

## DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE ELETROMIOGRAFIA

João Paiva (Universidade Estadual de Maringá) E-mail: joaovmarcotti@hotmail.com

**Resumo:** A eletromiografia é uma ferramenta altamente útil para aplicações clínicas que envolvem a interface homem-máquina. Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de captura de biopotenciais, aplicável a atividades e projetos relacionados ao microcontrolador Arduino e à cultura DIY (*Do It Yourself*). O projeto do circuito envolveu o uso de amplificadores operacionais, amplificadores instrumentais, filtros passa-faixa ativos, resistores e capacitores. O resultado foi um circuito capaz de receber sinais dos músculos do usuário, limpando, amplificando e entregando-os ao microcontrolador. Através do seu conversor analógico-digital (ADC) integrado, ele exibe os valores do sinal, possibilitando a aplicação deste sensor em projetos DIY. Além disso, foi desenvolvida uma Placa de Circuito Impresso (PCB – *Printed Circuit Board*) com dimensões de 5 x 3,5 cm e 2 camadas, e se considerou a utilização de componentes de soldagem por furo. O sensor desenvolvido teve um custo final de produção de US\$ 16,75, incluindo a fabricação e entrega da PCB, todos os componentes eletrônicos e o cabo dos eletrodos.

**Palavras-chave:** Arduino. Bioengenharia. Biopotenciais. Eletromiografia. Eletrônica.

## DEVELOPMENT OF AN ELECTROMYOGRAPHY SENSOR

**Abstract:** Electromyography is a highly useful tool for clinical applications involving the human-machine interface. This project proposes the development of a system for capturing bio-potentials applicable to activities and projects related to the Arduino microcontroller and the DIY (*Do It Yourself*) culture. The circuit design involved the use of operational amplifiers, instrumental amplifiers, active band-pass filters, resistors, and capacitors. The result was a circuit capable of receiving signals from the user's muscles, cleaning, amplifying and delivering them to the microcontroller. Through its integrated analog-to-digital converter (ADC), it displays the signal values, enabling this sensor's application in DIY projects. Also, a Printed Circuit Board (PCB) was developed with dimensions of 5 x 3.5 cm and 2 layers, and considered the use of through-hole soldering components. The developed sensor had a final production cost of US\$ 16.75, including the PCB manufacturing and de-livery, all the electronic components and the electrodes wire.

**Keywords:** Arduino. Bioengineering. Biopotentials. Electromyography. Electronics.

### 1. Introdução

A movimentação do corpo humano é possível através da coordenação entre músculos e cérebro. O desenvolvimento de um movimento, pode envolver um ou vários músculos, no qual o cérebro envia sinais excitatórios ou inibitórios através do sistema nervoso central, e conduzidos pela medula espinal. Para chegar até o musculo, este sinal é transmitido via sinapse pelos neurônios até a unidade motora (ponto de junção entre as fibras musculares e o último neurônio) (IRAZOQUI, 2015).

O potencial de ação enviado pelos neurônios, é um biosinal gerado através de reações químicas decorridas da semi-permeabilidade ao potássio-sódio entre a membrana neural e o meio externo a ela. O potencial de ação é um sinal que percorre os neurônios a fim de estimular ou relaxar um músculo, e é ele que forma o sinal eletromiográfico. (IRAZOQUI, 2015).

A ativação do sistema nervoso central é repetida continuamente pelo tempo necessário para a realização do movimento, ou manutenção da posição atual do músculo ou membro. O grupo e o número de músculos envolvidos em um movimento, dependem da ação e da força a serem

realizadas. Assim, quanto maior a força muscular necessária para a realização de um movimento, maior será a excitação do sistema nervoso central, e mais fibras musculares serão recrutadas (JAMAL, 2012).

O sinal eletromiográfico é um sinal analógico de tensão alternada, com amplitude da ordem dos milivolts e que varia, aproximadamente, entre -68mV e +24mV graças à abertura e ao fechamento dos canais iônicos de sódio e potássio presentes nos axônios dos neurônios, resultando em uma tensão de pico-a-pico próxima de 92mV. Sua frequência é diretamente proporcional ao esforço realizado pelo seu músculo gerador durante uma contração, chegando a valores próximos de 500 Hz (IRAZOQUI, 2015).

O sensor eletromiográfico mede o potencial elétrico gerado por um determinado grupo muscular. Este sistema é dividido basicamente em: eletrodos, amplificador diferencial, filtro passa-banda ativo e conversor analógico-digital (IRAZOQUI, 2015).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sensor eletromiográfico de superfície para aplicações relacionadas à cultura DIY - que segundo Marini (2019), é a cultura baseada na ideia de que as pessoas devem ser capazes de fabricar, construir, reparar e alterar objetos dos mais variados tipos e funções com as próprias mãos, baseando-se num ambiente de colaboração e transmissão de informações entre grupos e pessoas - e aos microcontroladores da empresa Arduino, a partir do projeto e simulação do circuito de captação e processamento dos sinais elétricos provenientes de músculos superficiais do usuário.

## **2. Materiais e métodos**

O software TINA TI (Toolkit for Interactive Network Analysis), da empresa Húngara DesignSoft, foi utilizado para o projeto e simulação de todos os circuitos envolvidos neste projeto. Já para o design da placa de circuito impresso (Na sigla em inglês PCB: *Printed Circuit Board*) que une todos os circuitos desenvolvidos, optou-se pelo uso do software EasyEDA, sendo projetada visando a sua encomenda por meio da fabricante JLC PCBs.

Utilizou-se componentes como amplificadores instrumentais, amplificadores operacionais, capacitores e resistores, de fácil acesso e compra em lojas online, e baseando-se em seus datasheets e materiais acadêmicos, projetou-se os circuitos eletrônicos que compõem o sensor de eletromiografia proposto por este trabalho.

## **3. Resultados e discussão**

O funcionamento do sensor de eletromiografia proposto pode ser dividido em 3 partes: entrada, processamento (esta com 4 subdivisões de seus circuitos) e saída do sinal proveniente dos músculos do paciente, ilustradas a seguir:

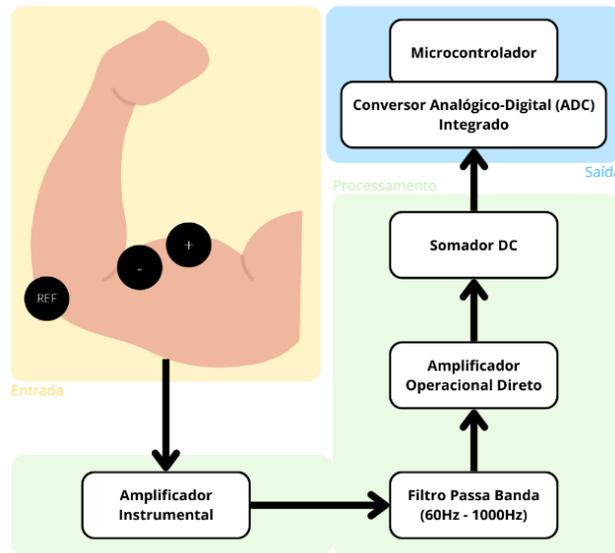


Figura 1 - Divisões do funcionamento do sensor proposto.

Na parte 1, temos a entrada do sinal eletromiográfico nos circuitos de processamento. Nesta parte é realizada a captação do sinal proveniente do usuário por meio de eletrodos de superfície, úmidos e passivos. Optou-se pelo uso de eletrodos com estas características pois se trata de uma forma indolor (sem perfuração do usuário), de fácil fixação (úmidos) e de baixo custo (componente passivo) de receber tais sinais.

Na Figura, 2 tem-se o sinal eletromiográfico utilizado no TINA TI para simular o funcionamento real do sensor desenvolvido. É definido como uma tensão alternada entre -68 mV e +24 mV com frequência de 500 Hz [1].

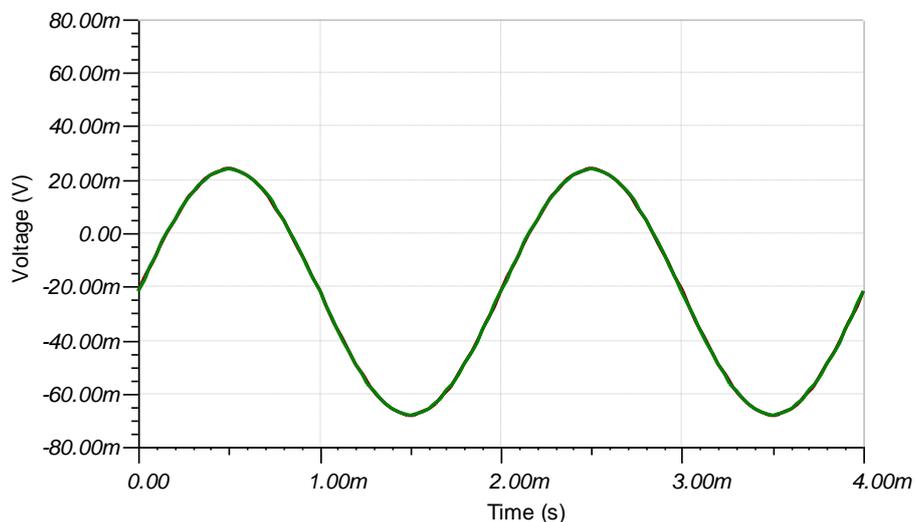


Figura 2 – Sinal eletromiográfico utilizado para simular o real.

Quanto à parte 2, a etapa de processamento dos sinais de entrada, temos essa dividida em 4 circuitos de processamento. No primeiro circuito (Parte 3), responsável pela amplificação e diferenciação do sinal, utilizou-se o amplificador instrumental INA126P configurado para um ganho igual à 10 vezes. Este circuito também é responsável pela rejeição de modo comum (CMRR - Common-Mode Rejection Ratio), que atenua os sinais comuns às duas entradas do componentes, reduzindo os ruídos provenientes do ambiente e dos músculos vizinhos ao qual os eletrodos estão conectados.

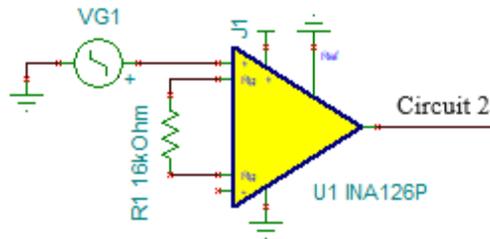


Figura 3 - Circuito 1.

Após o circuito 1, o sinal é agora definido por uma tensão alternada que varia entre -680 mV e 240 mV (Figura 4).

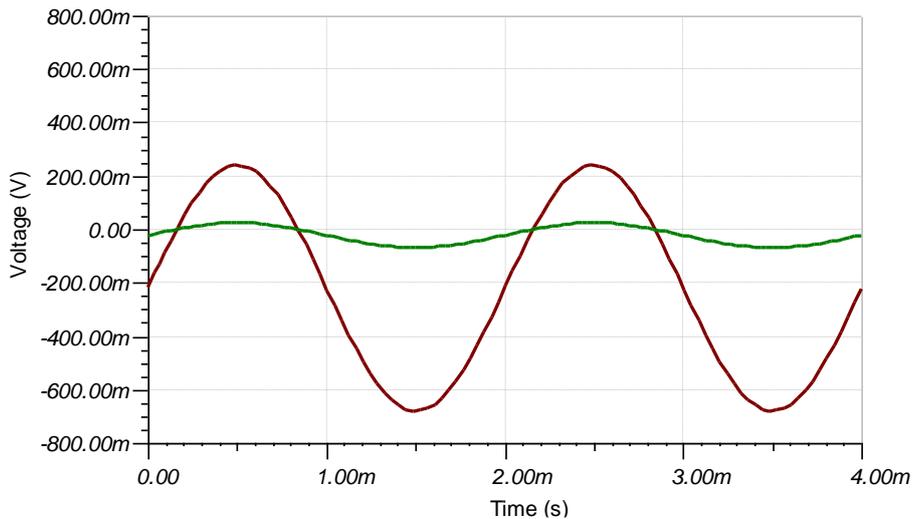


Figura 4 – Sinal após o circuito 1.

Para o segundo circuito (Figura 5), tem-se a filtragem de uma banda específica do espectro de frequências. Para isso, projetou-se um filtro passa-banda ativo butterworth de segunda ordem, de topologia Sallen-Key e de ganho unitário, composto por dois filtros passa-banda, utilizando para isso 2 amplificadores operacionais TL072, resistores e capacitores. Temos a rejeição de frequências fora da faixa de 10Hz a 1000Hz (Figura 6).

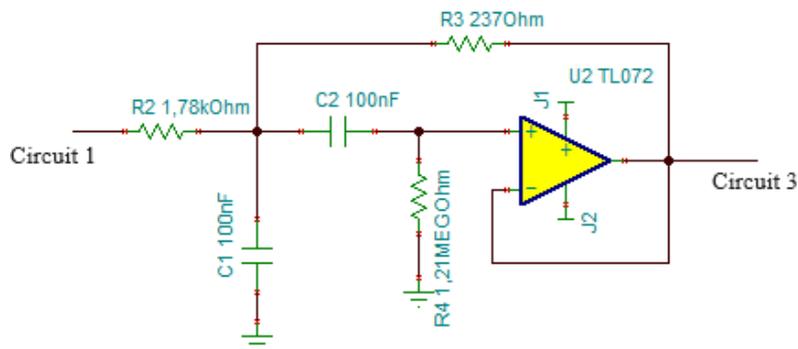


Figura 5 - Circuito 2.

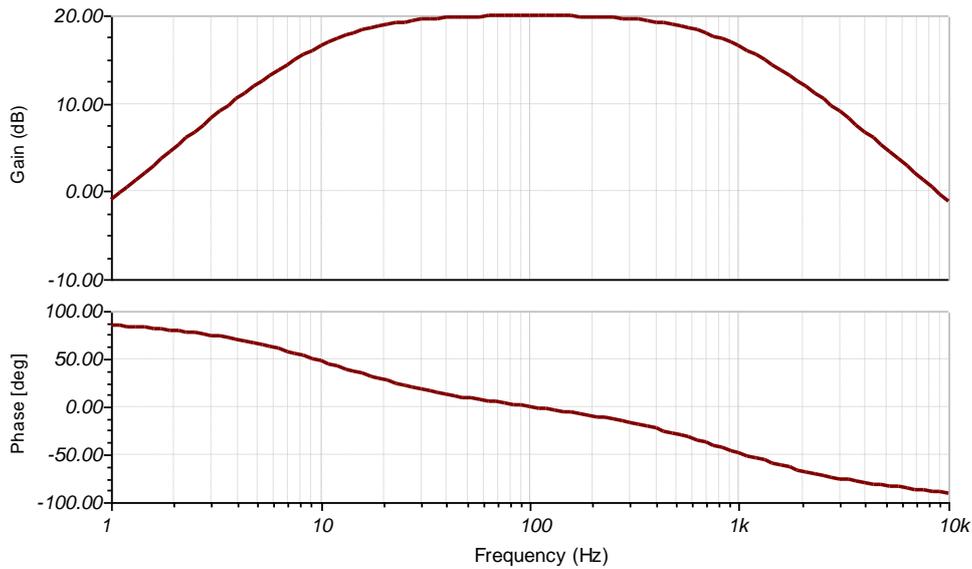


Figura 6 - Ganhi (dB) e fase em relação á faixa de frecuencia do filtro projetado.

Um amplificador operacional em configuração não inversora forma o terceiro circuito (Figura 7), realizando a segunda amplificação do sinal de entrada com um ganho de 6 vezes.

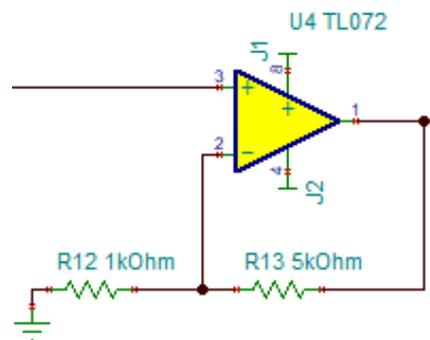


Figura 7 - Circuito 3.

Na figura 8 tem-se o sinal antes (vermelho) e após (verde) o circuito 3, amplificado de uma tensão de pico de 400 mV para 2.4 V.

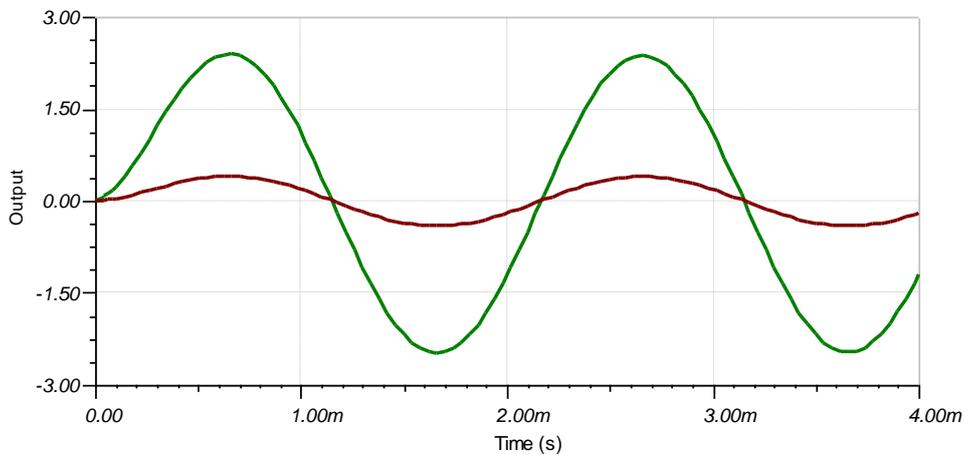


Figura 8 – Sinal após o circuito 3.

Por fim, temos a última subdivisão da parte 2 (de processamento) e também o último circuito do sensor projetado (Figura 9): um divisor de tensão e um somador DC compostos por 2

amplificadores operacionais e resistores, deslocando o sinal para cima em 2,5V e o igualando à faixa de tensão ideal para a entrega do sinal analógico processado aos principais microcontroladores da empresa Arduino (0 a 5V) como exibido na Figura 10.

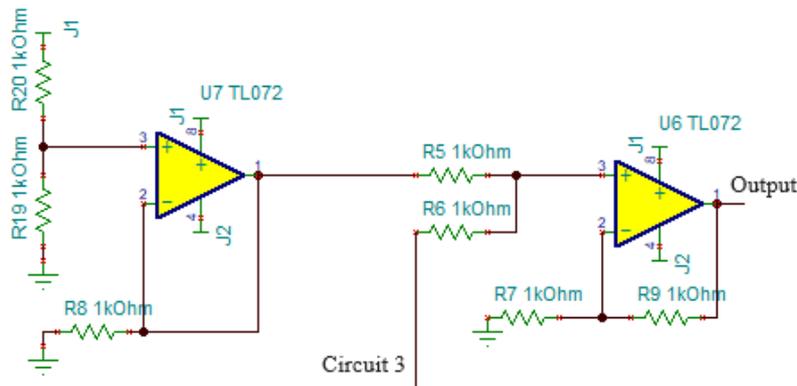


Figura 9 - Circuito 4.

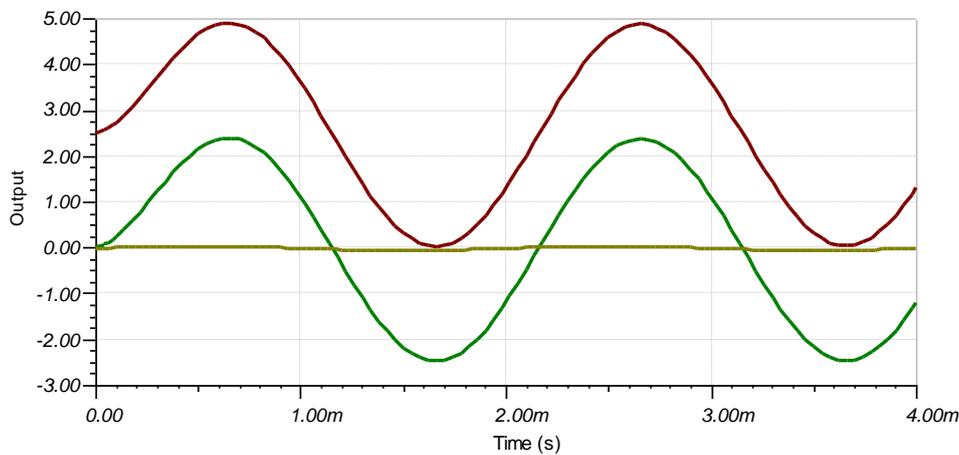


Figura 10 - Sinal após o processamento.

Na parte 3, temos a saída do sinal eletromiografo, amplificado e com ruídos atenuados. Projetou-se este equipamento para que nesta etapa de saída, o sinal processado seja entregue à entrada de conversão analógica-digital de um microcontrolador da família Arduino, possibilitando e facilitando o seu uso pela comunidade DIY.

Para finalizar o projeto deste sensor de eletromiografia, todos os circuitos eletrônicos e periféricos contidos nas 3 partes apresentadas foram projetados na forma de uma única placa de circuito impresso com dimensões iguais a 5 X 3,5 cm (Figura 11), 2 camadas e uso de componentes de soldagem por furo (menor custo em relação a componentes de soldagem em superfície), possibilitando a sua fabricação e uso ou comercialização

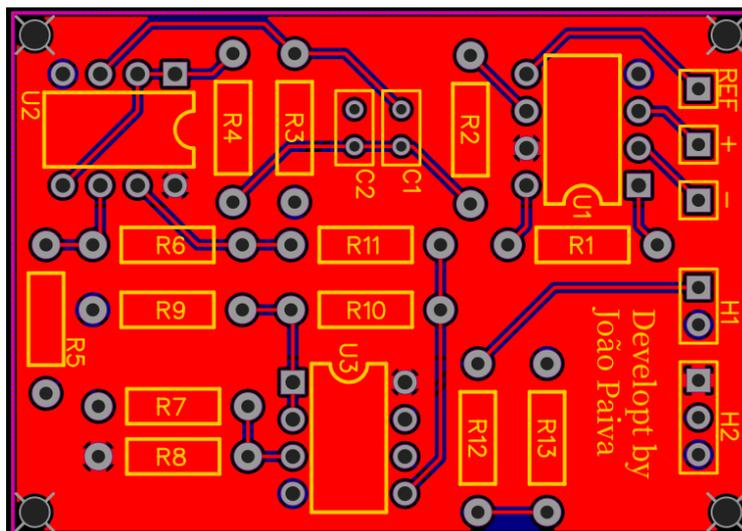


Figura 11 - Visualização da placa de circuito impresso.

O orçamento da placa de circuito impresso está representado pela Tabela 1, e mostra a identificação dos componentes, seus nomes, tipos, quantidades, preços unitários e preços totais.

Tabela 1 - Orçamento da placa de circuito impresso.

Identificação	Nome	Quantidade	Preço unitário	Preço total
U1	INA126P	1	5,43	5,43
U2, U3	TL072CP	2	0,69	1,38
U1, U2, U3	DIP8 IC socket	3	0,20	0,60
R6 - R13	Resistor 1k $\Omega$	8	0,015	0,12
R2	Resistor 2k $\Omega$	1	0,04	0,04
R4	Resistor 250 $\Omega$	1	0,10	0,10
R3	Resistor 1.2M $\Omega$	1	0,10	0,10
R1	Resistor 16k $\Omega$	1	0,04	0,04
R5	Resistor 5k $\Omega$	1	0,10	0,10
C1, C2	Capacitor 100n F	2	0,40	0,80
J1, J2, J3	Cabo de eletrodos	1	5,00	5,00
H1, H2	Soquete	2	0,10	0,20
Total price				13,91

Fonte: Autoria própria.

Somando-se os preços totais de cada componente, obtem-se o preço total da placa de circuito impresso de U\$13,91. Assim, considerando-se o custo de envio de U\$2,84, tem-se o custo final de U\$ 16,75.

#### 4. Conclusão

Com a finalização do projeto e simulação de todos os circuitos de processamento, bem como sua PCB, temos a conclusão do trabalho proposto: o projeto de um sensor de eletromiografia, funcional e ideal para aplicações da comunidade DIY, capaz de receber um sinal proveniente de músculos superficiais, processá-lo e o entregar ao conversor analógico digital de um microcontrolador Arduino, com um custo de produção de U\$ 16,75.

**Referências**

**MARINI, E.** *A expansão da Cultura Maker nas escolas brasileiras*. 2019. Disponível em: <<https://revistaeducacao.com.br/2019/02/18/cultura-maker-escolas/>>. Acesso em 12 de agosto de 2022.

**KAMEN, G. & GABRIEL, D.** *Fundamentos da Eletromiografia*. São Paulo: Phorte, 2015. 282 p.

**IRAZOQUI, P.** *Introduction to Bioelectricity*. Purdue University. EdX. 2015. Notas de aula.

**JAMAL, M. Z.** *Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis*. Computational Intelligence In Electromyography Analysis - A Perspective On Current Applications And Future Challenges. Vol. 1, n. 18, p. 427-448, 2012.