

Eletrodos

Eletrodos para a aquisição de Biopotenciais

- elemento fundamental na aquisição de biopotenciais.
- bom eletrodo promove boa interface elétrica entre o corpo e a instrumentação de aquisição
- podem surgir artefactos provocados pela instrumentação caso seja usado um eletrodo inadequado
- O efeito dos artefactos sobrepostos aos sinais adquiridos pode ser de difícil redução pois:
 - desproporção de amplitudes do sinal adquirido relativamente ao artefacto (apresentam maior amplitude);
 - se sinal e artefacto ocuparem a mesma banda espectral.

Pele Humana

duas camadas: epiderme (^{150 μm} mais externa), derme (mais interna) (600 μm)

Stratum corneum

+ externa (5-10 μm)
isolamento elétrico

Stratum germinativum

+ interna, com menor resistência
condução de corrente elétrica.

Interface Eletrodo - Eletrólito

Um eletrodo é um elemento transdutor entre o corpo humano e o aparelho de medida que transforma as correntes iônicas presentes no corpo humano em correntes elétricas nos eletrodos e aparelhos de medida.

Na aplicação de eletrodos convencionais à superfície da pele, é usado um gel eletrólito (o eletrólito também pode ser usado em pasta ou creme após uma abrasão da pele - remover resíduos, facilitando contacto e recolha de medições). Este gel ajusta as impedâncias entre o eletrodo (baixa impedância) e a pele (elevada impedância).

O eletrólito é rico em substâncias iônicas que são facilmente absorvidas pela pele, promovendo a troca de cargas.

O gel baixa a impedância da pele, permitindo melhor visualização do sinal.

Embora existam poros na pele que secretam suor e podem influenciar as medições, o seu valor não é considerável face ao medido na epiderme. Valia

Quando um eletrodo entra em contacto com um eletrólito, iniciam-se reações químicas de oxidação-redução.

$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + e^-$ átomos metálicos oxidados, libertando cátions no eletrólito e os eletrões ficam no eletrodo como e^- transportadores de carga.

$\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{Cl} + e^-$ aniões presentes no eletrólito deslocam-se para a interface eletrodo-eletrólito onde oxidam.

A corrente que atravessa a interface resultada combinação de 3 efeitos:

- movimento de eletrões na direção contrária à corrente no eletrodo;
- cátions de prata que se movem na direção da corrente;
- aniões de cloro que se movem na direção oposta à corrente no eletrólito.

As reações são reversíveis e dão-se até ao ponto de equilíbrio → ausência de corrente elétrica entre eletrodo e eletrólito.

Potencial de Dupla Camada / Half-Cell Potential

Quando se imerge um eletrodo num eletrólito (solução com substâncias iónicas), as reações anteriores modificam as concentrações das substâncias.

Embora mantenha a neutralidade de carga na solução, o eletrólito que rodeia o eletrodo adquire um potencial elétrico diferente devido a diferentes concentrações iónicas.

Assim, na interface do eletrodo-eletrólito estabelece-se uma diferença de potencial denominada potencial de dupla camada, que depende do metal que constitui o eletrodo, da concentração dos iões e da temperatura. Esta diferença de potencial é afetada quando há corrente entre eletrodo e eletrólito.

Tendo em conta a corrente que atravessa a interface eletrodo-eletrólito, os eletródos podem ser:

perfeitamente polarizáveis → não há cargas a atravessar a interface, comporta-se como condensador; metais nobres (inércia química → não se dissolvem em eletrólitos nem são por estes oxidados).

perfeitamente não polarizáveis → cargas atravessam interface linearmente, não há queda de tensão na interface, eletrodo de prata e cloreto de prata.

O eletrodo mais usado é o Ag/AgCl.

Elétrodo Linterizado Ag/AgCl

- um eletrodo de Ag/AgCl apresenta-se revestido por uma camada de AgCl (cloreto de prata) ligeiramente solúvel num eletrólito composto por Cl^- (ânions de cloro).
- Quando o eletrodo contacta com o eletrólito, dá-se a oxidação dos átomos de prata.
- Além disso, Ag^+ (cátions de prata) recombina-se com Cl^- (ânions de cloro) já presentes no eletrólito.

Dois processos de fabrico de eletrodos de Ag/AgCl:

- deposição eletrolítica numa célula eletroquímica;
- aglomeração de pó de prata com pó de cloreto de prata numa prensa com posterior cozedura a 400°C durante várias horas



mistura de pó de Ag/AgCl colocada dentro de toróide + usado que cilindro gel envolve o eletrodo → (c/gel, dá baixas impedâncias e portanto bom sinal) para melhorar contacto e deteção do sinal e diminuir a oxidação da prata.

• Toróide com mistura dentro

↳ comprimido a alta pressão

↳ cozedura c/ temperatura elevada (400°C) durante horas

↳ forma sólido.

Obtêm-se eletrodos com maior resistência mecânica (indicados para utilizações frequentes), mais duráveis, baixa resistência elétrica (bom sinal), sem uso de eletrólito. AgCl torna-os imunes a ruído de baixa frequência (usado em EEG e ECG) e menos tóxicos (não se degradam facilmente devido à sinterização). A deposição e local de medição (ex. pele) afetam as propriedades.

Eletrodo como Circuito Elétrico

as características de corrente e tensão da interface eletrodo-eletrólito variam d a frequência dos sinais a medir e podem ser não lineares.

os eletrodos medem potenciais em certas frequências.

O eletrodo é capaz de detetar/responder a sinais com frequências específicas.

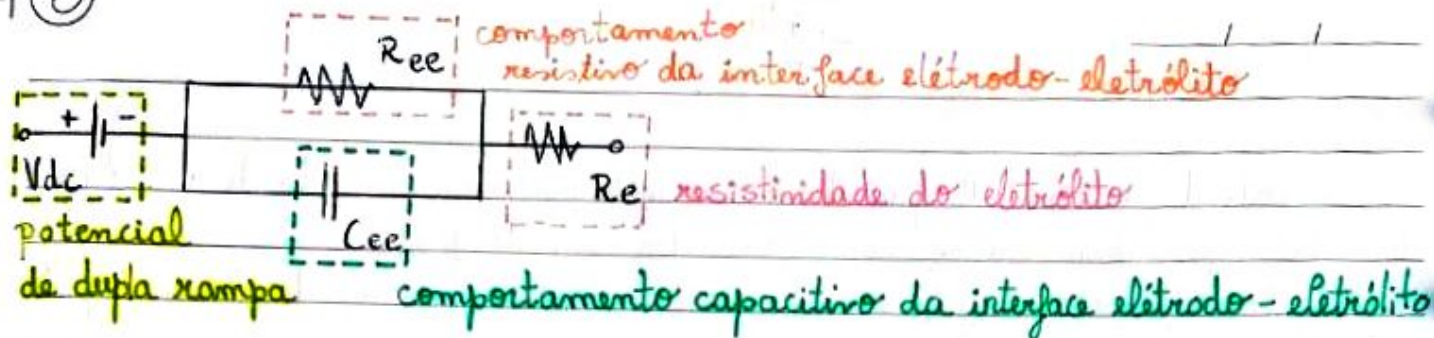
Os eletrodos têm comportamento capacitivo.

Baixas frequências → série de 2 resistências → impedância elevada = $R_e + R_{ee}$

Altas frequências → puramente resistivo → impedância = R_e

Tália

4



Baixas frequências \rightarrow série de duas resistências \rightarrow impedância + alta $= R_{ee} + R_e$

Altas frequências \rightarrow puramente resistivo \rightarrow impedância $= R_e$

Aquisição de Biopotenciais

Elétrodos invasivos \rightarrow aquisições em locais múltiplos permitem sinais mais estáveis e adequados. Três tipos:

\rightarrow **Microeletrodos em ponta de prova** \rightarrow mede diferenças de potencial entre interior e exterior das células excitáveis.

\rightarrow **Matrizes de eletrodos em agulha** \rightarrow comprimento das agulhas: 1-2 mm, isoladas umas das outras, à exceção de pontas afiadas que adquirem potenciais de ação com grande qualidade, conseguem passar a corneum (camada c/ + resistência).

\rightarrow **gralhas de eletrodos circulares** \rightarrow (em Au ou AgCl) gralhas envolvidas num plástico fino; colocação feita diretamente sob o órgão e a dura mater.

Elétrodos não invasivos

\rightarrow **Elétrodos Passivos** \rightarrow discos feitos de AgCl ou Au

\rightarrow **Elétrodos Ativos** \rightarrow preparação mais rápida.

\rightarrow feitos de materiais altamente dielétricos.

possuem pelo menos um amplificador seguidor de tensão com elevada impedância de entrada e impedância de saída, o que permite que o sinal seja transmitido para a unidade de aquisição com menos perdas e menor contaminação por interferências; aquisição de sinais ECG sem contacto com a pele.

Materiais de Revestimento de Elétrodos - Requisitos

Requisitos para eletrodos de aquisição de biopotenciais:

requisitos **ergonômicos** (geometria e flexibilidade para apenas se medir o potencial desejado sem danificar os tecidos; resistência à corrosão potenciada pela grande quantidade de água nos tecidos adquirindo sinais estáveis durante um longo prazo; compatibilidade com os tecidos para evitar libertação de nocivos).

baixa impedância na banda de frequências de interesse c/ boa capacidade de entrega de cargas; bom condutor pois é necessária corrente elétrica.

biocompatibilidade (não ocorrer reações químicas que danifiquem tecidos).

boa resposta em frequência

- Elevada biocompatibilidade \rightarrow aço inoxidável, platina, ^{ouro}ouro, irídio, prata
- Comportamento eletroquímico mais estável \rightarrow platina, prata, irídio
- Impedância instável a baixas frequências (inadequados para adquirir potenciais lentos): aço inoxidável e platina.
- Potencial de aplicação \rightarrow Ag/AgCl, TiN, IrOx, epoxy de AgCl
- Impedância dos eletrodos reflete a capacidade de estes transferirem sinais a uma dada frequência.
- Aço inoxidável, platina e ouro têm impedâncias superiores a Ag/AgCl e TiN.

Matérias de Revestimento de Eletrodos - Candidatos

Eletrodos Ag/AgCl sintetizados

- muito utilizados (ECG, EEG)
 - prata é biocompatível, oxida rapidamente (não durável)
 - baixa impedância
 - boa estabilidade, boas características eletroquímicas
 - requerem preparação da pele (abrasão) e uso de gel eletrolítico para bom contacto (o que é algo incômodo) \rightarrow diminui efeito isolante de stratum corneum.
 - gel eletrolítico seca - desidratação \Rightarrow modificação progressiva da impedância do eletrodo
 - preparação demorada, abrasão aumenta risco de irritações
- ↑ Alternativa para ultrapassar stratum corneum (barreira isolante)
- \rightarrow usar eletrodos que a penetrem, evitando a resistência.

Óxido de Irídio (IrOx)

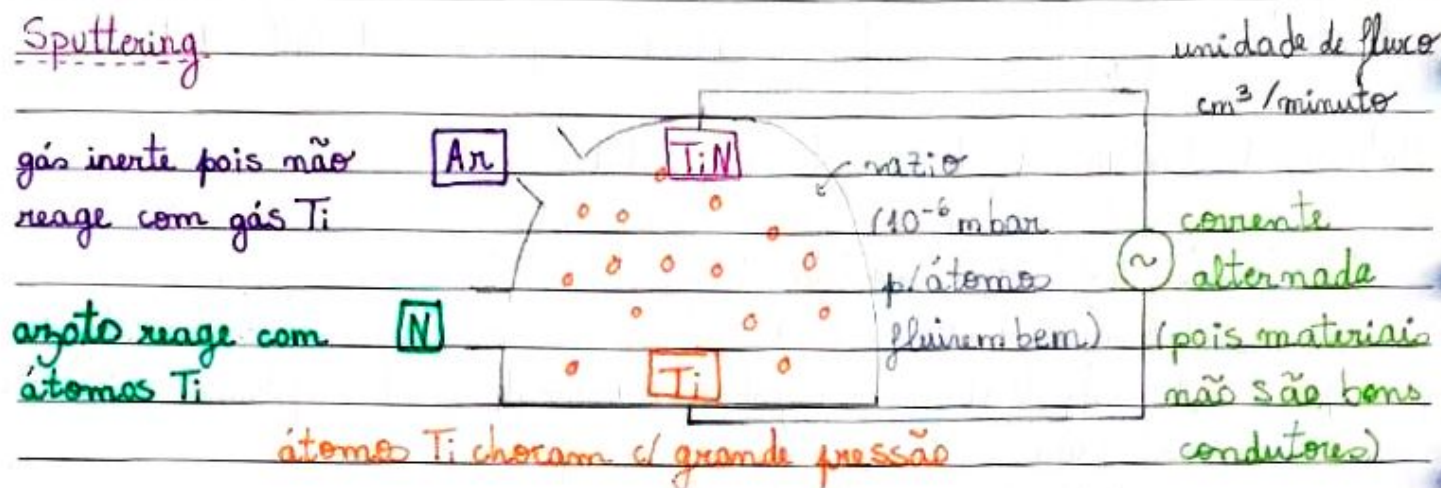
- α depende da quantidade de oxigênio necessária para que se tenha uma impedância no filme
- baixa impedância
 - elevada biocompatibilidade
 - elevada capacidade de entrega de cargas sem eletrólise da água
 - mais vantagens que platina:
 - \rightarrow 4 estados de oxidação (platina só tem 2)
 - \Rightarrow implica maior troca de cargas entre o eletrodo e o tecido.
 - \Rightarrow implica material + resistente à corrosão.
- Troca de cargas entre um eletrodo IrOx e eletrólito:
- \Rightarrow reação química que altera estado de oxidação do irídio

(no caso de Ag/AgCl, esta troca resulta na injeção de íons metálicos de diversas espécies no eletrólito)

Nitreto de Titânio (TiN)

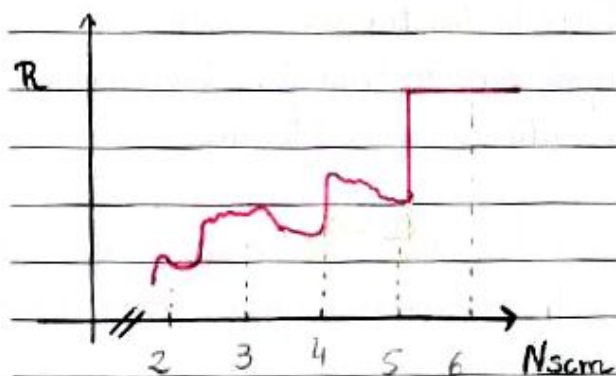
- elevada biocompatibilidade
- elevada resistência à corrosão
- excelentes propriedades mecânicas
- elevada condutividade torna-o adequado para pacemakers
- tal como IrO_2 , é conseguido através de sputtering (pulverização catódica).

Sputtering



Quanto + azoto se colocar, mais este reage com os átomos de titânio, criando uma camada de TiN no estrato.

Resistência da camada de TiN



A quantidade de azoto influencia as propriedades da camada de TiN.

Neste caso, 5 ncm é o melhor valor para criar um bom eletrodo \rightarrow Ti reage com N, mas sem que haja uma resistência demasiado elevada.

Ideal: equilíbrio entre quantidade de reagentes e baixa resistência. Quanto menor for a resistividade, melhor é o eletrodo.

Nitreto de Titânio \rightarrow excelente resposta nas bandas α , β , θ ; menor uniformidade.

$\text{IrO}_2 \rightarrow$ excelente resposta nas bandas β , θ .

\rightarrow maior uniformidade e baixa resistência.

epoxy de AgCl \rightarrow excelente resposta em CC, mas desvaneca-se para freq. + altas.

\rightarrow não tem resposta em freq, só responde bem em corrente contínua.

A amplitude dos sinais é elevada na região subdelta (menores frequências da banda δ) para todos os materiais.

Elétrodos Secos com Microagulhas

Problema dos Elétrodos Convencionais \rightarrow o contacto eléctrico entre o eléctrodo e a pele não é muito bom por causa da camada seca da stratum corneum, que tem alta resistência eléctrica. Assim, de forma a reduzir esta resistência, é necessário aplicar gel condutor e abrasão na pele, o que é **demorado e invasivo**.

Solução: Elétrodos com forma de agulha

permitem passar a stratum corneum ($5-10\mu m$) e **entrar directamente em contacto com a epiderme** sem usar gel condutor. Comprimento das agulhas $\approx 200\mu m$, o que evita dor/desconforto.

diminui impedância pele-eléctrodo e tempo de preparação.

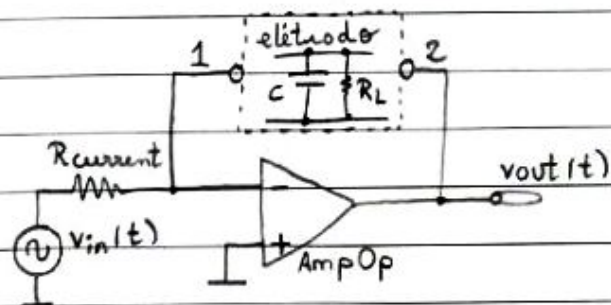
A nível do modelo eléctrico:

Elétrodos convencionais \rightarrow tensão V_{se} (gel é parcialmente absorvido pois a camada stratum corneum é semipermeável a substâncias iónicas, o que origina diferenças de concentração iónicas e por sua vez esta tensão); impedância dada pelos paralelos R_{sc} e C_{sc} ; R_x quantifica o comportamento resistivo das camadas inferiores da epiderme + derme; abrasão diminui impedância.

Elétrodos secos com microagulhas \rightarrow modelo eléctrico + simples; impedância stratum corneum e V_{se} são eliminadas;

Fabrico: microagulha tridimensional, obtida por CQSA \rightarrow corrosão (undercut effect) é necessário envolver em $IrOx$ (sputtering) pois silício não é condutor. Melhor envase tem menor resistividade \Rightarrow melhor eléctrodo.

Circuito Electrónico que caracteriza Electroquímica dos Elétrodos



é mínimo o risco de infeção provocado por eléctrodos secos com microagulhas e revestidos a óxido de irídio.
 $\hookrightarrow (IrOx)$

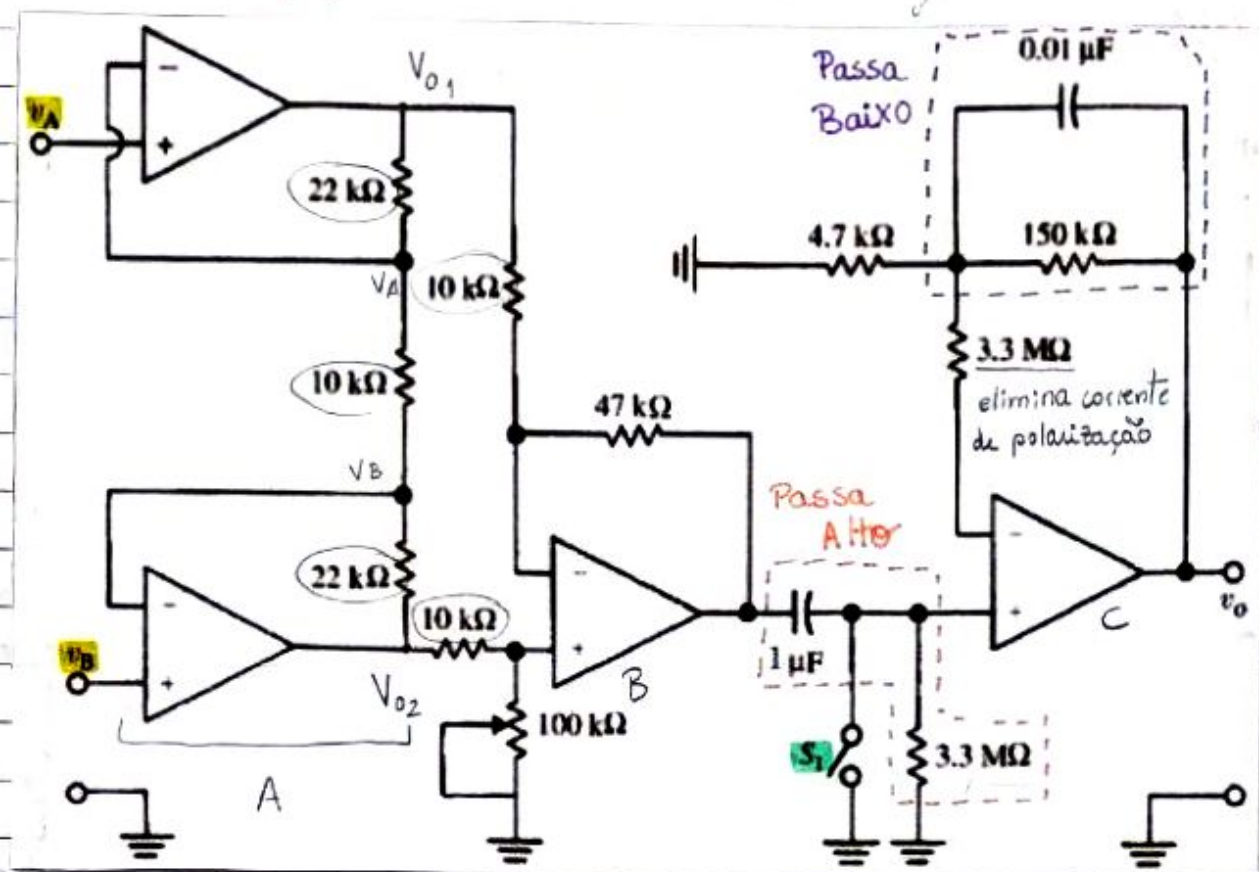
Elétrodos em SU-8 com agulhas independentes \rightarrow SU-8 é polímero facilmente padronizável, muito flexível mas resistente à fratura (ideal p/ estruturas estreitas e altas). Dupla agulha permite alcançar diferentes regiões do cérebro, sem que uma das agulhas condicione a mobilidade da outra.

Rália

Amplificadores para Aquisição de Biopotenciais

Relembrar - Amplificador de Instrumentação

aquisição de
Sinal ECG



V_A e V_B são 2 eletrodos de entrada.

Este amplificador recebe sinal de ECG com baixa amplitude e tem um ganho muito alto. Ruído afeta sinal.

ganho do amplificador

Estados acoplados DC: $\text{ganho} = 25$

Filtro passa alto alimenta amplificador não inversor com ganho 32.

Ganho total = $25 \times 32 = 800$.

Cálculo Auxiliar

$$V_{02} - V_{01} = I (22k + 10k + 22k)$$

$$I = \frac{V_A - V_B}{10k}$$

① $\text{Ganho} = 1 + 2 \cdot \frac{22k}{10k} \Rightarrow G_A = 5,4$

② $\frac{47k}{10k} \Rightarrow G_B = 4,7$

$G_C = \frac{150k}{4,7k} \Rightarrow G_C = 31,91$

$G_{\text{Total}} = \frac{5,4 \times 4,7 \times 31,91}{25,38} = 809,9 \approx 810$

Resposta em Frequência

existem dois filtros: um passa-alto e outro passa-baixo, sendo, no total, um filtro passa banda!

Passa-Alto (f_{ic})

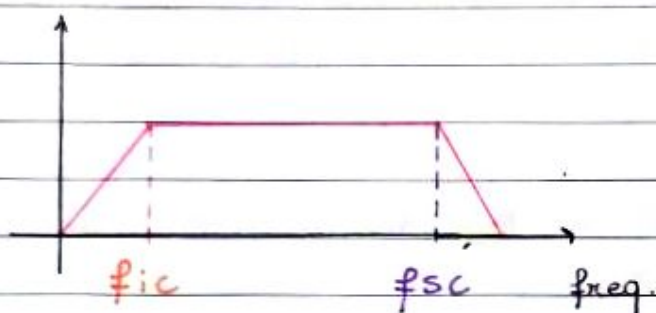
$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \times 10^{-6} \times 3,3 \times 10^6} = 0,04 \text{ Hz}$$

↘ valores limite de
passa-banda p/ sinal
passar

Passa-Baixo (f_{sc})

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^{-8} \times 150 \times 10^3} = 106 \text{ Hz}$$

↗



As correntes de polarização são regularizadas pelas resistências.

Switch → ao ligar o switch, o amplificador consegue descarregar o condensador para precaução, pois o batimento cardíaco não é sempre regular, e como o ganho é muito elevado, o amplificador pode saturar - o switch serve para fazer reset no circuito.

Aspectos Introdutórios

• um amplificador de aquisição de biopotenciais promove ganho nos biosinais provenientes dos eletrodos, introduzindo baixo grau de distorção.

a medição de biopotenciais requer cuidados pois as amplitudes dos sinais são baixas, e portanto facilmente contamináveis pelo ruído externo.

O ruído deve-se à interferência causada pelos 50 Hz da rede de alimentação de energia e do ruído introduzido pelo amplificador.

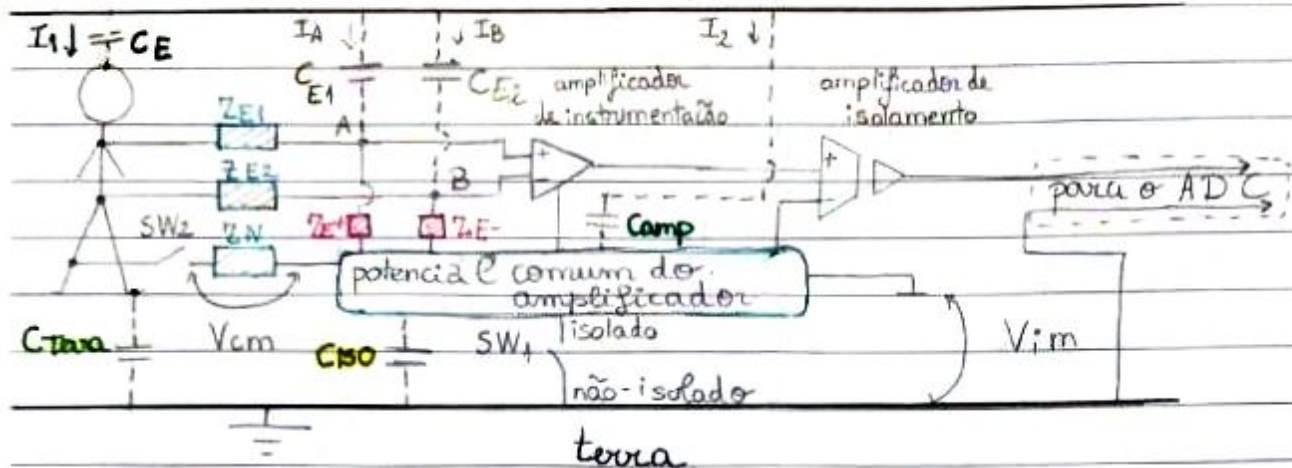
Outras fontes de interferência: ecrãs c/ tubos de raios catódicos, fontes comutadas, lâmpadas fluorescentes.

Nota: os potenciais são adquiridos em ordem ao tempo, porém, se se aplicarem as transformadas de Fourier, obtém-se em ordem as frequências.

As correntes resultantes da interferência das linhas de distribuição de energia percorrem caminhos diversos.

Valia

alimentação principal da rede elétrica



Z_{E1}, Z_{E2}, Z_N impedâncias do eletrodo 1, 2 e neutro (eletrodos 1 e 2 são eletrodos de leitura dos potenciais).

estas impedâncias tendem a ser altas pois são a soma: Z próprio organismo + Z interface eletrodo pele (cujo valor pode ser muito elevado em caso de má colocação do eletrodo)

||

Isto exige que se usem **amplificadores** com **impedância de entrada** (Z_{E+}, Z_{E-}) **muito elevada**!

Capacidades de acoplamento (tracejado) resulta no fluxo de **correntes parasita** (criam combinações de percursos desde alimentação até à terra, passando pelas capacidades $C_E, C_{Terra}, C_{E1}, C_{E2}, C_{amp}, C_{ISO}$).

As capacidades parasita são **indesejadas**, aparecem em relação à terra ou alimentação.

C_E c.p. entre sujeito e rede elétrica;

C_{Terra} c.p. entre sujeito e terra;

C_{E1} c.p. eletrodo 1 e rede elétrica;

C_{E2} c.p. eletrodo 2 e rede elétrica;

C_{amp} c.p. potencial comum do amplificador e rede elétrica

C_{ISO} c.p. entre potencial comum do amplificador e terra

Os valores das capacidades parasitas devem ser o menor possível de modo a não afetar a aquisição do sinal.

O **eletrodo neutro** é necessário para **igualar a tensão** de modo comum do **indivíduo** ao **potencial comum do amplificador** (o terminal de neutro tende a coincidir com a massa do amplificador).

Neste caso, o eletrodo de referência é a perna direita - há apenas 2 eletrodos! Ambos se ligam ao amplificador de instrumentação para serem diferenciados o máximo possível.

I_2 provoca capacidade parasita em relação ao potencial comum.

Amplificadores que promovem ganho de tensão são mais usados.

Para isolar a carga do local onde o biopotencial está a ser adquirido, usa-se amplificadores de corrente.

Características desejáveis para amplificador de biassinais:

- . ganho elevado
- . baixa densidade de ruído
- . elevada impedância de modo comum à entrada
- . elevado coeficiente de rejeição de modo comum.

Fatores originadores de interferências:

- . correntes de interferência induzidas nos cabos que ligam os elétrodos ao amplificador de instrumentação.
- . correntes através do corpo humano
- . correntes induzidas no amplificador
- . interferências magnéticas.

Correntes nos cabos que ligam elétrodos ao amplificador de instrumentação

Correntes parasitas I_A e I_B fluem em direção aos elétrodos através dos condensadores CE_1 e CE_2 , percorrem o corpo do sujeito e seguem em direção à terra. (2 caminhos \rightarrow Terra ou elétrodo neutro em série c/ C_{ISO} (SW2 fechado, SW1 aberto).

$$V_{AB} = I_A Z_{E1} - I_B Z_{E2} = I Z_E \cdot \left(\frac{\Delta Z_E}{Z_E} + \frac{\Delta I}{I} \right)$$

Se os fios de ligação elétrodos - amp. instrumentação estiverem muito próximos, $I_A \approx I_B \rightarrow$ correntes de interferência apenas dependem da qualidade dos elétrodos.

Elétrodos de elevada qualidade \rightarrow baixa impedância, impedâncias muito próximas.

Minimizar: usar cabos com blindagem eletromagnética ligada ao potencial comum do amplificador.

Correntes através do corpo humano

C_E (300 pF) e C_{Terra} (3 pF) podem originar correntes através do corpo (se o isolamento elétrico for mau, correntes I_1 atingem 1 μA e tensão de modo comum V_{cm} excede 20 mV). Em amplificadores ideais não é problema pois componente de modo comum é eliminada, amplificando apenas a componente diferencial. só é problema nos reais! Solução: usar amplificadores com elevada rejeição de modo comum, quantificar com rigor o grau de desadaptação de impedâncias entre pele e elétrodos (Z_{E1} e Z_{E2}) e o real valor da impedância de entrada de cada terminal relativamente ao potencial comum do amplificador ($Z_{in,A}$ e $Z_{in,B}$).

Minimizar dispersão relativa \rightarrow usar bom amplificador diferencial. (S.M.R. alto) Valia

amp. instrumentação

Para diminuir tensão modo comum V_{cm} :

- bom eletrodo neutro (impedância Z_N menor possível);
- bom contacto entre eletrodo de neutro e pele.

ex.

Se $C_E = 300 \text{ pF}$, $C_{Terra} = 3 \text{ pF}$, $Z_N = 20 \text{ k}\Omega$ e $I_1 = 0,25 \mu\text{A}$.

↳ quanto + alto I_1 , pior!

$$V_{cm} = Z_N \cdot I_1 = 20 \text{ k}\Omega \cdot 0,25 \mu\text{A} = 5 \text{ mV}$$

É desejável que a tensão de modo comum V_{cm} seja baixa.

Correntes induzidas no amplificador → se não houver isolamento galvânico, é preciso considerar C_{ISO} e C_{amp} , que gera corrente de interferência I_2 que flui em direção à terra (2 caminhos: C_{ISO} (SW1 aberto) e eletrodo de neutro em série com C_{Terra} (SW2 fechado)). Corrente que flui no eletrodo de neutro faz aumentar a tensão de modo comum V_{cm} .

Interferências Magnéticas

- interferência depende da área e da orientação do anel formado pelos cabos que ligam os eletrodos ao amplificador de instrumentação combinado com partes do corpo e do sistema de aquisição.
- minimizar: reduzir a área de indução magnética através do entrelaçamento dos cabos de ligação, mantendo-os o mais próximo possível entre si.

Compensação de Interferências

- blindagem eletromagnética;
- gaiola de Faraday;
- circuito driven right leg (compensação perna direita);
- redução dos 50Hz e múltiplos c/ recurso a hardware;
- aquisição de sinais ECG em Jatos.

Blindagem Eletromagnética

- um dos métodos + usados, recurso a cabos c/ blindagem eletromagnética.
- proteção efetiva contra correntes de interferência induzidas nos cabos de ligação dos eletrodos ao amplificador de instrumentação;
- envolver condutor que transporta sinal do eletrodo numa bainha metálica e ligá-la ao potencial comum do amplificador (bainha atua como blindagem eletromagnética, prevenindo indução de correntes nos condutores por ela envolvidos).

gaiola de Faraday

- mais eficaz - interferência é eliminada na totalidade porque o campo eletromagnético exterior redistribui cargas ao longo das paredes de forma a anular o campo eletromagnético no interior.
- isola-se, c/ uma estrutura metálica boa condutora ligada à terra, o que se pretende medir (a alimentação tem de ficar dentro da gaiola).

Circuito Driven Right Leg (perna direita e referência)

- Amplificador de instrumentação:
 - elevada impedância de entrada;
 - bom coeficiente de rejeição de modo comum sem ter de ajustar componentes;
 - controlo de ruído, largura de banda, consumo de energia e correntes de polarização à entrada selecionando amplificadores operacionais;
- Usar cabos c/ blindagem eletromagnética + adição do circuito driven right leg → reduzir efeito da tensão de modo comum e as correntes de interferência (força tensão de modo comum a ser equivalente à média das tensões presentes nos dois eletrodos).

Redução dos 50Hz e seus múltiplos com recurso a hardware

Hardware rejeita componente a 50Hz e deixa passar restantes.

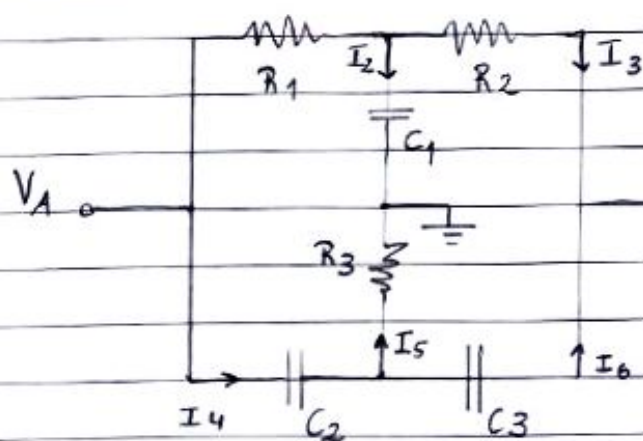
1 filtro com o módulo da função de transferência em forma de notch (redução de múltiplas frequências → usar vários filtros notch em cascata).

Ideal: frequência central precisa e notch c/ menor largura possível.

Filter ativo: melhorar fator de qualidade.

Twin T Notch Filter (circuito passivo do rejeita banda)

malha capacitiva e resistiva



Lei das Malhas:

$$V_A - X_1 I_1 - X_1 I_2 = 0$$

$$V_A - X_2 I_4 - R_3 I_5 = 0$$

$$V_B + R_2 I_3 - X_1 I_2 = 0$$

$$V_B + X_3 I_6 - R_3 I_5 = 0$$

Lei dos Nós:

$$\rightarrow V_A = R_1 (I_2 + I_3) + X_1 I_2 \quad (1)$$

$$V_A = X_2 (I_5 - I_3) + R_3 I_5 \quad (2)$$

$$V_B = -R_2 I_3 + X_1 I_2 \quad (3)$$

$$V_B = X_3 I_3 + R_3 I_5 \quad (4) \quad \text{talia}$$

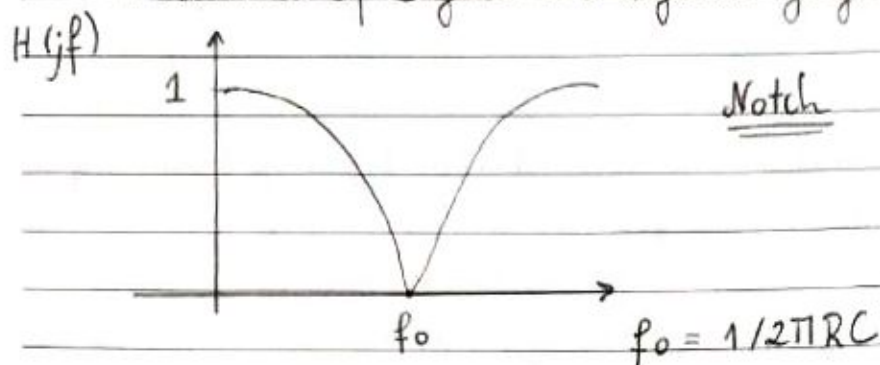
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_4 = I_3 + I_6$$

$$I_6 = -I_3$$

$$1 + 3 = 2 + 4, R = R_1 = R_2 = 2R_3, C_2 = C_3, C = C_1 = 2C_2$$

↳ obtêm-se eq. 2 grau e o seguinte gráfico



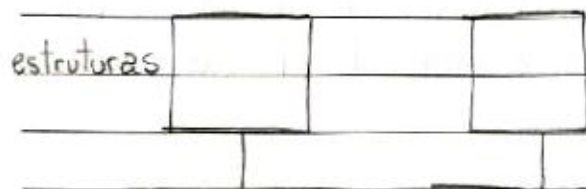
Notch

Assim retira-se a frequência desejada. Se se quiser retirar um múltiplo, varia-se R e C .

Aquisição de sinais de ECG em fitas

É possível obter o ECG da mãe e do feto usando mais eletrodos (no peito e no abdômen). Sinal é processado no software para eliminar interferência.

De notar que a colocação da Terra é importante, pois qualquer variação pode provocar uma descarga no sujeito.

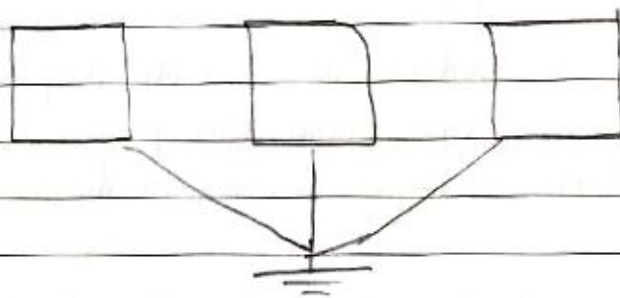


← esta forma de ligação não é correta, pois as interferências vão passar uns aos outros

impedância que gera diferença de potencial que gera corrente

\perp terra do edifício

A solução ideal é usar uma gaiola de Faraday, que aniquila completamente a interferência. Não sendo possível, a estrutura ao lado é a correta.



Amplificadores de Isolamento

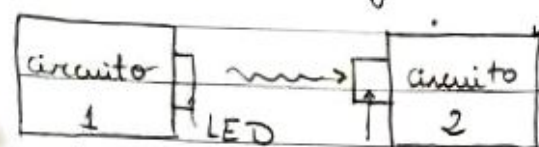
• correntes induzidas nos cabos podem ser fatais → deve-se isolar a parte diretamente em contacto da parte de controlo.

Alimentação por bateria → mais simples, mas exige manutenção. Perde eficiência quando a fusante do instrumento autoalimentado liga a outra componente. Proteção contra interferência que vem dos picos da rede elétrica ou das falhas de rede; alimentação por pilha é muito baixa e independente da rede.

Acoplamento Ótico → muito eficaz, transmissão feita por acoplador ótico, sandwich de diodo emissor de luz e fototransistor, ruído de luz ambiente eliminado.

2 métodos: transmissão direta \rightarrow modula amplitude do feixe de luz produzido pelo LED.

transmissão por impulso \rightarrow envio de impulsos óticos cuja amplitude é 1 de 2 valores (informação contida na fase ou na duração de impulsos); maior imunidade ao ruído; limitações na largura de banda; utilizado em conversores de energia.



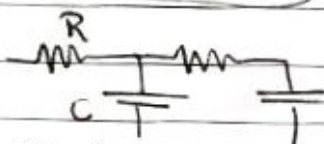
Sistema de controlo
(baixa alimentação)

alimentação muito alta

Se os circuitos se juntassem, o que acontece no 1 acontecerá no 2 \rightarrow há interferência.

Para haver comunicação, usar o LED e o fotodiodo.
Os 2 circuitos continuam isolados.

Isolar eletricamente:



Assim, como o buffer tem uma impedância de entrada muito alta, os 2 circuitos ficam isolados.

A impedância entra na freq. de corte do 2: filtro \rightarrow impedimos que tal aconteça usando um buffer entre eles. Assim, como o buffer tem uma impedância de entrada muito alta, os 2 circuitos ficam isolados.

Em sistemas de alta potência, não é possível isolar apenas eletricamente mas também se tem de isolar pelo acoplamento ótico.

Acoplamento Magnético \rightarrow circuito comunicam pelas bobinas. Ao passar corrente, gera-se um campo magnético; no outro circuito, a bobine recebe o campo magnético e transforma em corrente. Circuitos isolados.