

## MRGP - MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA GALVÂNICA DA PELE

Geciane de Souza Pereira\*

Me. Júlio César Marques de Lima\*\*

### RESUMO

O Monitoramento da Resistência Galvânica (MRGP) ou *Galvanic Skin Response* (GSR) pode ser descrito como sendo um circuito que mede a impedância da pele através de um amplificador cujo ganho varia por uma relação entre uma resistência pré-definida e a resistência captada através de dois eletrodos colocados nos dedos das mãos de um paciente, um no indicador e outro no dedo médio, pontos estes onde se localizam as glândulas sudoríparas. Conforme este paciente é estimulado psicologicamente a quantidade de secreção (suor), liberada nesses pontos monitorados pelos eletrodos varia, alterando dessa forma a resistência medida.

Portanto, quanto mais estimulado o sistema nervoso central estiver, mais suor as glândulas sudoríparas vão produzir e menor será a resistência medida nos eletrodos, aumentando assim a amplitude do sinal de saída do circuito.

Este sistema é alimentado por uma bateria de celular de 3,7V, tendo a saída de tensão regulada em 3,3V, sendo gerado a partir desta, a alimentação simétrica de -3,3V. O circuito conta ainda com amplificadores operacionais do tipo OPA277, que atuam na amplificação e filtragem do sinal analógico, para redução de interferências.

Recebendo os sinais analógicos, o circuito possui um microcontrolador MSP430F2619 que realiza a conversão desses sinais para digital e os envia através de uma porta tipo USB, para o computador.

Os dados coletados são enviados a um software programado em Delphi que disponibiliza os dados através de gráficos.

Palavras-chave: Resistência Galvânica da Pele. Eletrodos. Glândulas Sudoríparas.

---

\* Acadêmico da Faculdade de Engenharia Elétrica da PUCRS. E-mail: geciane.pereira@gmail.com

\*\* Professor da Faculdade de Engenharia Elétrica da PUCRS. E-mail: jclima@puers.br

## 1 INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais a tecnologia voltada para a saúde e bem-estar do ser humano, vem obtendo consideráveis avanços. Equipamentos utilizados para diagnósticos tornaram-se cada vez mais precisos e indispensáveis aos profissionais de saúde.

Este trabalho apresenta um dispositivo que mede a resistência da pele, e que pode ser utilizado na região das mãos das pessoas. Conforme a liberação de secreção feita pelas glândulas sudoríparas, é possível medir o nível de estresse em que se encontra um determinado indivíduo.

O circuito utiliza um amplificador operacional para medir a resistência da pele aplicando uma tensão constante e medindo a variação de ganho do amplificador. O circuito é alimentado por uma bateria de 3,7V regulada para 3,3V para ficar compatível com a alimentação do microcontrolador. A tensão de -3,3V é gerada a partir de um conversor CC/CC, pois o amplificador operacional requer alimentação simétrica.

Os dados obtidos são enviados pela porta USB isolada galvanicamente por um circuito de acoplamento óptico ao software, cuja função é monitorar a variação de resistência galvânica da pele nos dedos indicador e médio da mão, os quais estão ligados à variação do nosso sistema nervoso central, tendo como embasamento pesquisas realizadas nas áreas médica, científica e psicológica.

Estas informações podem ser de grande valia no tratamento de paciente com alto nível de estresse e estresse pós – traumático.

Os sinais convertidos e enviados ao computador alimentam tabelas e gráficos que podem fornecer precisão ao diagnóstico.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho foi uma pesquisa experimental. O desenvolvimento desse estudo teve início com a pesquisa bibliográfica sobre o tema exposto, de modo a sistematizar as informações.

Foram realizadas as seguintes etapas:

- busca e seleção dos estudos;
- montagem da experiência;
- avaliação crítica dos resultados;
- conclusão a partir dos resultados encontrados.

### 3 ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DO CIRCUITO

A resistência da pele é frequentemente medida utilizando eletrodo bipolar [4] colocado na falange medial. Jaakko Malmivuo e Robert Plonsey sugerem trabalhar com a tensão constante de 0,5V na superfície da pele, já que a resistência da pele é linear até 0,7V [1]. A Figura 1 – Falanges médias, apresenta a estrutura da mão humana onde estão localizadas as falanges mediais.

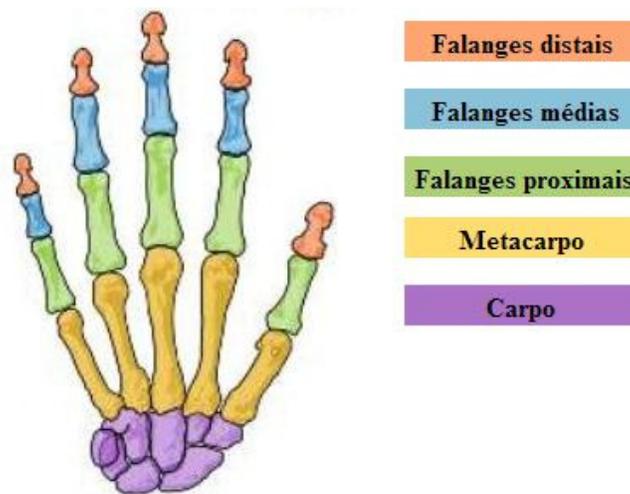


Figura 1 – Falanges médias

Podemos utilizar a resposta galvânica da pele para descrever a atividade elétrica que demonstra as alterações psicológicas [2]. A variação da resposta galvânica se origina nas alterações das glândulas sudoríparas as quais estão sob controle do sistema nervoso simpático [1].

Alguns eventos como uma forte emoção, um acontecimento surpreendente, dor, exercício físico, respiração profunda, entre outros, fazem com que o sistema nervoso responda ativando mecanismos físicos e químicos através do corpo, incluindo as glândulas sudoríparas. Apesar desta resposta nem sempre ser visível (suor), ocorre uma alteração da resistência da pele em consequência das alterações psicológicas como o aumento da excitação e ansiedade [3].

Foram projetados basicamente quatro circuitos utilizando o software Orcad Capture versão 9.10.157.97.

- Circuito de alimentação simétrica;
- Amplificador e filtro;
- Circuito de conversão A/D microprocessado;
- Circuito de isolamento óptica e comunicação serial por meio da interface USB.

### 3.1 CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO SIMÉTRICA

O circuito de alimentação pode ser visto na Figura 2 - Circuito de alimentação. É composto por uma bateria BLD-3 de 3,7V, utilizada em celulares, pelo regulador LP2985 [12] de 3,3V e pelo conversor CC/CC implementado com o circuito regulador MC34063 [11] responsável por gerar uma fonte simétrica a partir da alimentação de 3,3V. Ambos reguladores utilizados neste trabalho são fabricados pela Texas Instruments.

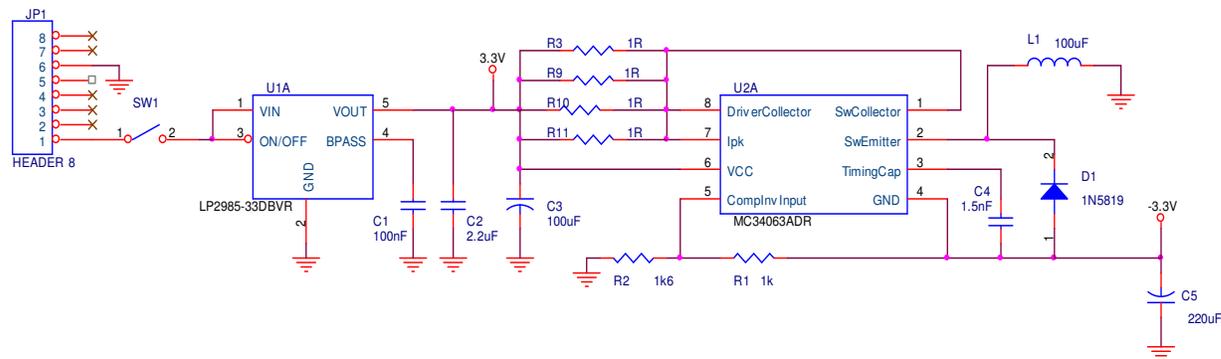


Figura 2 - Circuito de alimentação

O layout da placa com o circuito de alimentação pode ser visto na Figura 3 – Placa do circuito de alimentação simétrica.

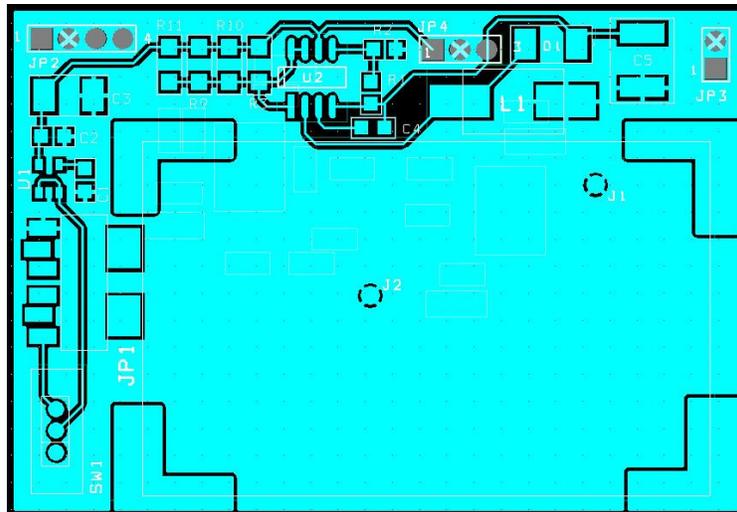


Figura 3 – Placa do circuito de alimentação simétrica

O resultado final da placa já montada pode ser visto na Figura 4 – Placa de alimentação montada (vista superior).

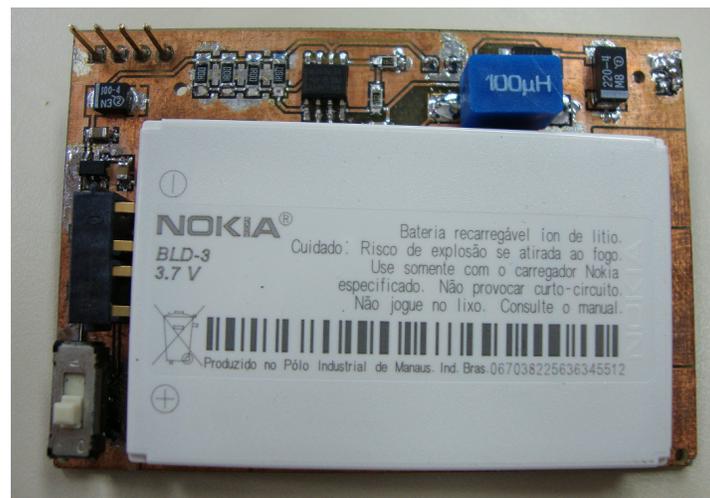


Figura 4 – Placa de alimentação montada (vista superior)

### 3.2 CIRCUITO DO AMPLIFICADOR

Pode-se medir a resistência da pele, aplicando-se uma tensão de 0,5V e medindo a resposta através de um circuito principal que consiste de uma fonte de tensão de 0,5V e de um amplificador, cujo esquemático pode ser visto na Figura 5 – Circuito do Amplificador.

Os eletrodos que conectam em JP2 servem para medir a resistência da pele, aplicando uma tensão de 0,5V constante e medindo a resposta utilizando amplificadores operacionais de alta precisão do tipo OPA277 [10] da Texas Instruments, dando ganho e fazendo a filtragem do sinal.

Esse circuito, na sua essência, tem uma configuração de um amplificador não inversor [5] cuja resistência direta é dada pela impedância da pele, tendo sua saída excursionada de acordo com a variação da resistência captada pelos eletrodos.

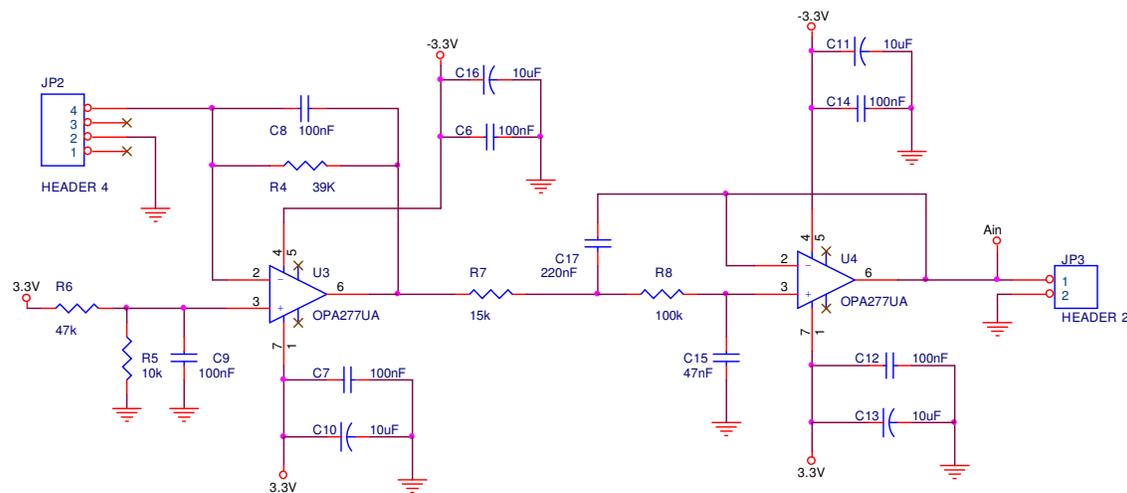


Figura 5 – Circuito do Amplificador

Para garantir a tensão próxima de 0,5V no pino três do operacional U3, ou seja,  $V_{R5}=0,5V$ , considerando a alimentação de 3,3V, foi realizado o seguinte cálculo.

$$V_{R5} = V_{CC} \cdot \frac{R5}{R5 + R6} \therefore 0,5V = 3,3V \cdot \frac{10k\Omega}{10k\Omega + R6} \therefore R6 = 56k\Omega \quad \text{Equação [1]}$$

O valor comercial disponível utilizado para a montagem de R6 foi de 47k $\Omega$ , que conforme a equação abaixo garante que a tensão em R5 seja 0,57V.

$$V_{R5} = 3,3V \cdot \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 47k\Omega} \therefore V_{R5} = 0,57V \quad \text{Equação [2]}$$

O primeiro estágio possui a configuração amplificador não inversor e para cálculo da tensão de saída  $V_{OUT}$ , foi realizado o cálculo abaixo.

$$V_{OUT} = V_{in} \cdot \left( 1 + \frac{R4}{Z_{eletrodo}} \right) \quad \text{Equação [3]}$$

Sendo que o ganho do operacional é dado por

$$G = \left( 1 + \frac{R4}{Z_{eletrodo}} \right) \quad \text{Equação [4]}$$

A variação da resistência galvânica da pela varia em torno de  $40k\Omega$  a  $500k\Omega$  [1]. Sendo assim os valores máximo e mínimo para a tensão de saída são os seguintes:

$$V_{OUT_{max}} = 0,57V \cdot \left( 1 + \frac{39k\Omega}{40k\Omega} \right) = 1,125V \quad \text{Equação [5]}$$

$$V_{OUT_{min}} = 0,57V \cdot \left( 1 + \frac{39k\Omega}{500k\Omega} \right) = 0,614V \quad \text{Equação [6]}$$

Um capacitor de  $100nF$  foi colocado em paralelo com o resistor de  $39k\Omega$  a fim de estabilizar e filtrar o sinal, eliminando os ruídos de  $60Hz$  gerados por circuitos externos [6].

$$fc = \left( \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_4 \cdot C_8} \right) = \left( \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 39k\Omega \cdot 100nF} \right) \therefore fc = 40,81Hz \quad \text{Equação [7]}$$

O operacional U4 foi configurado como um filtro passa-baixa com frequência de corte de  $40Hz$ , responsável também por eliminar interferências no sinal de saída amplificado [6].

O layout da placa do circuito amplificador pode ser visto na Figura 6 – Placa do circuito do amplificador.

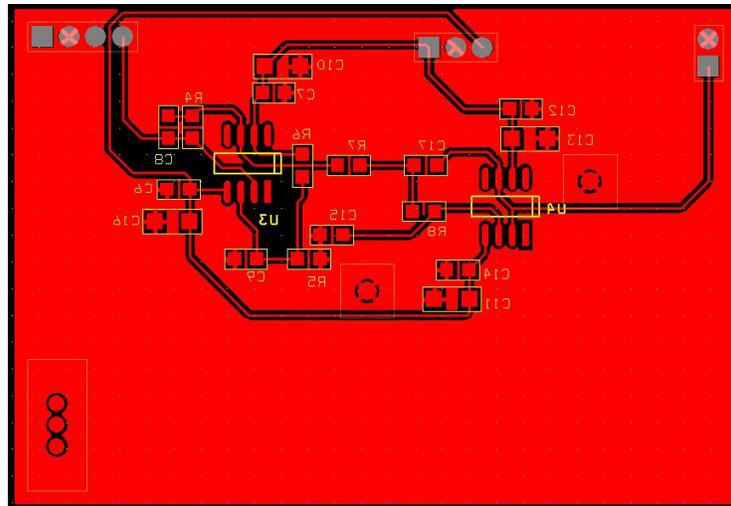


Figura 6 – Placa do circuito do amplificador

A placa montada do circuito amplificador pode ser visto na Figura 6 – Placa do circuito do amplificador (vista inferior).

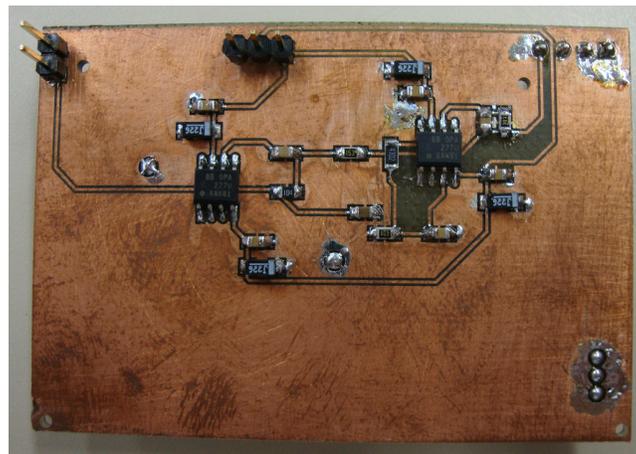


Figura 7 – Placa do amplificador montada (vista inferior)

### 3.3 CIRCUITO DE CONVERSÃO A/D MICROPROCESSADO

O microcontrolador MSP430F2619 tem a função de capturar os sinais analógicos e enviá-los digitalmente para exibição no computador via USB. A Figura 8 – Microprocessador MSP430F2619, mostra o esquema elétrico desse circuito, onde estão a entrada analógica, a entrada e saída da porta serial, um led de sinalização e a entrada de programação do microcontrolador.

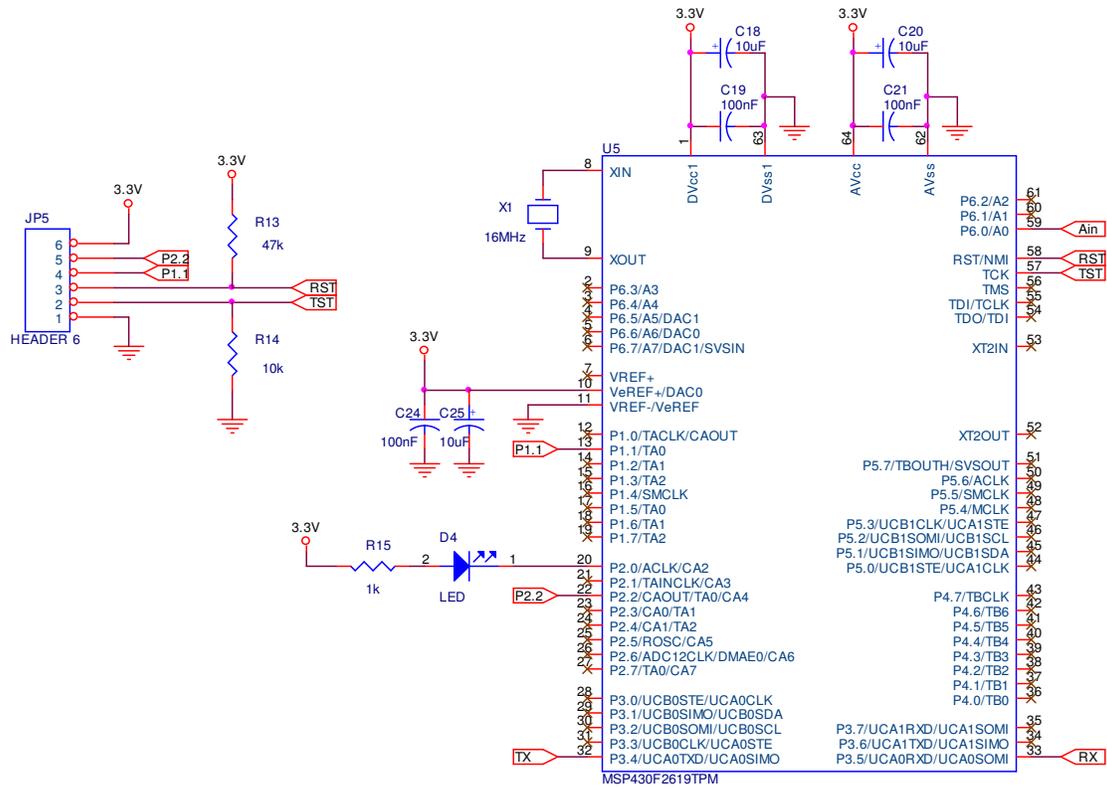


Figura 8 – Microprocessador MSP430F2619

A Figura 9 – Placa do Conversor A/D e Serial, mostra o layout da placa do conversor A/D microprocessado e da serial.

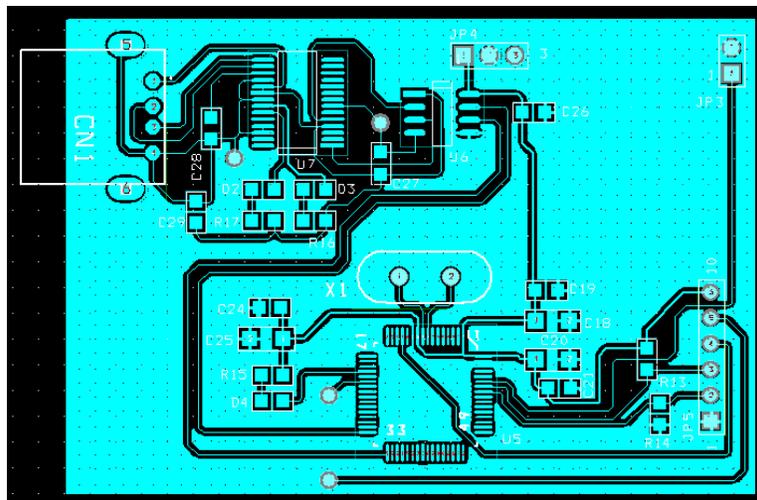


Figura 9 – Placa do Conversor A/D e Serial

### 3.4 CIRCUITO DE ISOLAÇÃO ÓTICA E COMUNICAÇÃO SERIAL

O circuito de USB isolada foi projetado com a finalidade de realizar o isolamento elétrico e assim evitar que o usuário receba uma descarga elétrica durante o manuseio da placa [6].

O isolador óptico utilizado ISO 7221 têm uma barreira lógica de entrada e saída separados por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), o que proporciona isolamento galvânico de até 4.000 volts.

Estes dispositivos isolam e previnem contra ruído de correntes em barramento de dados dos sinais de terra separados. O circuito do FT232RL, mostrado na Figura 10 - Circuito de isolamento ótica e comunicação serial, tem a função de fazer a conversão de serial para USB.

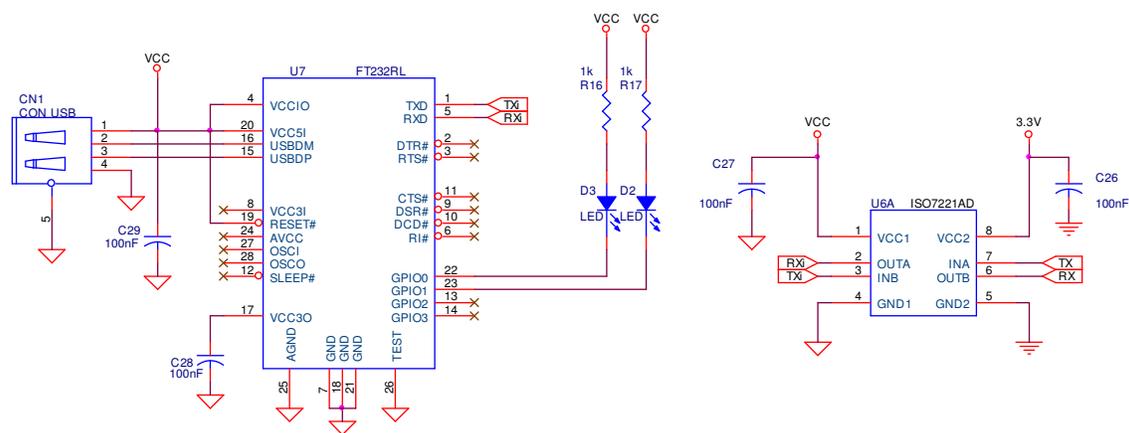


Figura 10 - Circuito de isolamento ótica e comunicação serial

A Figura 9 – Placa do Conversor A/D e Serial, mostra a placa depois de montada, onde aparecem o microcontrolador, o isolador óptico e o conversor USB-serial.

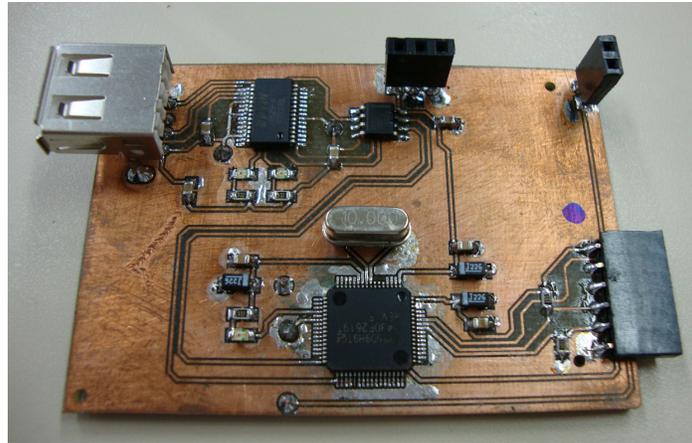


Figura 11 – Placa montada do Conversor A/D e Serial

#### 4 O MICROCONTROLADOR MSP430F2619

Os microcontroladores MSP430F da Texas Instruments são muito utilizados em projetos devido a sua rapidez, baixo consumo e capacidade de processamento.

Neste trabalho o objetivo principal em utilizar o microcontrolador MSP430F2619 foi para realizar a conversão analógica digital do sinal gerado pelo amplificador e enviar os dados pela porta serial para o software de captura dos dados.

O MSP430F2619 possui as seguintes características [8]:

- Arquitetura RISC de 16bits;
- Frequência de trabalho de até 16MHz;
- Ciclo de máquina de 62.5ns;
- Conversor AD de 8 canais e 12 bits de grande precisão e rapidez;
- Conversor DA de 2 canais e 12 bits;
- Memória RAM de 4kB;
- Memória FLASH de 120kB;
- Tamanho reduzido em três tipos de encapsulamento: LQFP de 64 e 80 pinos e BGA de 113 pinos;
- Alimentação facilmente fornecida de 1.8V a 3.3V;
- Protocolos internos para comunicação serial UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface) e I2C (Inter-Integrated Circuit);
- Ferramenta de desenvolvimento MSPGCC fornecida pela Texas.

A Figura 12 – Diagrama de blocos funcional do MSP430F2619, mostra a arquitetura interna deste microcontrolador [8].

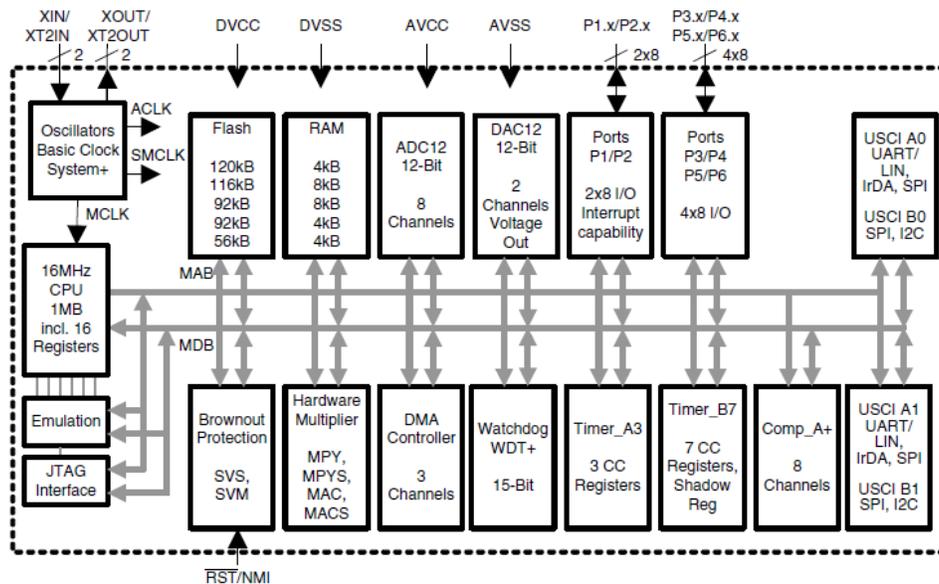


Figura 12 – Diagrama de blocos funcional do MSP430F2619

#### 4.1 CONFIGURAÇÃO DO MSP430F2619

O sistema básico de clock do microcontrolador trabalha com frequências próximas de 16MHz e possui três fontes de clock ACLK, MCLK e SMCLK. Neste trabalho foi utilizado 10MHz para os três clocks existentes.

A comunicação da porta serial foi estabelecida para uma taxa de 19200bps, ou seja, envia ou recebe um bit a cada 52,08µs.

Para realizar a conversão A/D neste trabalho foi utilizado o canal A<sub>0</sub> para conversão, com um clock de 10MHz e referência interna do microcontrolador de 2.5V.

A cada 10ms é gerada uma interrupção através do timer onde o valor lido no conversor A/D é convertido e enviado para o software GSR Plotter através da porta serial.

A Figura 13 – Fluxograma mostra o fluxograma de configuração, leitura e envio de dados.

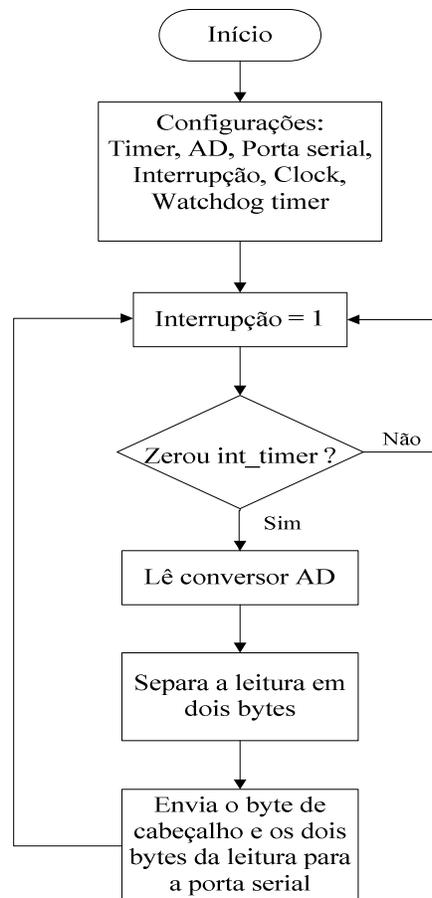


Figura 13 – Fluxograma do processo

#### 4.2 A PROGRAMAÇÃO DO MSP430F2619

A programação do microcontrolador foi feita em linguagem C utilizando o compilador MSPGCC. Foram desenvolvidas as funções de leitura do A/D, programação do timer, interrupções e acesso a porta serial. Através de uma ferramenta de programação o código é transferido ao microcontrolador.

O funcionamento do programa é bem simples. Uma vez feita a configuração dos periféricos do microcontrolador, o mesmo fica em loop eterno lendo o conversor A/D e enviando o valor lido para a porta serial. O tempo de cada leitura é controlado pelo timer.

## 5 O SOFTWARE GSR PLOTTER

O software para aquisição dos dados foi desenvolvido em Delphi com auxílio do professor orientador. É uma interface simples e serve para visualizar os dados adquiridos em uma tela gráfica semelhante a de um osciloscópio.

Na Figura 14 – GSR Plotter, podemos visualizar a tela do programa de aquisição de dados fisiológicos.

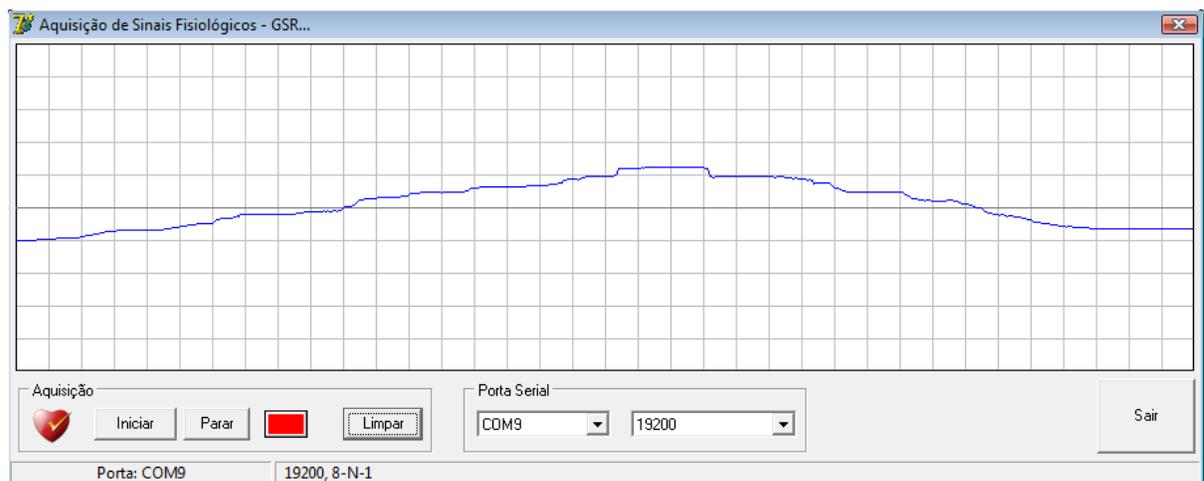


Figura 14 – GSR Plotter

O programa tem 4 botões:

- Iniciar – dispara o processo de aquisição;
- Parar – encerra o processo de aquisição;
- Limpar – limpa a tela do programa;
- Sair – encerra o aplicativo.

É possível selecionar a velocidade de transmissão e a porta de comunicação a ser utilizada através de dois combo boxes.

A Figura 15 mostra o sistema completo em funcionamento, adquirindo os dados de resistência da pele e enviando ao software de coleta de dados.

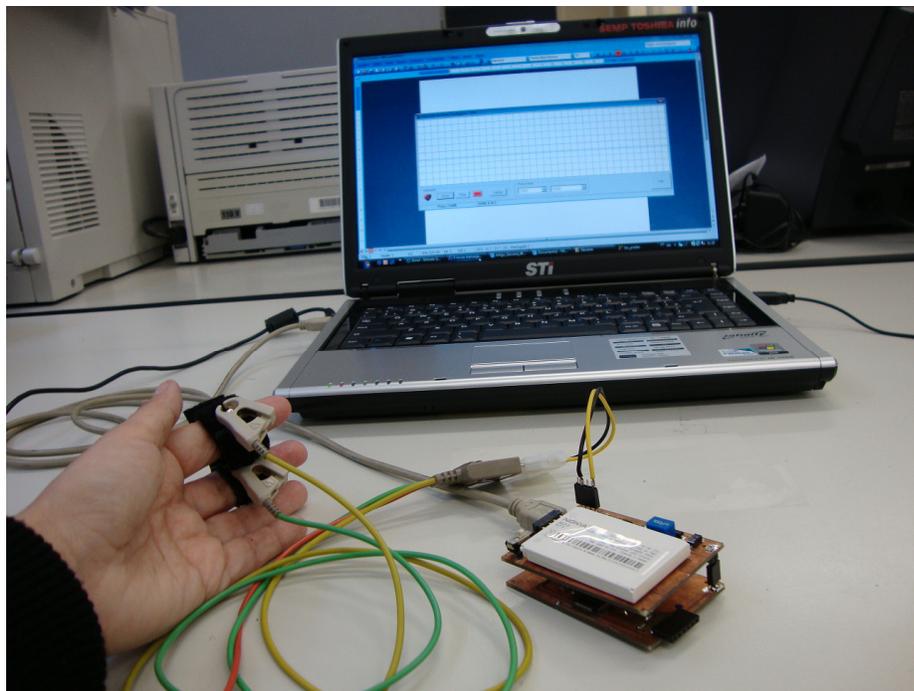


Figura 15 – Sistema completo

## 6 CONCLUSÕES

O projeto realizado atingiu plenamente seu objetivo que era o de implementar um sistema para medição da resistência da pele.

Este projeto tem inúmeras aplicações, sendo a mais importante a de construir uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico médico para tratamento de pacientes com estresse pós-traumático.

O projeto foi implementado com componentes de altíssima precisão e com baixo custo. O circuito conta com dispositivos de baixo consumo, garantindo alta durabilidade da bateria.

O uso de baterias de celular garante fácil reposição de peças danificadas a um baixo custo, devido ao elevado volume de produção dessas baterias.

O circuito foi implementado em pequenas dimensões facilitando o seu transporte e manuseio, como pode ser visto nas Figuras 16 e 17.

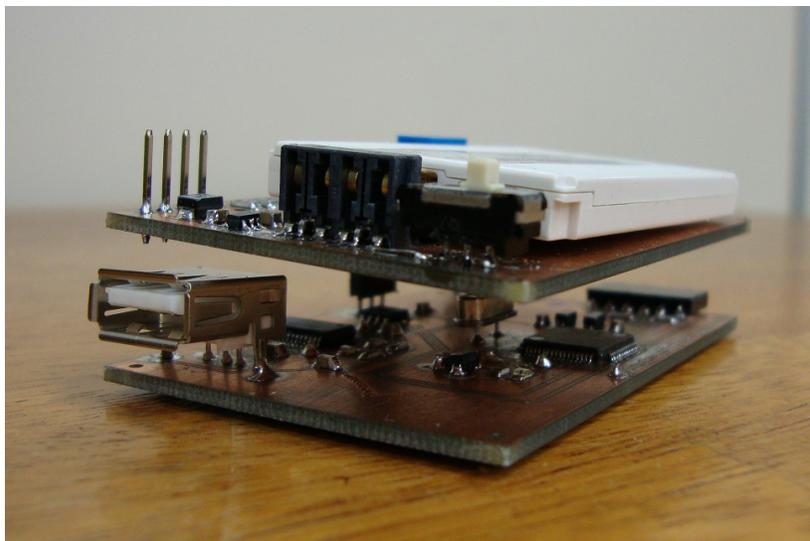


Figura 16 – Montagem completa

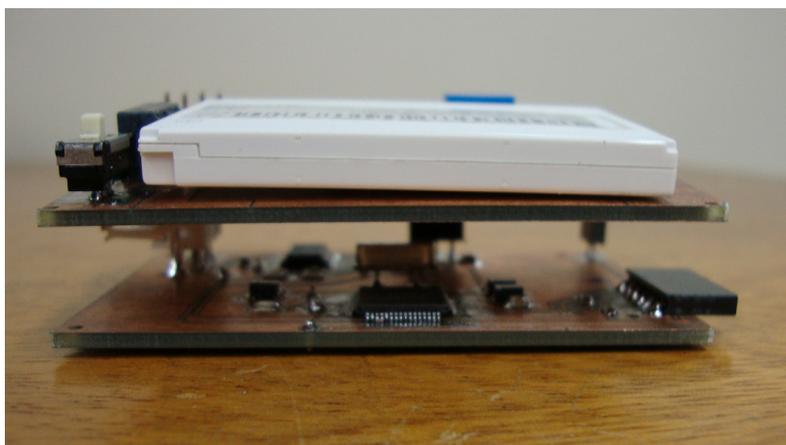


Figura 17 – Montagem duas placas

## 7 REFERÊNCIAS

1 MALMIVUO, Jaakko; PLONSEY, Robert. **Bioelectromagnetism – Principles And Applications Of Bioelectric And Biomagnetic Fields**. New York: Oxford University Press, 1995.

2 FULLER, G.D. **BIOFEEDBACK – Methods and Procedures in Clinical Practice**. San Francisco: Biofeedback Press, 1977.

3 FENZ, Walter D.; EPSTEINS, Seymour. **Gradients Of Physiological Arousal In Parachutist As A Infusion Of An Approaching Jump**. Psychosomatic Medicine. V.29, P.33-52, 1967.

4 GEDDES L.A.; BAKER L.E.. **Principles Of Applied Biomedical Instrumentation**. 3.ed. New York, 1980.

5 PERTENCE JÚNIOR, Antônio. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

6 FRAGA, Carlos Eduardo Nadal. **Monitoramento da resistência galvânica da pele**. Porto Alegre: Revista de Graduação: publicações de TCC, 2009.

7 **OSSOS DO MEMBRO SUPERIOR**. Disponível em <http://www.mundoeducacao.com.br/biologia/ossos-membro-superior.htm>. Acessado em 07/12/2009.

8 **Datasheet MSP430F2619TPM**. Disponível em <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2619.pdf>. Acessado em 08/11/2009.

9 **Datasheet FT232RL**. Disponível em [http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS\\_FT232R\\_V204.pdf](http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232R_V204.pdf). Acessado em 08/12/2009.

10 **Datasheet OPA277UA**. Disponível em <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/opa277.pdf>. Acessado em 08/12/2009.

11 **Datasheet MC34063ADR**. Disponível em

<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/mc34063a.pdf>. Acessado em 08/12/2009.

12 **Datasheet LP2985-33DBVR**. Disponível em [http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-](http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-33.pdf)

[33.pdf](http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-33.pdf). Acessado em 08/12/2009.

13 **Datasheet ISO7221AD**. Disponível em <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/iso7221a.pdf>.

Acessado em 08/12/2009.