

# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS UNICAMP

## FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO - FEEC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

EA-097 - Técnicas Experimentais em Engenharia Biomédica  
(Preparado por: Rafael de Almeida Ricardo e José W. M. Bassani)

Aluno(s): \_\_\_\_\_

### Modelo do Dipolo Elétrico

#### 1. Introdução

A figura 1 ilustra o processo de ativação elétrica do coração, indicando em cada fase a formação da onda eletrocardiográfica. A despolarização caminha na forma de um anel de despolarização. O tempo de subida do potencial de ação (PA) é de 1ms. Como a velocidade de condução no miocárdio é da ordem de 1 m/s, a largura da onda de despolarização é estimada em 1 mm (figura 2).

O processo de repolarização não é contínuo, as células não retornam ao potencial de repouso de forma sincronizada como ocorre na despolarização, onde a próxima célula é ativada por outra célula que sofreu despolarização. Na figura 2 representa-se a situação na repolarização de modo aproximado, onde a área em processo de repolarização é da ordem de 100 mm. Na interface, ou seja, onde está ocorrendo a transição aparecem os dipolos elétricos. Estes são dipolos de corrente em um volume condutor.

Podemos mostrar que o potencial gerado por uma carga pontual no vácuo é igual ao potencial gerado por uma fonte de corrente pontual em um volume condutor, se substituirmos  $Q/\epsilon$  por  $I/\sigma$  ( $Q$  é a carga,  $\epsilon$  a constante dielétrica do vácuo,  $I$  é a fonte de corrente pontual e  $\sigma$  a condutividade do meio). A uma distância suficiente valerá o princípio da superposição, de modo que um dipolo resultante pode ser obtido pela integral dos dipolos de cada célula.

O problema eletrocardiográfico consiste em considerar o coração como uma fonte de corrente e considerar as seguintes premissas:

- Cada fonte individual é pequena comparada às dimensões do coração;
- Não há acúmulo de carga, ou seja, a corrente resultante nas células é nula;
- O primeiro momento das correntes geradas pela célula é que contribui para o campo à distância;
- A contribuição de cada célula pode ser representada por um dipolo de corrente  $m$ ;
- No volume condutor homogêneo e à distância suficiente vale a superposição,  $M = \int m dv$ . Este **vetor resultante é chamado de vetor do coração**.

Redefinição: O problema eletrocardiográfico é um problema quase estático, envolvendo uma variação, no tempo, de correntes de dipolo, em um volume condutor linear, isotrópico e homogêneo.

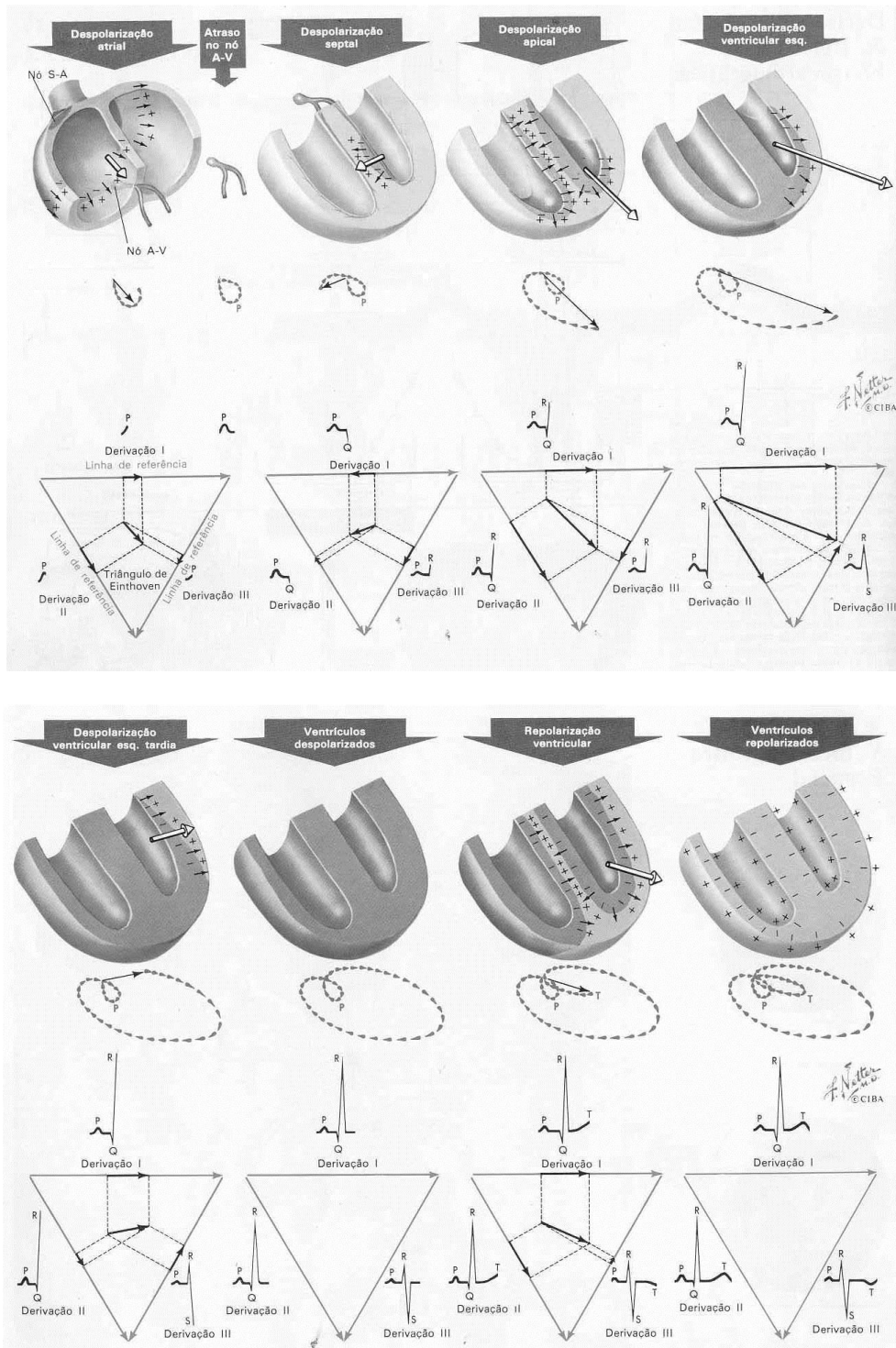


Figura 1. Processo de ativação elétrica do coração. São apresentadas as principais fases de despolarização e repolarização dos átrios e ventrículos (Modificado de Netter, 1976).

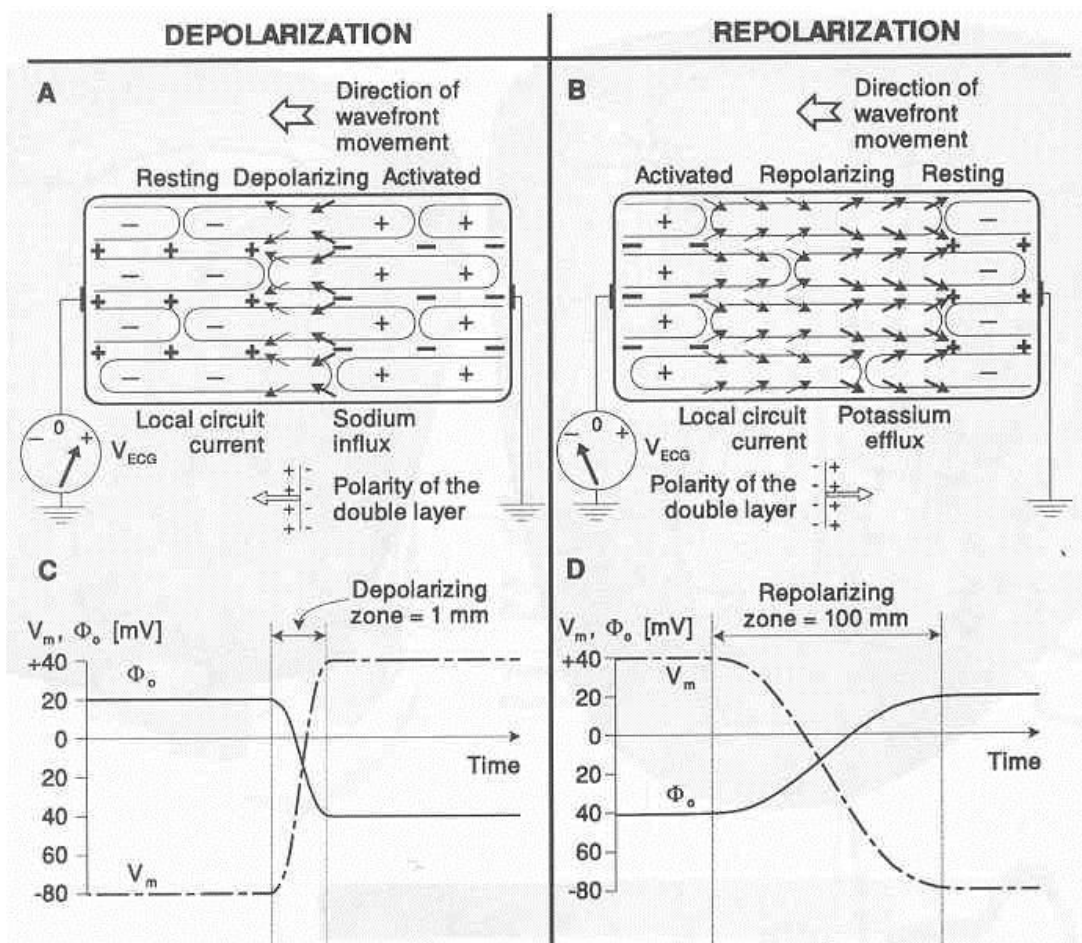


Figura 2. Processo de despolarização e repolarização do tecido cardíaco (Modificado de Malmivuo, 1995).

## 2. Objetivos

Estudar as variações temporais e espaciais do vetor cardíaco por meio de um dipolo elétrico. Vamos medir potencial elétrico gerado por este dipolo de modo semelhante ao que se faz quando um eletrocardiograma é registrado na superfície do corpo.

## 3. Procedimento Experimental

- Placa de Petri com fundo de silicone;
- Solução salina (NaCl 0,9%);
- Cabos, conectores e eletrodos;
- Osciloscópio;
- Bateria de 9 V ou fonte de corrente;
- Padrão gráfico para verificação da montagem experimental e formação do ECG.

**Antes de iniciar o experimento, faça um planejamento detalhado do mesmo. Por exemplo, pense em como gerar um dipolo elétrico no volume condutor (placa de Petri e solução salina) utilizando o material disponível e como medir adequadamente o campo elétrico gerado por este dipolo.**

3.1. Inicialmente iremos fazer o teste da montagem experimental. **Importante:** efetue as medições intermitentemente, de modo a minimizar a polarização dos eletrodos.

A. Coloque na placa de Petri o padrão gráfico para a verificação da montagem experimental.

B. Posicione os eletrodos de medição nos locais indicados e preencha a placa de Petri com a solução salina até cobrir uniformemente o papel.

C. Gere os dipolos sobre a circunferência (com origem no centro) conforme indicado. Meça o potencial nas três derivações. Observe que você está utilizando as três derivações clássicas ( $V_I$ ,  $V_{II}$  e  $V_{III}$ ) para a obtenção do ECG.

	$V_I$	$V_{II}$	$V_{III}$
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			

3.2. Verifique que  $V_I - V_{II} + V_{III} = 0$  e  $V_I = V_{dip} \cos\theta$  (apenas para a derivação I).

adicinar grafico da tabela acima, deve parecer com uma senóide

3.3. Substitua o padrão gráfico utilizado pelo padrão de formação do ECG. Neste padrão gráfico encontra-se a variação temporal da orientação do vetor cardíaco durante um ciclo do ECG. Construa um traçado eletrocardiográfico utilizando este padrão. Atente para o **curso temporal do ECG (duração e intervalos entre eventos)** e planeje como fazer as medições, que devem ser realizadas em pelo menos duas derivações.

3.4. O que aconteceria com o sinal captado se a condutividade do meio fosse aumentada?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3.5. Por que o registro do ECG nos braços e pernas é equivalente ao problema apresentado no experimento?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

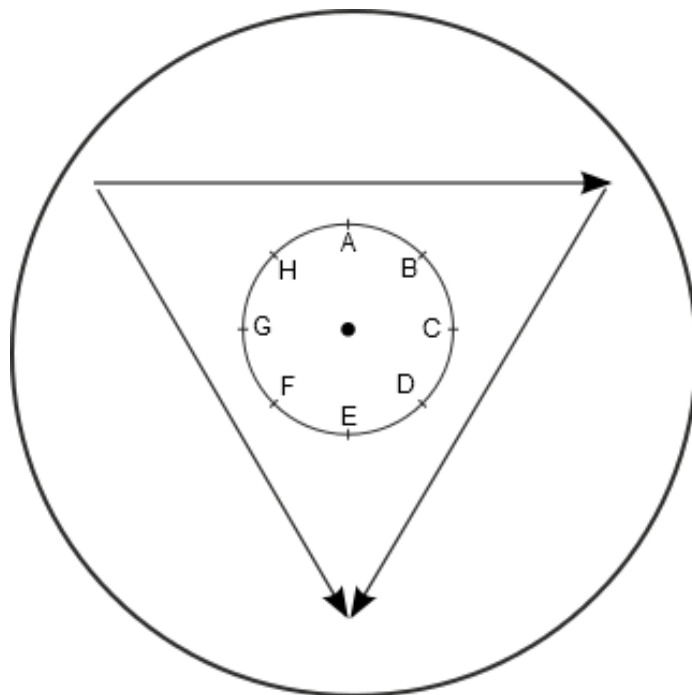
---

---

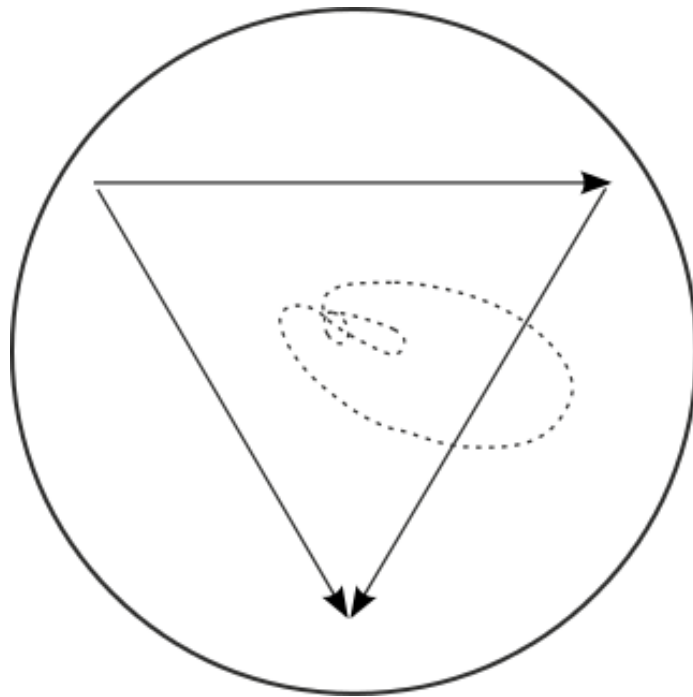
---

**4. Referências bibliográficas**

- 1. Malmivuo, J; Plonsey, R. Bioelectromagnetism. Oxford University Press, USA, 1995.
- 2. Netter, F.H. Ilustrações médicas, vol 5. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1976.



Padrão gráfico para a verificação da montagem experimental.



Padrão gráfico de formação do ECG