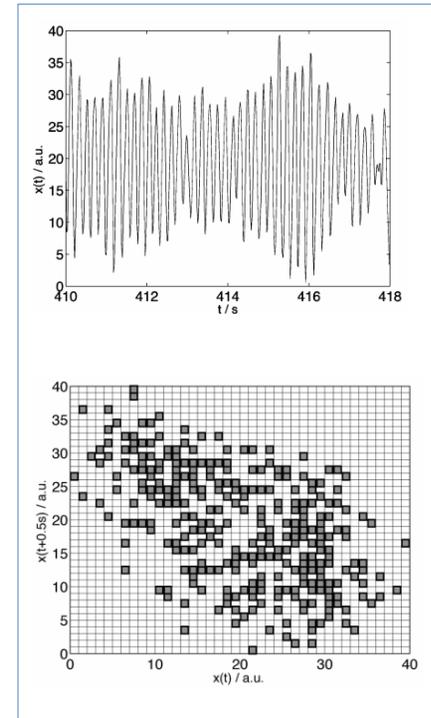
3) Phase-Space Reconstruction PSR ou Time-Delay Methods (Aman, 2007)



Trajétória no espaço-fase (atrator)

$$(x(t), x(t+\tau))$$

$$d = \frac{\text{number of visited boxes}}{\text{number of all boxes}}$$



4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Extrair features temporais de J

4) Energia (baseado no clássico detector de QRS de Pan e Tompkins, 1985)

I) Diferenciador do sinal

$$X = (1/8)*(2*X(n)+X(n-1)-X(n-3)-2*X(n-4));$$

II) Elevar ao quadrado

$$X = X*X$$

III) Integração com janela móvel de integração

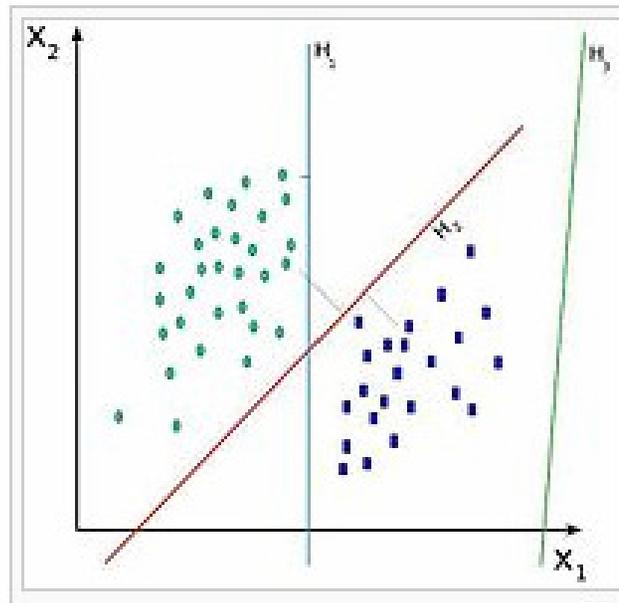
$$Z(j)=\text{mean}(Y(n-N:n)); j=j+1;$$

4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Classificar janela com SVM

Cada janela de ECG de 8 s é considerada como um ponto de \mathbf{R}^4



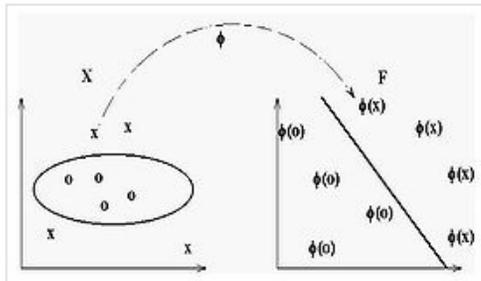
4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

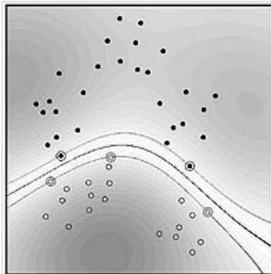
Classificar janela com SVM

Funções Kernel para SVM

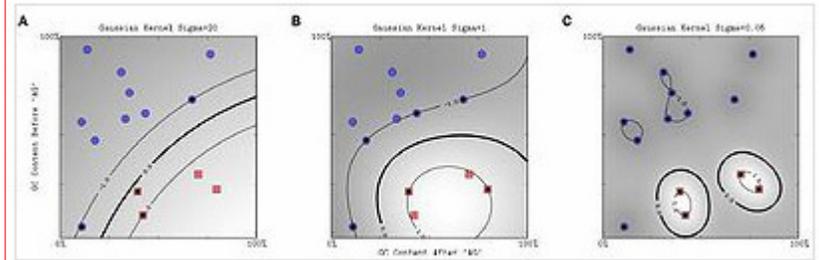
Polinomial-homogênea: $K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j)^n$



Perceptron: $K(x_i, x_j) = \|x_i - x_j\|$



base radial Gaussiana: $K(x_i, x_j) = \exp(-(x_i - x_j)^2 / 2(\sigma)^2)$

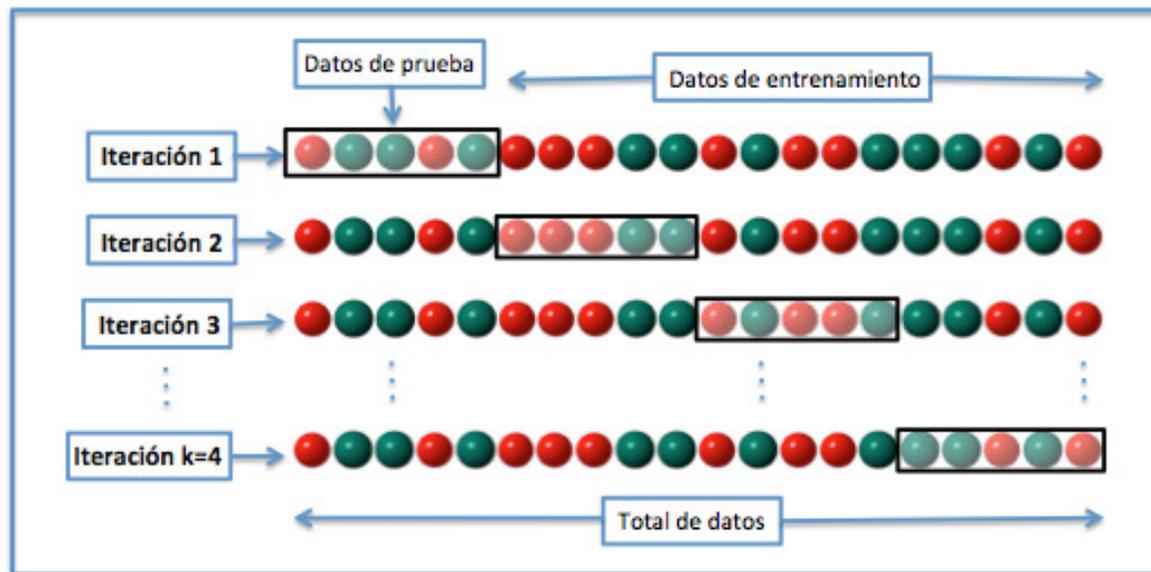


4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Classificar janela com SVM

Método de avaliação do algoritmo: **Stratified 10-fold Cross Validation**



4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Treinamento da SVM

Banco de dados de ECG anotados **MIT-BIT** do repositório de sinais fisiológicos **PhysioBank** de **Physionet**, com codificação específicos e em binário

 AFDB	<i>Atrial fibrillation</i>	 ODB	
 BIN	<i>Programas úteis-r dann, rdsamp</i>	 SRC	<i>Programas úteis (o código em C)</i>
 CDB		 STDB	<i>Mudanças no intervalo ST</i>
 CUDB	<i>Cambridge Univ.- Taquiarritmias</i>	 SVDB	<i>Arritmias supraventriculares</i>
 cudb (actualización)		 UDB	
 LTDB	<i>Bloqueio de rama lateral</i>	 VFDB	<i>Ventricular fibrilación</i>
 MITDB	<i>Arritmias</i>	 INTRO.pdf	
 NSTDB	<i>Provas de esforço</i>	 README.DOC	
		 README.EXE	
		 README.pdf	

4. Detecting of Ventricular fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Treinamento da SVM

Base de dados	No. arquivo	Derivações	Duração/canal (segundos)	Freq. de Amostrag.
 CUDB	35	1	508	250 m/s
 VFDB	22	2	2100	255 m/s
 MITDB	48	2	1805	360 m/s

Total **198143** episódios foram avaliados

Accuracy 94.8%, Sensitivity 94.76, Specificity 92.09

4. Detecting of Ventricular Fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Exemplos de anotações em CUDB

Line	Time	Count	Code	Q1	Q2	Q3
1	0:00.088	22	N	0	0	0
2	0:01.336	334	N	0	0	0
3	0:02.636	659	N	0	0	0
4	0:03.932	983	N	0	0	0
5	0:05.276	1319	N	0	0	0
6	0:06.624	1656	N	0	0	0
7	0:07.996	1999	N	0	0	0
8	0:09.376	2344	N	0	0	0
9	0:10.756	2689	N	0	0	0
10	0:12.136	3034	N	0	0	0
11	0:13.508	3377	N	0	0	0
12	0:14.884	3721	N	0	0	0
13	0:16.264	4066	N	0	0	0
14	0:17.660	4415	N	0	0	0
15	0:18.724	4681	N	0	0	0
16	0:20.448	5112	N	0	0	0
17	0:21.848	5462	N	0	0	0
18	0:23.252	5813	N	0	0	0
19	0:24.656	6164	N	0	0	0
20	0:26.056	6514	N	0	0	0
21	0:27.448	6862	N	0	0	0
22	0:30.216	7554	N	0	0	0
23	0:31.576	7894	N	0	0	0

Exemplos de anotações em VFDB

Line	Time	Count	Code	Q1	Q2	Q3	Label
1	0:00.072	18	+	0	0	0	(N
2	7:29.152	112288	+	0	0	0	(NOISE
3	7:40.076	115019	+	0	0	0	(N
4	14:58.460	224615	+	0	0	0	(VT
5	22:34.076	338519	+	0	0	0	(NOISE
6	22:40.228	340057	+	0	0	0	(ASYS
7	22:50.460	342615	+	0	0	0	(NOD
8	23:13.996	348499	+	0	0	0	(N
9	25:06.228	376557	+	0	0	0	(AFIB
10	25:13.692	378423	+	0	0	0	(N
11	25:49.768	387442	+	0	0	0	(AFIB
12	25:54.076	388519	+	0	0	0	(NOISE
13							

4. Detecting of Ventricular Fibrillation in Real Time

Algoritmo de detecção de VF

Exemplos de dados em CUDB

Time	Value
25	-10
26	-10
27	-7
28	0
29	3
30	5
31	5
32	3
33	2
34	2
35	7
36	13
37	21
38	26
39	31
40	28
41	24
42	23
43	31
44	28
45	-24
46	-114
47	-247
48	-366

Exemplos de de dados em VFDB

Time	Value
1	-8 -60
2	2 -58
3	28 -62
4	47 -67
5	65 -72
6	83 -79
7	102 -78
8	121 -85
9	137 -83
10	133 -79
11	109 -75
12	58 -61
13	-16 -63
14	-93 -61
15	-145 -57
16	-162 -61
17	-146 -63
18	-115 -61
19	-79 -56
20	-54 -57
21	-37 -48
22	-30 -45
23	-26 -40
24	-33 -43

5. Referências

- (Pascau, 1998) Pascau A. y Orozco R., “Estimación del potencial isoeléctrico en la ECG: distinción entre fibrilación ventricular y otras arritmias”, Centro de Biofísica Médica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
- (Abu, 2010) Anas, E. M., Lee, S. Y., & Hasan, M. K. (2010). Sequential algorithm for life threatening cardiac pathologies detection based on mean signal strength and EMD functions. *Biomedical engineering online*, 9(1), 43.
- (Aman, 2007) Amann, A., Tratnig, R., & Unterkofler, K. (2007). Detecting ventricular fibrillation by time-delay methods. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 54(1), 174-177.
- (Tompkins, 1985) Pan, J., & Tompkins, W. J. (1985). A real-time QRS detection algorithm. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, (3), 230-236.