

## Desenvolvimento de um circuito de medição de resposta galvânica

### Development of acquisition of galvanic response circuit

Pablo Machoski<sup>1</sup>, José Jair Alves Mendes Júnior<sup>2</sup>

#### RESUMO

A medição da resposta galvânica da pele (GSR) refere-se a verificação das alterações das propriedades elétricas da pele, podendo ser usada para medir a atividade sudomotora. Parte do funcionamento da GSR está na atividade das glândulas sudoríparas, nas quais, devido ao seu enchimento, a sua resistência diminui. Com isso, pode-se monitorar atividades envolvendo o sistema nervoso simpático. Neste panorama, este trabalho apresenta o projeto e desenvolvimento de um circuito que realiza a medição da GSR da pele. O circuito é composto por uma fonte de corrente que é conectada aos eletrodos para realizar a aquisição dos sinais GSR e por um filtro passa baixa de terceira ordem. Foram realizados três testes para a validação e calibração do sistema de aquisição. O primeiro teste foi feito a partir da resposta em frequência do sensor. O segundo foi feito com a variação de diversas resistências e uma curva de calibração foi levantada. Por fim, foi realizado um teste medindo a variação da resistência de uma solução de soro fisiológico e água com diferentes concentrações de soro. Verificou-se que o sistema possui uma frequência de corte de 0,6 Hz, resposta linear para a variação de resistência e variação correspondente a alteração da solução de soro fisiológico, verificando ser apropriado para medição de GSR.

**PALAVRAS-CHAVE:** atividade eletrodérmica; resposta galvânica da pele.

#### ABSTRACT

The measurement of Galvanic Skin Response (GSR) is related to the electric properties in skin, which could be used to verify the sudomotor activity. Part of their behavior is related to sweat glands; when they are full, their resistance decreases. Thus, the activity involving the sympathetic nervous system could be monitored. This work presents the project and development of a circuit that measures the GSR. The circuit is composed of a current source, which is connected to the electrodes to GSR acquisition, and by a low-pass third order filter. Three tests were performed to validate and calibrate the circuit. The first test was related to frequency response of the sensor. Second test was the measurement of several resistance values to develop a calibration curve. Third test was the measurement of resistance of saline solution with different concentrations. It was verified that the proposed circuit has a cut-off frequency of 0.6Hz, linear response for resistance variation, and changes for different saline concentrations, being useful for GSR measurement.

**KEYWORDS:** electrodermal activity; galvanic skin response.

#### INTRODUÇÃO

Resposta galvânica da pele (*Galvanic Skin Response*, GSR) ou atividade eletrodérmica (EDA) são termos que se referem à mudança de propriedades elétricas da pele. A GSR pode ser usada como uma forma quantitativa de se medir a atividade sudomotora, a qual é conectada ao sistema nervoso simpático, tornando possível a

<sup>1</sup> Bolsista do Programa de Iniciação Científica Voluntária (PIVICT). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: pablomachoski@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8386091728209267.

<sup>2</sup> Docente do Departamento de Eletrônica (DAELN). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. Email: jjjunior@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1920188611669631.

estimativa da amplitude e duração de estímulos gerados nos centros de controle do cérebro, interpretando a sua resposta na pele (POSADA-QUINTERO, 2020).

O modelo “*single effector*” das glândulas sudoríparas é o modelo mais aceito para o funcionamento da GSR. A quantidade de suor produzido pelas glândulas sudoríparas varia com o nível de atividade do sistema nervoso simpático. As glândulas podem ser modeladas como um conjunto de resistores em paralelo. Quando uma quantidade elevada de suor as enche, sua resistência diminui, apresentando uma relação direta com a atividade do sistema nervoso simpático (POSADA-QUINTERO, 2020).

Existem três métodos para a aquisição de sinais GSR. O método endossomático, (sem a aplicação de uma corrente externa sobre a pele) mede a diferença de potencial entre um ponto ativo de medição e um ponto de referência. Outros métodos que podem ser empregados são chamados de exossomáticos, os quais podem utilizar uma corrente contínua (DC) ou alternada (AC) (BOUCSEIN, 2012).

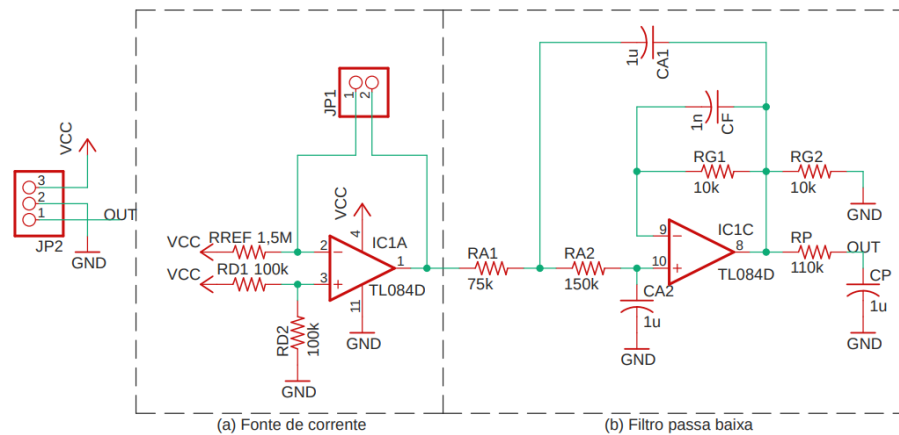
Dentre os métodos, o exossomático DC é o mais utilizado, sendo o empregado neste trabalho, o qual consiste na aplicação de uma tensão ou corrente constante sobre a pele e na medição do sinal resultante. Se uma tensão constante for aplicada, um sinal em corrente será medido, e vice versa. Esse método é de simples implementação e a análise do sinal medido é mais simples que outros métodos. No entanto, a eletrólise dos eletrodos pode gerar uma força eletromotriz inversa, que pode alterar as medições. Por fim, o método exossomático AC tem um princípio de funcionamento similar ao método DC, mas aplicando uma tensão ou corrente alternada sobre a pele. Esse método não é muito utilizado, a sua implementação é de maior complexidade e o sinal medido deve ser processado para a identificação dos componentes que representam a condutância e a capacitância da pele.

Este trabalho tem como objetivo a implementação de um sistema de medição de resposta galvânica da pele por meio da aplicação de corrente contínua. O sistema desenvolvido foi baseado em um circuito apresentado no trabalho de Zangróniz et al. (2017). Além disso, foram realizados testes para verificar a validade do circuito e a sua caracterização para que possa ser utilizado como um sensor para medição de GSR.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento do circuito, definiu-se como requisitos: faixa de medição de 100 k $\Omega$  a 800 k $\Omega$ , visto que a resistência da pele é da ordem de 100 k $\Omega$  ou mais e no geral se encontra dentro dessa faixa de valores (BOUCSEIN, 2012); tensão de saída dentro do intervalo de medição do microcontrolador utilizado para a aquisição dos dados, 0 a 3,3 V, e frequência de corte do filtro passa baixa de 1,5 Hz. Com base nesses requisitos, foi desenvolvido um circuito, apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Esquemático do sensor GSR



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O circuito da Figura 1 consiste em duas seções. A seção (a) é uma fonte de corrente, implementada com um amplificador operacional, o divisor de tensão (RD1 e RD2) fornece uma tensão de  $V_{cc}/2$  para a entrada não inversora do amplificador. A corrente é definida por um resistor de referência e pode ser calculada pela equação:

$$I = \frac{V_{cc}}{2 \cdot R_{ref}} \quad (1)$$

Onde  $I$  é a corrente dada em A,  $V_{cc}$  é a tensão de alimentação dada em V e  $R_{ref}$  o valor do resistor de referência dado em  $\Omega$ . O valor da resistência ligada aos eletrodos, nesse caso a resistência da pele, pode ser encontrada baseada no resistor de referência e no valor da tensão de saída através da equação:

$$R_{pele} = R_{ref} \left( 1 - 2 \frac{V_{out}}{V_{cc}} \right) \quad (2)$$

Onde  $R_{pele}$  é a resistência da pele medida entre os eletrodos dada em  $\Omega$ ,  $R_{ref}$  a resistência de referência dada em  $\Omega$ ,  $V_{out}$  a tensão de saída do circuito dada em V e  $V_{cc}$  a tensão de alimentação dada em V.

A seção (b) do circuito (Figura 1) é um filtro passa baixa de terceira ordem com uma frequência de corte de 1,5 Hz, a saída do filtro (OUT) é ligada ao microcontrolador para a medição dos sinais.

Para a validação do circuito foram realizados três testes. Um primeiro teste da resposta em frequência do filtro. Para a sua realização, foram utilizados uma fonte de tensão para alimentar o circuito e um gerador de forma de onda senoidal (2V de amplitude e frequência variável) para fornecer um sinal senoidal. A saída do filtro foi lida com um osciloscópio e sua amplitude foi medida para diversos valores de frequência.

No segundo teste foi determinado o erro de medição e uma curva de calibração foi construída. Para realizar o teste, foi utilizado um conjunto de resistores de referência,

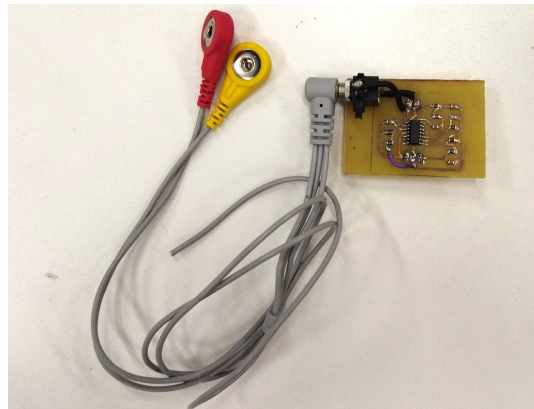
conectados aos eletrodos com o auxílio de uma protoboard. O valor de tensão de saída do circuito foi medido com o microcontrolador e a resistência correspondente foi calculada a partir da equação (2).

O último teste mediu a variação da impedância de uma solução de água e soro fisiológico em diferentes concentrações de soro. O soro fisiológico foi utilizado como um substituto para emular o comportamento do suor, já que possui características fisiológicas similares. Um dos eletrodos de aquisição foi ligado em série com um resistor de 330 k $\Omega$  para poder garantir que o teste estivesse dentro das faixas de medição. A impedância entre os eletrodos foi então medida para diferentes concentrações de soro em uma solução de 100 ml.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta o circuito desenvolvido, sendo utilizado o circuito integrado TL084 como amplificador operacional. Foram utilizados resistores e capacitores em montagem em superfície. Os eletrodos são conectados via um conector P2 para atenuar ruídos. As dimensões do circuito são de 5 cm por 3,5 cm.

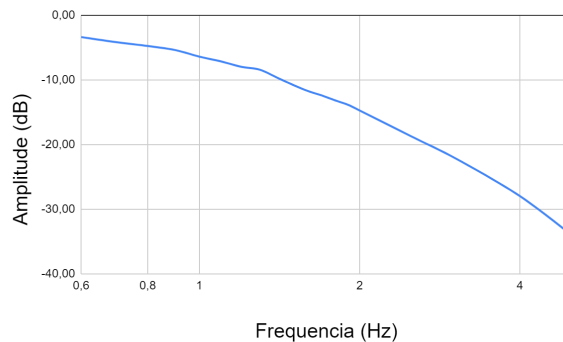
**Figura 2 – Circuito desenvolvido**



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Primeiramente, foi avaliado o comportamento do circuito usando a resposta em frequência, sendo apresentado na Figura 3. Como pode ser observado, o circuito possui um comportamento de filtro passa-baixa, estando com a sua frequência de corte próxima a 0,6 Hz. A diferença entre o valor calculado para essa frequência (1,5 Hz) e o obtido (0,6 Hz) deve-se a precisão dos componentes utilizados, porém, não influencia o resultado final, pois este deslocamento auxilia a atenuar as frequências acima de 1,5 Hz, chegando a valores de atenuação próximos aos -10dB.

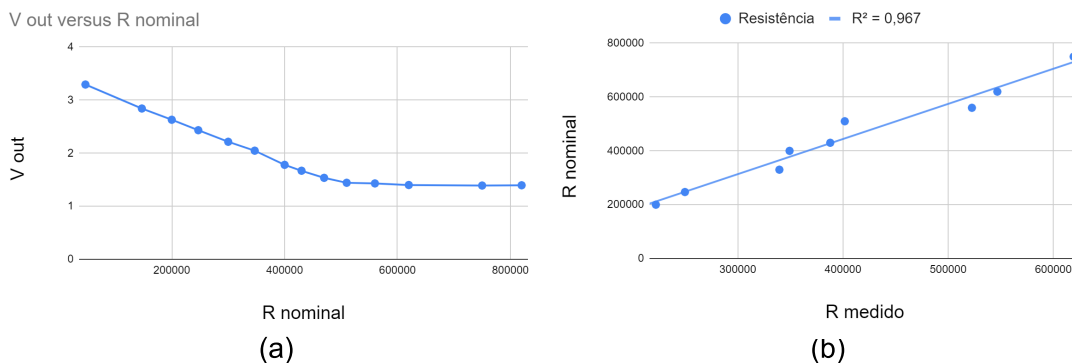
Figura 3 – Curva de resposta em frequência do filtro



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 4 apresenta os resultados referentes ao segundo teste. Como pode ser observado em (a), a variação da tensão de saída pelas resistências de teste possui comportamento linear, conforme o esperado. A partir de 500 k $\Omega$ , há uma saturação no valor correspondente de tensão devido a máxima diferença de potencial que pode ser obtida pelo amplificador operacional pela tensão de alimentação, já que o mesmo não é rail-to-rail. Com relação a curva de calibração na Figura 4 (b), o circuito apresentou um comportamento linear, sendo possível fazer a calibração usando o processo de regressão, obtendo um  $R^2$  igual a 0,967.

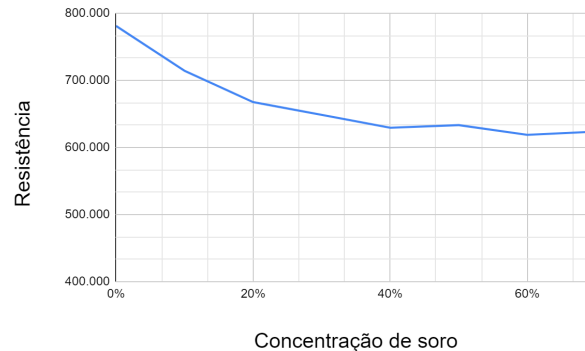
Figura 4 – Em (a), variação da resistência em função da tensão de saída e em (b), curva de calibração do sensor



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os resultados do último teste estão apresentados na Figura 5. Como pode ser observado, a resistência diminui com o aumento da concentração de soro fisiológico, estabilizando por volta de 50%. Dessa forma, como o circuito apresentou variação observada para o soro fisiológico, um líquido com características salinas, pode-se ser usado para a alteração da resposta galvânica da pele.

**Figura 5 – Variação da resistência em função da concentração de soro fisiológico**



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um circuito para aquisição de GSR. O circuito apresentou o comportamento linear esperado e foi possível realizar a sua calibração.

Trabalhos futuros focam-se em testar o circuito em diversas condições, envolvendo a medição do circuito de GSR em testes em humanos e formas de desenvolvimento dos eletrodos de tal forma que seja aplicável em sistemas vestíveis.

## REFERÊNCIAS

Posada-Quintero, H.F.; Chon, K.H. Innovations in Electrodermal Activity Data Collection and Signal Processing: A Systematic Review. *Sensors* 2020, 20, 479.

<https://doi.org/10.3390/s20020479>

Zangróniz, R.; Martínez-Rodrigo, A.; Pastor, J.M.; López, M.T.; Fernández-Caballero, A. Electrodermal Activity Sensor for Classification of Calm/Distress Condition. *Sensors* 2017, 17, 2324. <https://doi.org/10.3390/s17102324>

Boucsein W, Fowles DC, Grimnes S, Ben-Shakhar G, roth WT, Dawson ME, Filion DL; Society for Psychophysiological Research Ad Hoc Committee on Electrodermal Measures. Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*. 2012 Aug;49(8):1017-34. doi: 10.1111/j.1469-8986.2012.01384.x. Epub 2012 Jun 8. PMID: 22680988.