

UM SISTEMA DE HARDWARE E SOFTWARE PARA AQUISIÇÃO, FILTRAGEM E VISUALIZAÇÃO DE SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA

Danyelle Mousinho Medeiros Santana
dmousinhoms@gmail.com

Edson Barbosa Lisboa
ebl2@cin.ufpe.br

Maria Carolina Aragão de Andrade
maria.andrade01@academico.ifs.edu.br

Danilo Santos Ribeiro
danilo.ribeirodr01@gmail.com

William Emanuel Pereira Noya
emanuelpereira8@hotmail.com

Sara Manoelle Santos Silva
saramanoelle22@gmail.com

Edcleidson de Souza Cardoso Júnior
eddiescj10@gmail.com

Vitória Cardoso Valença
vitoria.valenca01@academico.ifs.edu.br

João Victor Melquiades Satiro
jvmsatiro@gmail.com

Resumo – A medição, processamento e análise dos sinais cardíacos vem auxiliando a medicina no diagnóstico das mais diversas patologias. O objetivo desse projeto foi o desenvolvimento de um sistema de *hardware* e *software* para aquisição, filtragem e visualização de sinais de Eletrocardiograma - ECG. Para tanto, foram projetados, simulados e testados circuitos para a aquisição do sinal, incluindo amplificação e filtragem analógicas, e foram implementados *softwares* para a realização da filtragem digital, leitura e visualização do sinal na tela do computador. Foram utilizados sinais sintéticos obtidos de bases de dados *online*, que foram utilizados para validar e testar os *softwares* implementados, também foi possível observar que a filtragem digital apresentou melhores resultados do que os filtros analógicos.

Palavras-Chave: Hardware, software, amplificador e filtro.

INTRODUÇÃO

Na área de medicina e diagnóstico são encontradas diversas aplicações que se utilizam de sistemas eletrônicos para aquisição de sinais bioelétricos, como por exemplo, o eletrocardiograma - ECG. O eletrocardiograma é

a manifestação elétrica da atividade do coração. Determinadas patologias cardiovasculares são diagnosticadas pela simples inspeção deste sinal, como por exemplo, arritmias cardíacas, isquemia, infarto, hipertrofia ventricular, dentre outros (Barbosa, 2005). O ECG é captado por meio de eletrodos, situados normalmente no tórax do paciente. O sinal obtido é uma superposição de diversos sinais produzidos em todas as atividades elétricas que ocorrem a cada instante do ciclo cardíaco e sua forma característica pode ser observada na figura 1.

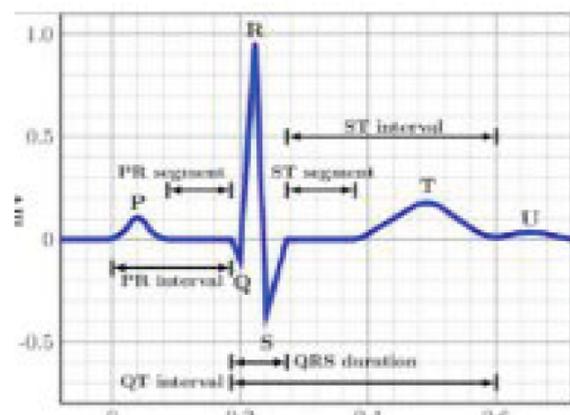


Figura 1 – Sinal de ECG típico. Fonte: Chen et al., 2014 .

O sinal de ECG típico, representado na figura 1, é formado pelas ondas P, T e o complexo QRS. A duração e amplitude dessas formas

têm significado clínico porque correspondem diretamente ao percurso de condução elétrica do coração. A sequência de eventos elétricos que resultam no ciclo sístole/diástole propagam-se medida na superfície do corpo através de eletrodos. O tórax e membros se comportam como resistências elétricas, o coração como um gerador elétrico e o potencial elétrico diminui com a distância da fonte (Button, 2004). As componentes de menor frequência presentes no sinal são as mais importantes para o diagnóstico. O sinal apresenta amplitude de 2 mV, podendo chegar a 5 mV sobre o tórax, e frequências harmônicas de amplitudes significativas até 150 Hz.

O sinal de ECG é muito sensível a interferências, assim como toda captação de biopotenciais, devido a sua característica de baixíssima amplitude, classificado como pequeno sinal. As principais interferências são o ruído eletromagnético proveniente da rede elétrica, 60 Hz, artefatos de movimento, que são sinais produzidos pelo movimento relativo pele - eletrodo, com modificação da linha de base ou ruído no traçado, dificultando a sua interpretação (Button, 2004), interferência de equipamentos eletrônicos próximos, potenciais acumulados entre o eletrodo e a pele e ruídos provenientes de contrações musculares (EMG), que possuem aproximadamente a mesma amplitude do sinal de interesse, mas com frequência maior (Gloor, 2016).

Assim, dada a importância dos sinais de ECG e os grandes desafios para se obter esse equipamento médico de baixo custo e que possa ser popularizado, este projeto propõe soluções integradas de *hardware* e *software* para atingir tais objetivos, que serão apresentadas as etapas de desenvolvimento descritas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a aquisição de sinais, faz-se necessário o estudo, projeto e testes de circuitos eletrônicos para a amplificação, por se tratar de um sinal de baixíssima amplitude, circuitos para filtragem, a fim de eliminar ou atenuar ruídos, isolamento do sinal, para segurança do paciente, digitalização

e processamento do sinal através de plataformas programáveis, que também fazem a interface com o PC, além do desenvolvimento de softwares para a visualização das formas de onda. Portanto, materiais de *hardware*, equipamentos e o desenvolvimento de *software* são imprescindíveis para o desenvolvimento do projeto.

Hardware

Os principais materiais utilizados no *hardware* do projeto foram componentes eletrônicos tais como resistores, capacitores, amplificadores operacionais e de instrumentação, além de equipamentos utilizados na montagem e teste dos circuitos eletrônicos, sendo eles: multímetro de bancada, gerador de funções, osciloscópio, fonte de alimentação CC e protoboard.

Para a filtragem analógica do sinal, foram estudadas configurações de filtros *Notch*, a fim de minimizar o ruído de 60 Hz proveniente da rede e, juntamente com um filtro desenvolvido, testou-se e avaliou-se o que melhor atendia às necessidades do projeto. *softwares* de computador foram utilizados para gerar circuitos de filtros eletrônicos e simular o comportamento dos circuitos, sendo eles, respectivamente: *FilterPro* e *Multisim*, em seguida, os filtros foram montados e testados em bancada.

Software

Inicialmente foram analisados o desempenho e requisitos dos microcontroladores “Arduino Mega” e “ESP-32”, que possuem baixo custo, saídas e entradas analógicas, alta velocidade de processamento e grande capacidade de memória. Foi escolhido o ESP-32 para ser utilizado no projeto, pois o mesmo possui um conversor analógico para digital - A/D na entrada, e um conversor digital para analógico - D/A na saída, capacidade de memória 12 vezes maior e velocidade de processamento 15 vezes maior que a do Arduino Mega. Foram desenvolvidos *softwares* nas linguagens Python e PHP, e também no Matlab, com o objetivo de realizar a amostragem e filtragem digital do sinal

de ECG obtido pelo *hardware*, além de criar uma interface gráfica para a visualização do sinal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização de testes do sistema foram utilizados sinais de ECG sintéticos obtidos no banco de dados *online PhysioBank ATM*. O sinal obtido possui alguns valores negativos e, como as tensões de entrada do ESP-32 devem estar entre 0,8 mV e 3,2 V, foi necessário projetar um circuito que deslocasse o sinal (*offset*). Para tanto, um amplificador somador inversor foi inserido para somar 1 V ao sinal e invertê-lo, em seguida, o sinal foi invertido novamente. Na figura 2 pode-se verificar o sinal original (inferior) e após o *offset* (sinal superior).

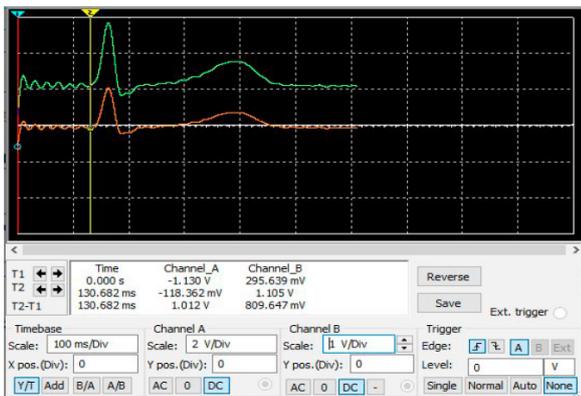


Figura 2 - Sinal inicial, em vermelho, sinal após deslocamento, em verde. **Fonte:** Acervo dos autores

Na filtragem analógica, foram simulados 3 filtros *Notch* no *Multisim*, e analisados seus resultados. Em seguida, os filtros foram montados e testados em bancada. Nesse projeto optou-se por verificar o desempenho de filtros *Notch* analógicos, o que não é muito utilizado na prática.

Durante os testes em bancada não foi possível realizar as medições do Filtro (3), visto que o circuito apresentou mau funcionamento, impossibilitando a visualização do comportamento deste nas frequências testadas.

Já em comparação entre os resultados dos testes entre o Filtro (1) e (2), pode-se notar que o Filtro (1) obteve uma menor faixa de atenuação, ou seja, a quantidade de frequências atenuadas foi inferior a do Filtro (2). Entretanto, esse

resultado apresentou-se longe do ideal, uma vez que as frequências de corte inferior e superior precisam ser o mais próximo possível de 60 Hz, para que não haja uma interferência significativa na representação gráfica do ECG. Avaliando-se os parâmetros dos filtros projetados, que podem ser verificados na tabela 1, pode-se concluir que os resultados mostram-se longe do ideal, sendo recomendada a realização de tal filtragem digitalmente, o que foi implementado via *software*.

Tabela 1 - Comparação dos resultados obtidos nos testes.

	Filtro (1)	Filtro (2)	Filtro (3)
Frequência de corte inferior	25,5Hz	13.8Hz	não visualiza dos nas medições
Frequência de corte superior	148,5 Hz	250Hz	não visualiza dos nas medições
Considerações	Resulta dos fora do ideal	Resulta dos não favoráveis.	Não foi possível obter os resulta dos

Fonte: Acervo dos autores.

Como pode ser observado na figura 4, o sinal de ECG apresenta bastante ruído antes da filtragem. Assim, antes de realizar a configuração de filtragem digital do sinal foi analisado o espectro de frequências no Matlab, que pode ser visualizado na figura 5, a fim de detectar as frequências presentes nesse sinal.

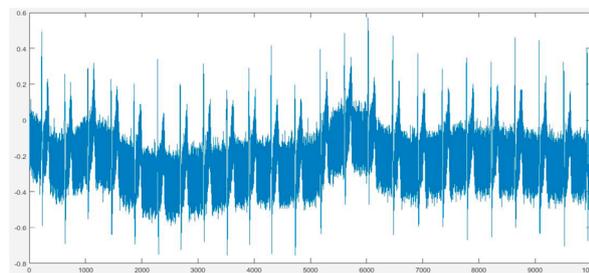


Figura 4 - Sinal de ECG com ruído.

Fonte: Acervo dos autores.

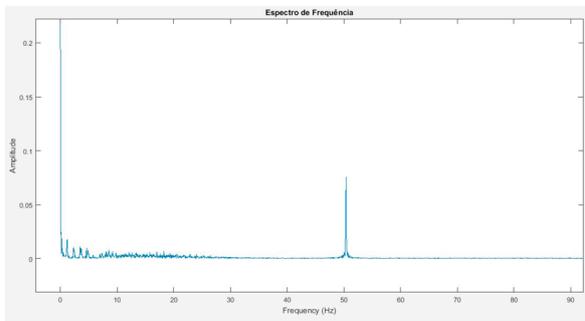


Figura 5 - Espectro do sinal de ECG da Figura 4.
Fonte: Acervo dos autores.

Analisando o espectro de frequência da figura 5, percebe-se que há uma alta amplitude em 50 Hz (frequência de operação da rede elétrica do local onde foi captado o sinal) e abaixo de 1 Hz (proveniente de ruídos como o do *hardware*, do próprio corpo, eletrônicos próximos, etc.), portanto, com o intuito de deixar o sinal “limpo”, foi utilizado o *software* Matlab para criar configurações de filtros digitais com o objetivo de remover essas frequências que estão descaracterizando o sinal de ECG. Para a criação dos filtros digitais, foi utilizado uma ferramenta do Matlab denominada “*Filter Design & Analysis Tool*”, com essa ferramenta é possível testar diferentes tipos de resposta de filtros, métodos de filtragem, ordem do filtro, magnitude, frequências de corte e o método de filtro no nosso sinal de ECG, portanto, pode-se encontrar uma combinação de filtragem adequada para o sinal e remover as frequências que não são de interesse. Após realizar diversas combinações de filtros diferentes, o que teve o melhor resultado foram o conjunto dos seguinte filtros digitais:

- Filtro Passa-baixa, Butterworth, 10^a Ordem, com frequência de corte de 60 Hz;
- Filtro Passa-alta, Butterworth, 2^a Ordem, com frequência de corte de 1 Hz;
- Filtro Notch, Butterworth, 10^a Ordem, com frequência de corte inferior de 45 Hz e superior de 55 Hz.

Após ter encontrado o melhor conjunto de filtros digitais, foi aplicada a filtragem ao sinal de ECG com ruído, e foi obtido o resultado apresentado na figura 6.

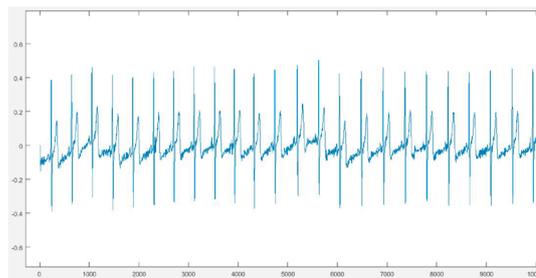


Figura 6 - Sinal após filtragem digital. **Fonte:** Acervo dos autores.

Em seguida, foi visualizado o espectro de frequências e verificou-se que as frequências indesejadas foram removidas, como pode ser observado na figura 7.

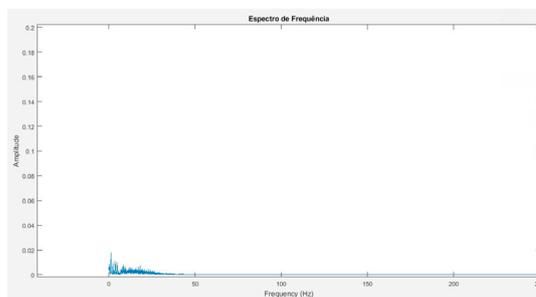


Figura 7 - Espectro do Sinal de ECG após a filtragem digital. **Fonte:** Acervo dos autores.

Foi desenvolvido um programa orientado a objetos no Python a fim de fazer amostragem e filtragem do sinal captado pelo *hardware* em tempo real. Para tanto, foram utilizadas bibliotecas feitas em Python como a “PyQt5” para o desenvolvimento da interface gráfica, “Pyqtgraph” para realizar a amostragem do sinal e “BioSPPy” para desenvolver a filtragem digital. Um exemplo de sinal filtrado pelo programa desenvolvido em Python pode ser observado na figura 8.

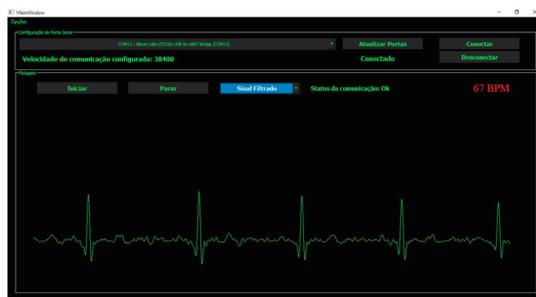


Figura 8 - Sinal Captado pelo ESP-32, filtrado e mostrado no *software* feito em Python. **Fonte:** Acervo dos autores.

CONCLUSÕES

O projeto foi bastante desafiador por ser de cunho interdisciplinar. A partir do desenvolvimento de sistemas de aquisição de sinais de ECG é possível se deparar com possibilidades de soluções que envolvem *hardware*, *software* e conhecimentos sobre biopotenciais.

Verificou-se que as etapas de amplificação e filtragem dos sinais de ECG adquiridos são imprescindíveis, devido às características e ruídos presentes no sinal.

Foram utilizados sinais sintéticos obtidos de bases de dados *online*, que foram utilizados para validar e testar os *softwares* implementados, bem como através da síntese dos mesmos, utilizando um gerador de sinais com o suporte do gerador de formas de onda arbitrária, pode-se utilizar nos testes de circuitos analógicos.

Verificou-se também que não foi obtido sucesso na filtragem analógica para as implementações de filtro *Notch*, contudo, a filtragem digital foi bem sucedida, o que pôde ser observado tanto graficamente quanto no espectro de frequências do sinal antes e após a filtragem digital. A implementação prática de filtros analógicos de ordens elevadas torna-se inviável devido à complexidade do circuito, o que pode ser mais facilmente conseguido com a implementação digital de tais filtros.

Assim, a exibição gráfica do sinal de ECG foi possível através dos *softwares* implementados, podendo ser utilizado para análise de dados para diagnósticos e/ou extração de características do sinal em projetos futuros.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, G. V. D. **Projeto de Amplificadores de Biopotenciais**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

BUTTON, Vera Lucia da Silveira Nantes; **Eletrocardiógrafo e monitor cardíaco**. UNICAMP. 2004

CHEN, Shuo-Tsung & Guo et al. Hiding Patients Confidential Data in the ECG Signal via Transform-Domain Quantization Scheme. **Journal of medical systems**. 38. 54. 10.1007/s10916-014-0054-9. 2014.

GLOOR, I. J. S. **Módulo de Eletrocardiograma Isolado Opticamente**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Londrina. 2016