

Healthy Heartbeats – Dispositivo de Eletrocardiograma Smart

PC4

Caio Matheus Zardo Lopes – 14/0176721
Universidade de Brasília – Faculdade do Gama
Estudante de Engenharia Eletrônica
Brasília, Brasil
caioozardoo@gmail.com

Marcos Felipe dos Santos Vieira Alves – 12/0127938
Universidade de Brasília – Faculdade do Gama
Estudante de Engenharia Eletrônica
Brasília, Brasil
mfelippe.bsb@hotmail.com

Resumo – Este trabalho descreve o desenvolvimento, com o uso dos conceitos de Sistemas Embarcados e da Raspberry Pi, para a implementação de um Monitor Cardíaco (ECG) Real-Time portátil, o qual permitirá a implementação futura de algoritmos complexos para classificação e identificação de cardiopatias. Detecção de arritmias e atividade cardíaca, comparada com o padrão, do paciente/usuário, estiver fora da normalidade, indicando então, alteração do mesmo.

Palavras chave – Raspberry Pi 3; ECG; Real-Time; Monitor Cardíaco; Coração e Sistema Cardiovascular; Diagnóstico;

I. JUSTIFICATIVA

Segundo dados de 2015 da Organização Pan-Americana da Saúde e da Organização Mundial da Saúde (OPAS/OMS), a cada ano, cerca de 140 mil pessoas morrem de doenças do coração no Brasil. Novamente, segundo a OPAS, a incidência de doenças cardiovasculares é uma das principais causas de morte em todo o mundo. Em 2011 quase 17 milhões de pessoas morreram em decorrência deste tipo de doença. Do início do ano de 2019 até o mês de abril, segundo a SBC (Sociedade Brasileira de Cardiologia), mais de 95.252 pessoas faleceram por doenças cardiovasculares no Brasil.

Cerca de 90% dessas mortes, inclusive as decorrentes de mal súbito, poderiam ter sido evitadas ou postergadas com o diagnóstico básico de um simples Eletrocardiograma (ECG), seguido de tratamento e acompanhamento médico adequado, fora isso, alguns sintomas podem ajudar a identificar um problema cardíaco.

O ECG é uma ferramenta de diagnóstico que relata atividade elétrica do coração, captada por eletrodos na pele. Será utilizado um sinal que será captado para se medir a frequência e a regularidade dos batimentos cardíacos. Ele é o principal exame para diagnóstico de doenças cardíacas e isto se deve ao fato de o exame ser simplório e não invasivo, ou seja, o sinal é medido na superfície do corpo humano sem preparações maiores.

Estimular as pessoas a fazerem o ECG, poderia auxiliar na prevenção de diversos males cardíacos. Entretanto, facilitar o acesso a exames de ECG com aparelhos de uso pessoal capazes de produzir as ondas cardíacas não seria suficiente pelo fato da maioria dos usuários serem leigos no assunto. Por outro lado, fazer com que o equipamento possa sugerir ao usuário que ele deve procurar um médico, com talvez alguma possível patologia, pode ter um efeito benéfico.

Um ponto importante deste protótipo a ser desenvolvido é a situação de localidades que tenham dificuldade de acesso a aparelhos de monitorização de sinais cardíacos, onde a disponibilidade de aparelhos portáteis poderia contribuir grandemente.

Portanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver o protótipo capaz de captar, amplificar e tratar o sinal de um aparelho portátil de ECG, em que o usuário o pluga em um monitor, via HDMI, para o monitoramento, entregando-o a um software capaz de apresentá-lo em uma tela gráfica para análise. Será dedicado mais aos que são portadores de alguma cardiopatia ou que possuem um quadro favorável ao seu surgimento. Com a finalidade de colaborar com a eficiência e rapidez no diagnóstico o sistema irá contar com a identificação de anomalias no ECG e através disso emitirá um alerta para o operador das possíveis duas cardiopatias que iremos implementar.

Em termos gerais, apresentaremos o que um ECG está representando e como podemos descrevê-lo. O ECG é separado em dois intervalos básicos: o intervalo PR e o intervalo QT, descritos abaixo:

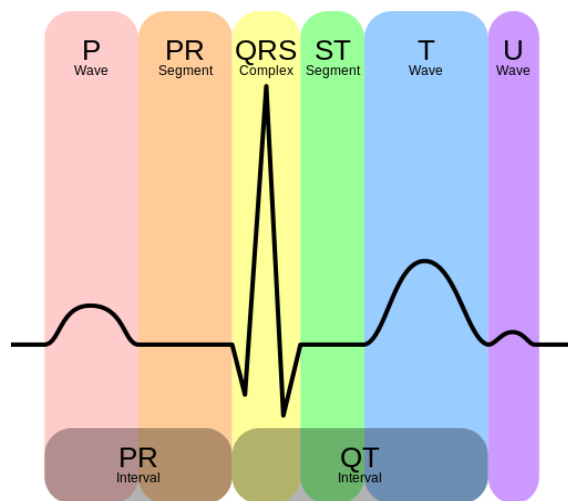
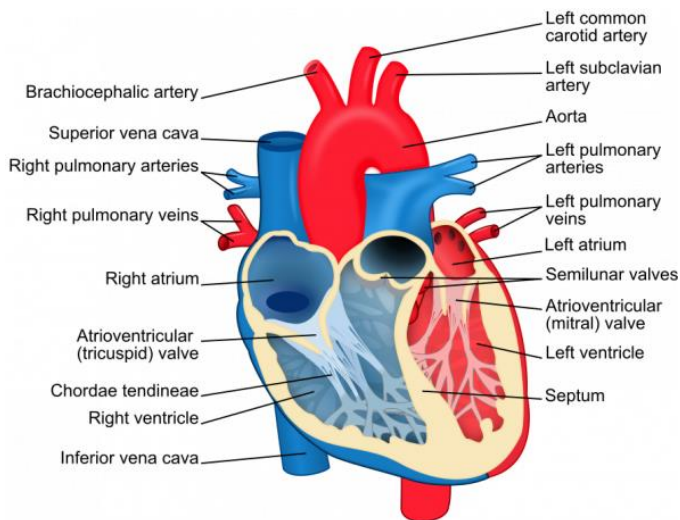


Figura 1 – Representação dos intervalos do ECG.

Figura 2 – Diagrama do coração.

Intervalo PR: é a onda inicial gerada por um impulso elétrico que vai do átrio direito para o esquerdo. O átrio direito é a



primeira câmara a ver o impulso elétrico. Esse impulso elétrico faz com que as câmaras “despolarizem”. Isso o força a contrair e drenar o sangue desoxigenado da veia cava Superior e Inferior para o ventrículo direito. À medida que o impulso elétrico percorre a parte superior do coração, ele dispara o átrio esquerdo para contrair. O átrio esquerdo é responsável por receber sangue recém-oxigenado dos pulmões para o ventrículo esquerdo através das veias pulmonares direita e esquerda. As veias pulmonares são vermelhas no diagrama porque estão carregando sangue oxigenado.

Intervalo QT: onde começa a ficar interessante. O QRS é um processo complexo que gera a assinatura “beep” em monitores cardíacos. Durante o QRS, ambos os ventrículos começam a bombear. O ventrículo direito começa a bombear sangue desoxigenado para os pulmões através das artérias pulmonares direita e esquerda. As artérias pulmonares são azuis no diagrama porque estão carregando sangue desoxigenado. Elas ainda são chamadas de artérias porque as artérias levam sangue para o coração. O ventrículo esquerdo também está começando a bombear sangue recém-oxigenado pela aorta e pelo resto do corpo. Após a contração inicial vem o segmento ST. O segmento ST é bastante quieto eletricamente, pois é o momento em que os ventrículos aguardam para serem “re-polarizados”. Finalmente a onda T torna-se presente para ativamente “re-polarizar” ou relaxar os ventrículos. Essa fase de relaxamento redefine os ventrículos a serem preenchidos novamente pelos átrios.

II. OBJETIVOS

Elaboração de um projeto que consiste em um dispositivo de eletrocardiograma smart, utilizando uma Raspberry Pi 3, que possa ser acoplado em um monitor externo, verificando continuamente os batimentos cardíacos de um paciente/usuário, indicando alterações no ritmo cardíaco, detecta arritmias cardíacas e indica tratamentos preventivos.

III. REQUISITOS

O sistema deve:

- Monitorar a frequência cardíaca por meio dos dados coletados e indicar alterações na ritmia;
- Desenvolver um dispositivo com um ótimo custo-benefício que atenda as necessidades do paciente /usuário;
- Apresentar dados captados do eletrocardiograma no mostrador da maneira mais simultânea possível;
- Indicar para o usuário a maneira correta de realizar o exame de maneira que não comprometa os dados coletados.

IV. TABELA DE MATERIAIS

Quantidade	Equipamento	Marca
01	Raspberry Pi 3 – Modelo B	Raspberry Pi Foundation
01	AD8232 – Módulo de Monitoramento de Frequência Cardíaca	Spark Fun
01	Arduino Uno R3	-
01	Cabo Triplo	-
03	Eletrodos	-
01	Monitor	-
01	Protoboard	Hikari
-	Jumpers	-
01	Fonte 5 Volts	

Tabela 1 – Materiais usados no projeto.

V. BENEFÍCIOS

O ECG é a principal ferramenta para diagnósticos cardíacos. O uso do Healthy Heartbeats beneficia pessoas que necessitam de um monitor cardíaco diariamente, como pacientes que apresentam quadros de patologias cardíacas graves e/ou sofrimento cardíaco.

O diferencial desse dispositivo é o custo-benefício e a facilidade de transformar um monitor comum em monitor de amostragem cardíaca capaz de detectar atividades elétricas do coração, identificar precocemente determinadas patologias cardíacas que podem ser evidenciadas por meio da análise de dados da frequência captada pelo dispositivo e indicar tratamentos preventivos.

Além disso, vale ressaltar as situações de localidades que apresentam dificuldade de acesso a aparelhos de monitorização de sinais cardíacos em que o fornecimento de aparelhos de eletrocardiograma portátil poderia contribuir positivamente nos diagnósticos cardíacos.

VI. HARDWARE E SOFTWARE

A maior parte do projeto é focado em processamento de sinais e dessa forma, não há uma ênfase em hardware para o projeto, pois a análise é feita através do software.

Entretanto não podemos deixar de falar do que compõe nosso hardware. Este engloba quatro pontos principais: a placa Arduino Uno R3, a outra placa Raspberry Pi 3, o monitor de frequência cardíaca AD8232 e um monitor, não deixando de mencionar também os periféricos como cabos e eletrodos que compõe a parte principal deste projeto. Ou seja, basicamente, envolve um microcontrolador, um mini PC, um amplificador e um monitor que mostrará os resultados obtidos, seguidamente de um responsável pela comunicação.

A placa Raspberry Pi 3, por ser um dos objetos de estudo da disciplina, será utilizada como um minicomputador no projeto, ou seja, 90% da programação lógica para resolução do problema estará nessa placa. Ela funciona como o “cérebro” do sistema. Esta, trás um processador atualizado da Broadcom, com quatro núcleos de 1,2 GHz, suporte a 64 bits e arquitetura ARM. Logo temos um acesso embarcado apropriado para o projeto o qual deseja-se montar.



Figura 3 – Raspberry Pi 3 Modelo B.

Mesmo observando que a Raspberry é uma placa muito potente e ideal para o projeto que estamos implementando, sabemos que ela não possui um conversor de sinal analógico para digital, logo, a placa mais acessível, tendo em vista o que já possuíamos em decorrência das exigências do curso de Engenharia Eletrônica na UnB-FGA, foi o Arduino Uno R3. Basicamente, ele será usado no projeto como um conversor de sinal analógico para digital, pois, após esta conversão o Raspberry Pi 3 já é capaz de receber o código, entender e fazer a análise e processamento de sinal. Contudo, logicamente, haverá uma conexão entre o Arduino e o Raspberry via cabo, pois caso utilizássemos os pinos GPIO do Arduino, seria necessário um divisor de tensão de 5V (Arduino) para 3.3V (Raspberry).



Figura 4 – Arduino Uno R3.

As saídas do analogRead possuem 10 bits, como podemos observar os bits no Serial.Print. Logo, iremos enviar os dados via comunicação serial entre a Raspberry e o microcontrolador, ou seja, será enviado um bit por vez. Ele vem configurado para Então, como o Serial.Print está enviando os bits para o monitor, no caso específico, quando abrimos pelo IDE do Arduino, a placa já está enviando serialmente, logo, ao invés de utilizar o Serial.Print, enviaremos estes dados para a Raspberry via comunicação UART.

O monitor de frequência cardíaca AD8232 apresenta nove conexões no CI, comumente chamadas de “pinos”, pois vêm dos pinos do CI, mas, no entanto, são orifícios nos quais se pode soldar fios ou pinos. Na conexão do Módulo AD8232 com o Arduino, que funcionará como um conversor analógico-digital, conectaremos cinco dos nove pinos da placa ao Arduino. Estes pinos estão rotulados na tabela abaixo:

Identificação	Função	Conexão Arduino
GND	Terra	GND
3.3V	Fonte de Alimentação 3.3V	3.3V
OUTPUT	Sinal de Saída	A0
LO-	LEDS desligam -	11
LO+	LEDS desligam +	10
SDN	Desligar	-

Tabela 2 – Conexões a serem realizadas.



Figura 6 – Módulo AD8232.

O uso deste módulo no projeto facilita grandemente a montagem de toda a aparelhagem, pois a montagem do circuito Eletrocardiograma é grande e poderia, eventualmente, apresentar algum defeito.

O monitor de frequência cardíaca AD8232, é uma placa econômica usada para medir a atividade elétrica do coração. Esta atividade elétrica pode ser mapeada por um eletrocardiograma ou ECG com uma saída de leitura analógica. Os ECGs podem ser extremamente ruidosos, logo, o monitor de frequência cardíaca atua como um amplificador operacional para ajudar a obter facilmente um sinal claro dos intervalos PR e QT.

Tem-se um cabo que acompanha o módulo que é um cabo de sensor simples de 3 condutores com cabos de eletrodos. Esses cabos são de 24cm de comprimento e apresentam um conector de áudio de 3,5mm em uma extremidade com receptáculos de tipo snap para blocos de sensor biomédico. Cada cabo vem em um conjunto vermelho, amarelo e verde.

Também existe o conjunto de eletrodos necessários, que são descartáveis e que podem ser usados para medirem os níveis EEG, ECG e EMG. São perfeitos para o monitoramento de curto prazo de efeitos de Neurofeedback e Biofeedback.

O hardware é concentrado em criar uma interface para o usuário e pegar os sinais produzidos pelo corpo humano, para que quem esteja fazendo uso do ECG para obter informações acerca da saúde de seus batimentos cardíacos, possa ter isso representado de uma forma humanamente legível em um display acoplado ao dispositivo.

A primeira fase de montagem do projeto é a comunicação entre o módulo AD8232 e o Arduino, para que o sinal dos

batimentos cardíacos seja receptado pelo módulo e convertidos de analógico-digital pelo microcontrolador.

Na montagem do nosso circuito o pino SDN não será utilizado, logo, será conectado ao Ground ou Terra, pois se for em um pino digital, o chip será desligado. Isto ocorre porque estamos realizando uma aplicação de baixa potência.

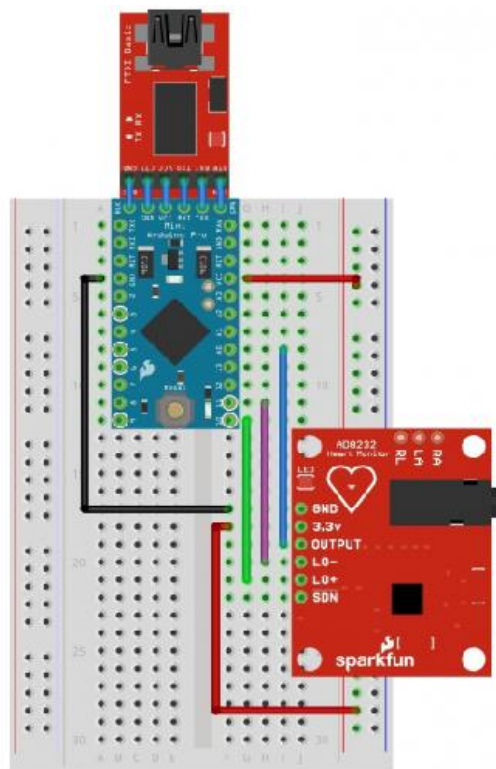


Figura 7 – Diagrama de ligação.

Utilizando um Arduino Nano V3, faríamos exatamente as ligações expostas acima, já, se utilizarmos um UNO, faríamos a demonstrada logo abaixo. Podemos perceber que as conexões se mantêm.

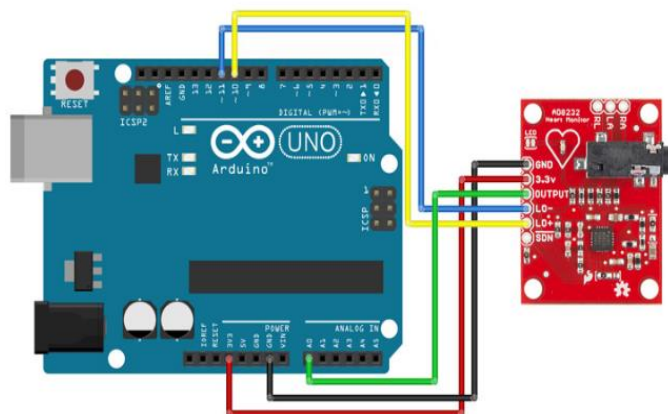


Figura 8 – Diagrama de ligação 2.

Com as ligações dos eletrodos no corpo humano, a parte de hardware está praticamente pronta. O software usado para fazer

a comunicação dos hardwares e o microcontrolador foi o IDE do Arduino e respectivamente o PROCESSING para mostrar os resultados (fig. 9). Uma interface de fácil utilização e com várias bibliotecas para fazer o código. Os códigos utilizados para o teste do Módulo AD8232 com o Arduino estão disponíveis em [7].



```

// Heart_Rate_Display.ino
// Demo Program for AD8232 Heart Rate sensor.

void setup() {
  // inicializando a comunicação serial:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(10, INPUT); // Configuração para os LEDS de de detecção LO+
  pinMode(11, INPUT); // Configuração para os LEDS de de detecção LO-
}

void loop() {

  if((digitalRead(10) == 1) || (digitalRead(11) == 1)){
    Serial.println("!");
  }
  else{
    // envia o valor da entrada analógica 0:
    Serial.println(analogRead(A0));
  }
  // Aguarde um pouco para evitar que os dados seriais saturem
  delay(1);
}

```

Salvo.

Figura 9 – Diagrama de ligação 2.

Com o código escrito, iremos fazer o upload para o microcontrolador. Antes de fazermos a conexão entre o Arduino e a Raspberry, precisamos testar o funcionamento do módulo para termos certeza de que o mesmo está tendo um funcionamento com plotagens cardíacas corretas.

Para verificar se o monitor de frequência cardíaca está funcionando, foi aberto o monitor serial em 9600 bauds. Valores serão mostrados na tela. Abaixo está um exemplo de saída com os sensores conectados nos lugares corretos. Sua saída serial deve aumentar entre (+300) e (-200) em torno no valor central de aproximadamente (~500).

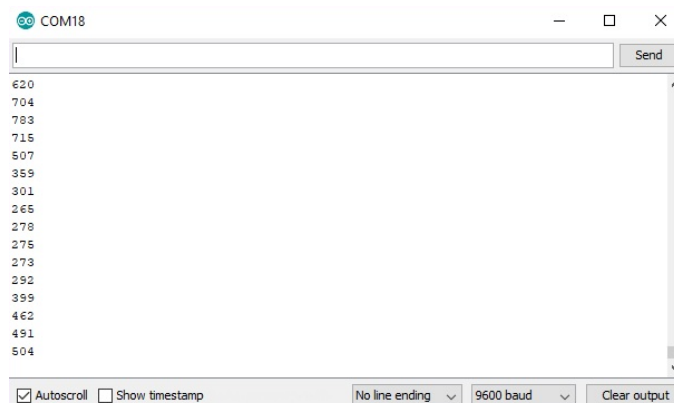


Figura 10 – Visualização do monitor serial em 9600 bauds.

É muito vago olhar para os dados seriais se estamos somente vendo os valores. Outra forma de ver é utilizando a Plotadora Serial do Arduino, onde devemos ver uma forma de onda similar à imagem abaixo quando os sensores estiverem posicionados corretamente e não estiverem em movimento. O código desta parte está disponível em [8].



Figura 11 – Visualização do gráfico utilizando a Plotadora Serial do Arduino.

Utilizamos outro código para visualizar as formas de onda no PROCESSING do Arduino, o qual, entre outras coisas, permite a visualização de dados. A versão utilizada foi a v2.2.1.

A Figura 15 Mostra o funcionamento proposto para o sistema de processamento digital de dados dentro da Raspberry Pi3, ao receber os dados da saída OUTPUT do microcontrolador, todos esses procedimentos são necessários para detectar as patologias, de modo geral os exames de ECG utilizam-se uma amostra de 10 segundos para a sua análise.

Pelo cálculo da frequência Cardíaca é possível detectar patologias como a Fibrilação Arterial que é um tipo de arritmia cardíaca, por meio da análise do ritmo cardíaco é possível detectar anomalias no carregamento cardíaco. Todas as análises de intervalos e ondas servem com o mesmo propósito, proporcionar ao usuário um pré-diagnóstico de maneira rápida e prática.

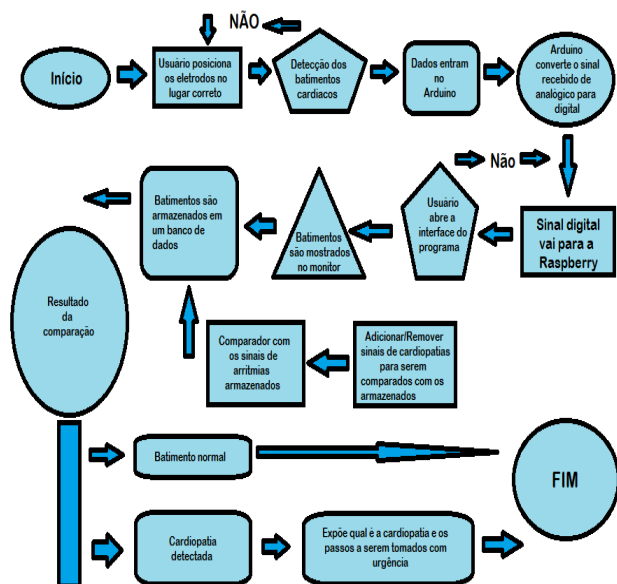


Figura 16 – Fluxograma do projeto.

Realizou-se a comunicação Uart entre a Raspberry e o microcontrolador, para conseguir obter os dados da saída serial do Arduino foi utilizado um código em C utilizando bibliotecas WiringPi.h, foram feitos diversos testes para verificação do funcionamento das bibliotecas e também alguns estudos, com a mesma finalidade, para que as ferramentas sejam utilizadas de forma correta.

Com a comunicação Uart funcionando de maneira correta, o Arduino envia os dados do ECG para a plotagem do mesmo na Raspberry. O código para o modulo AD8232 foi mantido, e na Raspberry adicionou o código “Cuart2.C”, desta vez, dentro da software da Raspberry, mediante auxílio de observações feitas pelo professor, o qual tem a finalidade de captar os dados via comunicação UART e também enviar informações para o Arduino, o código da comunicação UART se encontra no repositório.

Para esse presente de controle desenvolveu-se a interface para a plotagem dos dados recebidos via uart, a parte visual foi desenvolvida utilizando a API livre de computação gráfica, O OpenGL [10], para o teste da parte visual, dentro do próprio código desenvolveu-se uma senoidal para ser plotada durante o funcionamento do programa. Para maiores

conferencias o código TesteOpenGL.c pode ser encontrado no github na pasta códigos.

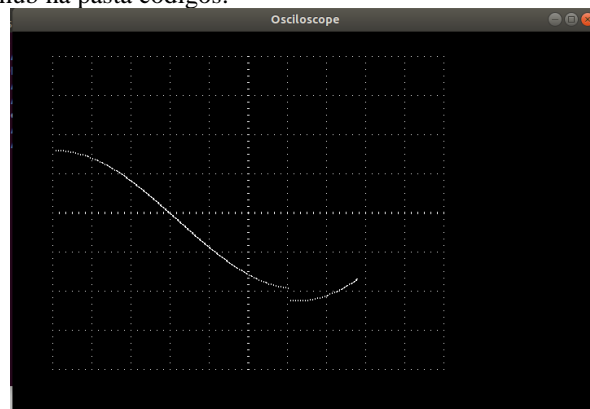


Figura 17 – Imagem do plot em tempo real utilizando OpenGL

O recebimento de dados para a plotagem será via thread entre os softwares desenvolvidos, espera-se que comunicação entre os processos seja a parte mais básica para implementar, e análise será feita em um processo correndo paralelamente com a plotagem, assim finalizando o projeto.

VII. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente no mercado existem diversos modelos de monitores cardíacos. Alguns desses modelos oferecem diversas funcionalidades que resultam no alto preço desse produto no comércio.

Dois exemplos desses modelos são:

A. Monitor de Sinais Vitais – Bionet – Multiparamétrico – BM3 [1]

1) Parâmetros de monitorização:

- ECG;
- Oximetria;
- Pressão arterial não invasiva;
- Respiração;
- Temperatura externa.

2) Informações técnicas:

- Detecção de marcapasso com indicador na tela na forma de onda;
- Tela colorida de alta resolução;
- Bateria integrada para melhor compatibilidade;
- 128 horas de armazenagem de dados;
- Conector de alimentação DC para veículos de transporte;
- Lan (conexão sem fio);
- Atualização de software online

3) Custo: R\$15999,00.

B. Monitor Cardíaco ECG – Congelamento – MX20 [2]

1) Parâmetros de monitoração:

a) Eletrocardiograma (ECG)

2) Informações técnicas:

a) Detecção de marcapasso com indicador na tela;

b) Congelamento de sinal;

c) Tela de alta resolução;

d) Permite interligação com eletrocardiógrafo e desfibrilador;

e) Detecção de eletrodo solto e com indicação no display;

f) ECG – detecção da onda “R”, por software inteligente.

3) Custo: R\$7149,78.

Os monitores cardíacos que monitoram somente ECG são construídos de maneira mais simples comparada aos monitores que monitoram diversos outros sinais vitais, esses dispositivos com menos funções apresentam um menor custo de fabricação. Existem projetos de monitores cardíacos usando microcontroladores com a Raspberry e Arduino, com intuito de desenvolver plataformas IoT de monitoramento vitais [3], que assim como outros projetos, se enquadra no escopo da disciplina.

VIII. RESULTADOS

Até este ponto o hardware e software estão completos para visualizarmos os sinais dos batimentos cardíacos. Primeiramente, é recomendado que se encaixe os eletrodos no cabo antes da aplicação no corpo.

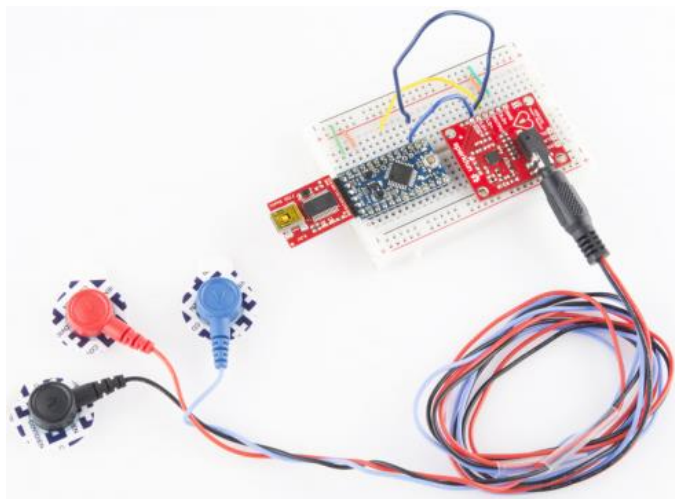


Figura 15 – Sensores conectados ao monitor cardíaco.

Quanto mais próximo os eletrodos estiverem do coração, melhor será a medição. Os cabos são codificados por cores para ajudar a identificar o posicionamento adequado, conforme mostrado na tabela com base no triângulo de Eithoven. Os

sensores podem ser colocados nos antebraços e na perna, conforme mostrado no diagrama a esquerda, ou, também podem ser colocados no peito perto dos braços e acima do abdômen inferior direito.

Cor do Cabo	Sinal
Vermelho	RA (Braço Direito)
Amarelo	LA (Braço Esquerdo)
Verde	RL (Perna Direita)

Tabela 3 – Diagrama de posições.

Os resultados obtidos foram satisfatórios esperados. A comunicação entre o microcontrolador e microprocessador era um obstáculo a ser vencido e o mesmo foi concluído, agora iniciaremos a amostragem do sinal e o tratamento do mesmo.

O sinal captado dos eletrodos apresenta um pouco de ruído, isso é esperado já que o sinal obtido é na escala de mV, então o mesmo sofre interferência de diversas fontes. Mesmo apresentando problemas, os eletrodos ainda captam sinais, mesmo que com extremo ruído e passados pelo módulo são mostrados no monitor após a conversão dentro do Arduino. Logo, ao menos, a comunicação entre o Arduino e o AD8232 foi obtida com sucesso, onde conseguimos mudar a velocidade de captação e ver que os sinais realmente estão sendo obtidos e receptados. Quanto a Raspberry, não foi obtida a comunicação com o Arduino, uma vez que, ainda não foi passado o conteúdo em sala, logo, resultando em falta de conhecimento teórico a respeito disto e juntamente do módulo, o cabo para a comunicação serial também não chegou.

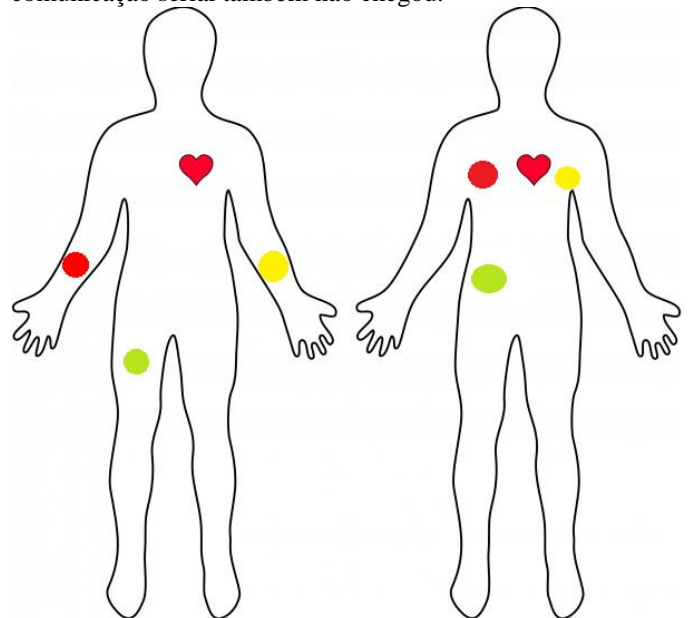


Figura 16 – Posicionamento típico dos sensores.

IX. CONCLUSÃO

Através dos testes realizados, conclui-se que o projeto pode ser implementado, visto que a comunicação da Raspberry Pi 3 e Arduino com os periféricos funcionaria como o esperado.

A comunicação entre os dois periféricos era necessária para a continuidade do projeto, com a mesma concluída, espera-se a aprofundar ainda mais o desenvolvimento do projeto.

Em suma, percebemos o quão útil é a utilização das bibliotecas usadas no presente experimento para a comunicação entre o Arduino e a Raspberry. Todavia, apesar do pequeno avanço em relação a comunicação entre as placas e a utilização da biblioteca WiringPi, ainda há muito o que se fazer, principalmente em relação a interface máquina usuário e a análise e processamento de sinais. Além disso, ainda existem algumas funcionalidades planejadas no escopo inicial do projeto que não seriam tão necessárias para a implementação nesta disciplina, contudo, não foram deixadas de lado.

A API livre de desenvolvimento gráfico OpenGL é uma ferramenta muito utilizada para desenvolvimento de ambiente gráficos, jogos e entre outros. O intuito de utilizar OpenGL é a facilidade de utilizar linguagem C durante o desenvolvimento do código, já que essa API foi desenvolvida utilizando C e C++.

Dito isto, espera-se que no próximo ponto de controle final a junção da parte visual com os dados seriais recebidos pela raspberry Pi3.

REFERÊNCIAS

- [1] Center Medical. Disponível em: <<https://www.centermedical.com.br/monitor-de-sinais-vitais-bionet-multiparametrico-bm3/p>>. Acessado em 28/03/2019.
- [2] Cirúrgica Passos. Disponível em: <<https://cirurgicapassos.com.br/monitor-cardiaco-ecg-congelamento-mx20.html>>. Acessado em 28/03/2019.
- [3] My Signal. Disponível em: <<http://www.my-signals.com/>>. Acessado em 28/03/2019.
- [4] Cardiometro. Disponível em: <<http://www.cardiometro.com.br/anteriores.asp>>. Acessado em 28/03/2019.
- [5] Organização Pan-Americana da Saúde. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5564:ate-650-mil-pessoas-morrem-de-doencas-respiratorias-ligadas-a-gripe-sazonal-a-cada-ano&Itemid=812>. Acessado em 28/03/2019.
- [6] Agência Brasil. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/cada-40-segundos-uma-pessoa-morre-vitima-de-doenca-cardiovascular-no-brasil>>. Acessado em 28/03/2019.
- [7] GitHub. Disponível em: <https://github.com/caiozardo/Sistemas_Embarcados/blob/master/2%20%20PCs/Codigos/Ponto_de_Control_2_Heart_Rate_Display_Arduino_IDE.txt>. Acessado em 03/05/2019.
- [8] Cirúrgica Passos. Disponível em: <https://github.com/caiozardo/Sistemas_Embarcados/blob/master/2%20%20PCs/Codigos/Ponto_de_Control_2_Heart_Rate_Display_Processing.txt> Acessado em 03/05/2019.
- [9] Módulo AD8232. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/>>. Acessado em 03/05/2019.
- [10] Tutorial OpenGL, disponível em: <<http://www.opengl-tutorial.org/>>. Acessada em 28 de Maio de 2019.

