



DESENVOLVIMENTO DE UM HARDWARE DE CAPTAÇÃO DE SINAIS DE ECG VIA REDE WIRELESS PARA USO EXPERIMENTAL

Bruno Pereira de Araujo Lindoso^{1,3*}, Maria Luiza Guerra Caetano Caetano^{1,2}, Sergio Soares Quirino^{1,3}, Jeine Emanuele Santos da Silva¹

¹Laboratório de Biofísica Teórico/Experimental e Computacional- UFRPE, UFPE; ²Engenharia Elétrica - UFRPE, ³Engenharia Eletrônica - UFPE
*b.lindoso@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os biopotenciais são sinais que advêm das atividades celulares e dos processos fisiológicos gerados nos seres vivos. Como consequência de parte desses processos, pequenos sinais elétricos podem ser medidos e analisados de maneira direta ou indireta por meio de técnicas de captação dos mesmos. Desta maneira, é possível avaliar o funcionamento de algumas atividades biológicas, a exemplo da atividade cardíaca (RAMINHOS, 2009). Com o eletrocardiograma (ECG) é possível obter-se um sinal que é o somatório elétrico da atividade celular gerada no músculo cardíaco. O mesmo é normalmente captado por meio de eletrodos localizados na superfície corporal do tórax do indivíduo a ser analisado. O registro do ECG pode ser utilizado no auxílio ao diagnóstico de diversas alterações como arritmias cardíacas, doenças cardíacas congênitas e constatação de áreas do coração afetadas por infartos (CHAVES; MOREIRA, 2001). O biopotencial muscular cardíaco ao longo do tempo caracteriza-se por diferentes ondas no traçado do ECG: P, Q, R, S e T. O estudo do complexo QRS e das ondas P e T permitem avaliar o estado de saúde dos indivíduos (HALL, 2011).

Na pesquisa experimental, modelos animais são utilizados para investigação e melhor compreensão dos processos fisiológicos e fisiopatológicos da saúde humana e animal. Dentre os modelos, os ratos Wistar são populares devido às semelhanças dos sistemas biológicos destes animais com outras espécies e, ainda, pelo relativo baixo custo quando comparado a outros modelos utilizados em pesquisas que fazem uso da experimentação animal (MARINI et al., 2011; ERICSSON et al., 2013).

A busca pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias é crucial para a pesquisa científica. Equipamentos eletrônicos que auxiliem no processo de aquisição de dados eletrofisiológicos constituem uma importante ferramenta para o desenvolvimento experimental, com possibilidade de aplicação na área de saúde, como o eletrocardiográfico, utilizado para registro da atividade elétrica do coração (GREEG et al., 2008; LUO; JOHNSTON, 2010).

No que se refere à captação do sinal de ECG em roedores, são utilizados sistemas cabeados, que apresentam algumas desvantagens de uso, como por exemplo: as medições realizadas em ratos conscientes e dentro de contêineres plásticos gera um estresse ao animal, o uso de fármacos para anestesiá-los que geram mudanças na atividade cardíaca, ocorrência semelhante quando utilizado o método de congelamento por susto (frost), situações que afetam o resultado final da análise do eletrocardiograma (KONOPELSKI; UFNAL, 2016).

O uso da comunicação sem fio tem se mostrado eficiente para a realização de pesquisas com roedores, como nos trabalhos realizados por Liang et al (2011) e Sanyal et al. (2012). Neste

último, os sinais de ECG de ratos Wistar foram obtidos por um transmissor de rádio que receberam monocrotalina (MCT) via injeção subcutânea. Através do registro obtido foi possível analisar a frequência cardíaca (FC) e sua variabilidade (VFC). Uma questão desfavorável ao acesso a este tipo de equipamento se caracteriza pelos elevados custos para aquisição dos modelos que se encontram disponíveis no mercado.

O desenvolvimento de equipamentos de baixo custo que possibilitem a aquisição e análise de dados eletrofisiológicos de modelos animais podem dar suporte às pesquisas em diversas áreas, em especial aquelas relacionadas a compreensão dos processos fisiológicos e fisiopatológicos dos animais e humanos (OLIVEIRA, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto é conduzido no Laboratório de Biofísica Teórico-Experimental e Computacional (LABTEC) do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da UFRPE, Dois Irmãos, Recife - PE.

Foi utilizado o software do Arduino® (software de uso livre e gratuito) para o modelo do protótipo, incluindo a interface gráfica para visualização do traçado dos sinais captados. Inicialmente nos testes do módulo de transmissão de dados, para verificar a qualidade da transmissão de dados via Wifi utilizou-se Módulos WiFi ESP8266EX D1 Mini NodeMcu e um sensor de temperatura. Durante os testes, os módulos foram alimentados por uma fonte de alimentação bivolt de 5 V por 2 A.

Depois das análises dos testes utilizando os módulos Wifi, foi analisado a possibilidade de sua substituição por captação via Bluetooth, já que o raio de operação do mesmo se encaixa na pesquisa. Utilizamos o Módulo Bluetooth BLE V4.0, com um raio de alcance de até 15 m e uma alimentação de 3.3 V - a mesma do módulo de Wifi.

Na sequência, foi desenvolvido um equipamento para captar os sinais elétricos da atividade cardíaca de ratos Wistar, transmitindo-os via rede sem fio a uma placa com microcontrolador. Para isso, eletrodos do tipo Red Dot™ 2269T, da fabricante 3M®, foram utilizados para a captação do sinal do ECG, o qual é transmitido por meio de condutores do tipo Linha Condutiva Wearable até uma placa de desenvolvimento ATTINY85 em um controlador Arduino Nano V3.0. Esta placa possui um microcontrolador AVR de 8 bits, voltada para projetos de internet das coisas - IoT (do inglês Internet of Things).

Posteriormente, o sinal ECG foi transmitido através de um Módulo Bluetooth BLE V4.0 no CI ESP8266 para utilização em projetos embarcados e projetos voltados à IoT. No referido módulo, o sinal é amplificado e convertido (análogo-digital). Todo o circuito é

alimentado por uma bateria de Lítio CR2032 que estará em um suporte de bateria CR2032 com chave do tipo liga-desliga (Fig. 1).

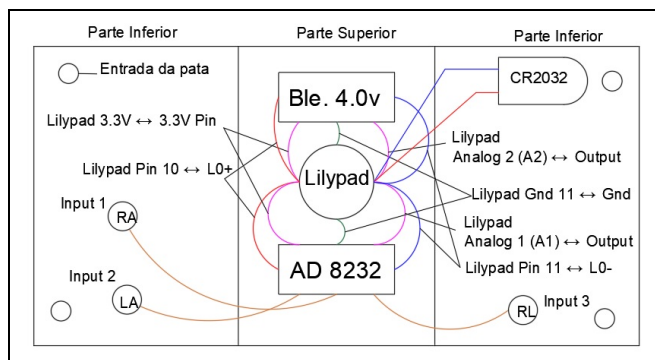


Figura 1. Esquema de ligação do Hardware desenvolvido.

Desenvolveu-se um protótipo de teste para o ECG através de um sensor de frequência cardíaca CJMCU - 4MD69 que combinado a um sensor óptico com amplificador envia o sinal analógico do batimento cardíaco para um microcontrolador ATmega238 em um Arduino Placa Nano V3.0, como demonstrado na Figura 2.

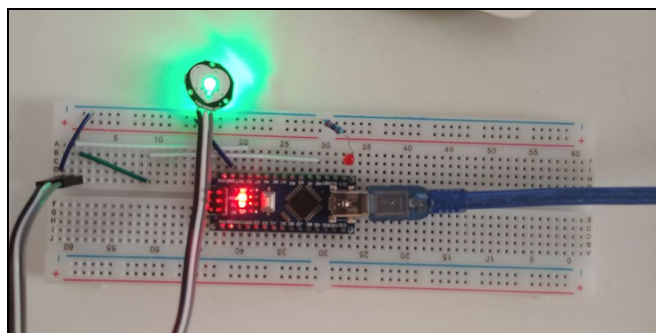


Figura 2. Protótipo de testes desenvolvido para captação do sinal cardíaco (a LED vermelha indica o microcontrolador Arduino e a LED verde e sensor do ECG).

Os dados obtidos nesta primeira fase foram então comparados com amostras de ECG do banco de dados da PhysioNet(Physiobank database), obtidos de animais saudáveis, cujo registro foi feito por meio de sistema cabeado. Por meio dessa análise foi constatado que os sinais captados pelo protótipo, de um dos membros da equipe que se voluntário para isso, eram de fato característicos de registros da atividade cardíaca e os ajustes necessários foram feitos. Assim, esse protótipo de captação de ECG foi utilizado como referência para os dados obtidos ao final do processo de desenvolvimento do hardware. Realizou-se a substituição do Arduino de modelo Nano V3.0 por um modelo do tipo LilyPad 3.3 V (Figura 3) com um microcontrolador do tipo ATmega32U4.

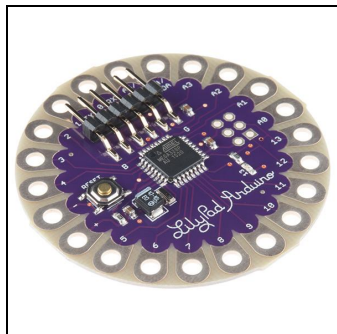


Figura 3. Placa LilyPad 3.3V com microcontrolador ATmega32U4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a programação do hardware do ECG utilizada para obtenção dos dados. Os testes no modelo protótipo do ECG

mostraram resultados satisfatórios e o mesmo foi utilizado como um controle para comparações com o projeto a ser desenvolvido usando outra técnica de captura para batimentos cardíacos.

```
PulseSensorAmped_Arduino_1.5.0$

#define PROCESSING_VISUALIZER 1
#define SERIAL_PLOTTER 2

int pulsePin = 0;
int blinkPin = 13;
int fadePin = 5;
int fadeRate = 0;

volatile int BPM;
volatile int Signal;
volatile int IBI = 600;
volatile boolean Pulse = false;
volatile boolean QS = false;

static int outputType = SERIAL_PLOTTER;

void setup() {
  pinMode(blinkPin, OUTPUT);
  pinMode(fadePin, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  interruptSetup();
}

void loop() {

  serialOutput();

  if (QS == true) {

    fadeRate = 255;

    serialOutputWhenBeatHappens();
    QS = false;
  }

  ledFadeToBeat();
  delay(20);
}

void ledFadeToBeat() {
  fadeRate -= 15;
  fadeRate = constrain(fadeRate, 0, 255);
  analogWrite(fadePin, fadeRate);
}
```

Figura 4. Programação feita no Arduino IDE utilizada para captação do sinal do ECG.

Quando se substituiu o módulo wifi pela captação via módulo bluetooth foi possível verificar que a programação deste último sofreu pouquíssima mudança em sua estrutura por causa do tipo de sinal transmitido que é característico de um ECG, facilitando seu uso. Assim, utilizou-se um Módulo Bluetooth BLE V4.0 com um raio de operação adequado, mas consumindo menos corrente e transferindo mais dados que o módulo WiFi ESP8266EX D1 Mini NodeMcu. A substituição do Nano V3.0 pela LilyPad 3.3V associada ao ATmega32U4 teve como diferencial o fato de que a nova placa possui um tamanho menor em relação à anterior, isto é um fator importante para as próximas etapas que serão futuramente implementadas no projeto.

Após os testes preliminares, o hardware do ECG foi refinado (Figura 6A) para que possam numa etapa futura, ser utilizado para testes em roedores.

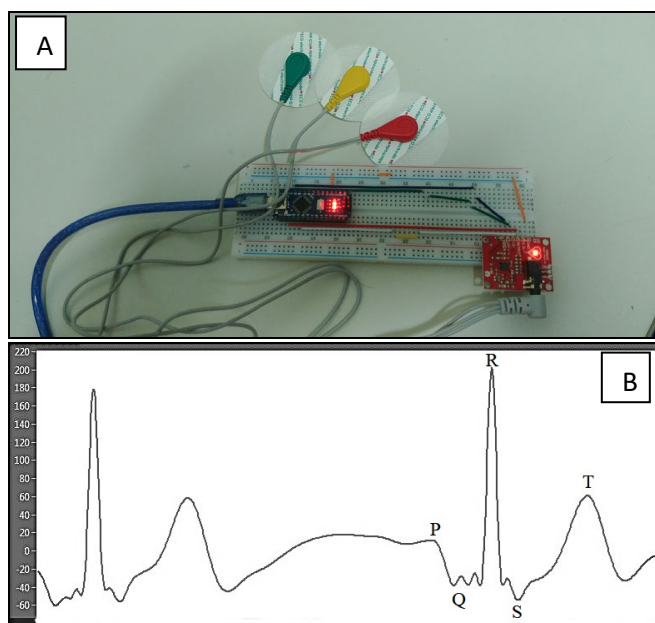


Figura 6. Hardware do ECG. Em A demonstra-se o sensor cardíaco AD8232 (placa vermelha), os eletrodos e um controlador arduino (placa azul). Em B tem-se o gráfico de ECG obtido através do Processing®, evidenciando o traçado característico da onda P, complexo QRS e onda T.

CONCLUSÕES

O hardware desenvolvido para captação do ECG com transmissão de dados via Wifi foi capaz de gerar dados com configurações similares aqueles existentes em nosso banco de dados, obtidos a partir de um sistema de captação cabeado. Os dados preliminares obtidos pelo hardware são satisfatórios e apresentam poucos ruídos, os quais ainda podem ser reduzidos com a utilização de um filtro. Na continuidade desse projeto será desenvolvido um colete para roedores, permitindo a captação do ECG de animais acordados e sem contenção, o que poderá contribuir na obtenção de dados eletrofisiológicos com menos artefatos decorrentes do estresse produzido pela contenção do animal ou do uso de fármacos que geralmente se fazem necessários nos protocolos experimentais usando sistema cabeado.

REFERÊNCIAS

- CHAVES, P. C.; MOREIRA, A. L. **Eletrocardiografia**. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. Porto, 2001, p. 26.
- ERICSSON, A. C.; CRIM, M. J.; FRANKLIN, C. L. A Brief History of Animal Modeling. *Missouri Medicine*, Missouri, v. 110, n. 3, p. 201-205, 2013.
- GREGG, R. E. et al. What is inside the electrocardiograph? *Veterinary Journal*, Los Angeles, v. 189, n. 1, p. 77-82, 2011.
- HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011, 1173p.
- LIANG, S.F. et al. Closed-loop seizure control on epileptic rat models. *Journal of Neural Engineering*, v. 8, p. 045001, 2011.
- LUO, S.; JOHNSTON, P. A review of electrocardiogram filtering. *Journal of Electrocardiology*, v. 43, n. 6, p. 486-496, 2010.
- OLIVEIRA, I.; BALBINOT, A. **Eletrocardiograma Portátil Através De Aplicativo Para Sistema Operacional Android**. XXIV. Congresso Nacional de Engenharia Biomédica, Uberlândia-MG, 2014.
- P. KONOPELSKI, M. UFNAL, Electrocardiography in Rats: a Comparison to Human, *Physiological research / Academia Scientiarum Bohemoslovaca*, Bohemoslovaca, 2016, p. 719.
- RAMINHOS, J. P. B. D. V. **Aquisição de Sinais Fisiológicos**, Lisboa, 2009. p. 93.
- SANYAL S. N. et al. Cardiac autonomic nerve abnormalities in chronic heart failure are associated with presynaptic vagal nerve degeneration. *Pathophysiology*. v. 19, n. 4, p. 253-260, 2012.