

Sistema para Monitoramento Não-Invasivo da Frequência Cardíaca e Oximetria de Pulso por Fotopletismografia

Francisco Augusto Alves do Carmo Júnior
Engenharia Elétrica
UFERSA - Caraúbas
Apodi, RN
august.junior@hotmail.com

Renata Farias Galvão
Engenharia Elétrica
UFERSA - Caraúbas
Caraúbas, RN
renata_galvao@hotmail.com.br

Dr. Francisco de Assis Brito Filho
Engenharia Elétrica
UFERSA - Caraúbas
Caraúbas, RN
francisco.brito@ufersa.com.br

Resumo—Esse artigo objetiva apresentar o desenvolvimento de um sistema para monitoramento da Frequência Cardíaca e Saturação Periférica de Oxigênio, também conhecida como Oximetria de Pulso, por meio da análise temporizada da iluminação irradiada na superfície do leito capilar da pele, processo também conhecido como fotopletismografia. Durante o projeto foi possível construir um protótipo de testes, programar um aplicativo Android e estabelecer a comunicação entre ambos via Bluetooth Low Energy. O sistema tem finalidade acadêmica e possibilita dar continuidade nos estudos acerca da aquisição de dados vitais de forma não invasiva, contribuindo para o melhoramento das tecnologias emergentes.

Palavras-chave: Medidor, IoT, Saúde.

Palavras-chaves—Internet das Coisas, Saúde, Frequência Cardíaca, Oximetria

I. INTRODUÇÃO

O indicador do número de mortes por doenças cardiovasculares no país, o cardiômetro [1], apresenta a marca de 350 mil mortes ao final do ano de 2020. Esse fato mostra a importância de promover o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem a detecção de irregularidades na saúde cardiovascular dos pacientes, bem como o monitoramento da taxa de batimentos cardíacos e oximetria de pulso, informando ao usuário sobre seus dados vitais em tempo real.

Os exames invasivos, ou seja, que são realizados inserindo equipamentos no corpo do paciente, têm perdido espaço para os não-invasivos [2]. Além de possuírem elevada precisão, destacam-se pela praticidade na coleta de dados e não causam desconfortos aos pacientes. Com o avanço de tecnologias digitais e portáteis na área da saúde, e com o advento da internet das coisas, a realização do monitoramento cotidiano de dados do corpo humano torna-se uma realidade, tendo em vista que no passado, só era possível através de exames clínicos [3].

A proposta deste artigo é explorar o desenvolvimento de um dispositivo IoT, voltado ao monitoramento dos dados de pacientes/atletas, por meio de um sensor fotodetector capaz de auxiliar no acompanhamento dos sinais cardiovasculares de maneira não-invasiva, vinculado a um controlador ESP32, dotado das tecnologias Wi-Fi e Bluetooth, importantes para a comunicação do sistema. Um aplicativo desenvolvido para

a plataforma Android é o responsável por gerenciar todo o conjunto e apresentar os dados ao usuário final.

O sistema tem finalidade acadêmica e possibilita dar continuidade nos estudos acerca da aquisição de dados vitais de forma não invasiva, contribuindo para o melhoramento das tecnologias emergentes.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Ciclo cardíaco

O ritmo cardíaco ocorre devido ao bombeamento de sangue através das artérias do corpo. Consequentemente, quando o corpo humano é submetido a um determinado esforço físico, o seu coração trabalha acelerado para compensar o uso energético causado pela atividade [4]. A Figura 1 auxilia no entendimento do ciclo cardiovascular.

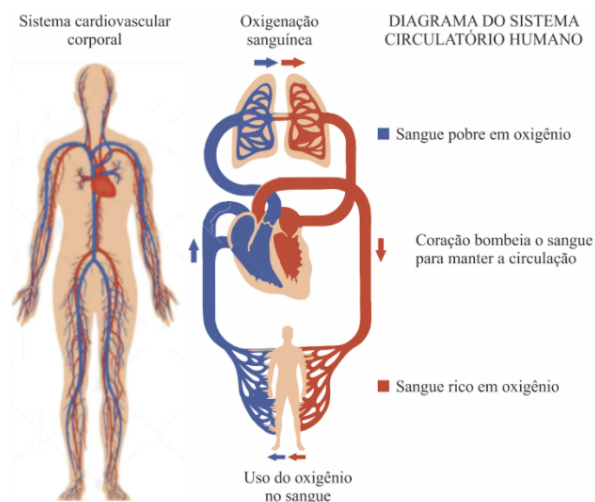


Figura 1. Diagrama do Sistema Circulatorio Humano. Fonte: Adaptado de Gonzalez e Woods (1992).

B. Fotopletismografia

Após entendimento do ciclo cardíaco fica claro quais os parâmetros devem ser analisados para coletar informações

relevantes. Na Fotopletismografia os níveis de irradiação luminosa espalhados na pele são utilizados para detectar a alteração do volume sanguíneo, mais especificamente dos leitos microvasculares, que ocorre devido a intensidade da pressão arterial nas extremidades do corpo, como dedos e lóbulo da orelha [5].

Por meio de medições instantâneas e interpretação computacional desses dados é possível revelar importantes informações, como a Taxa de Batimentos Cardíacos (Batimentos por Minuto - BPM) e Oximetria, também conhecida como Percentual de Oxigenação Sanguínea Periférica (% SPO2) [6].

As principais técnicas usadas para estimar os dados vitais por meio da fotopletismografia são a (a) Transmitância ou (b) Reflectância de luz, conforme mostra a Figura 2.

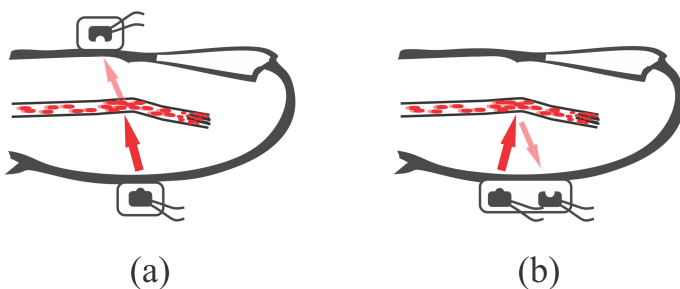


Figura 2. (a) Transmitância e (b) Reflectância. Fonte: Autoria Própria (2020).

No primeiro método (a), a luz é emitida através do tecido por meio de diodos emissores de luz (LED) e detectada na outra extremidade por meio de sensores fotodetectores. Em contraste, o segundo método (b) mede a luz refletida proveniente do espalhamento luminoso no tecido [7].

C. Comprimentos de ondas e absorção de luz

Os comprimentos de onda mais amplamente pesquisados para a oximetria de pulso são 660 nm (vermelho) e 940 nm (infravermelho) [7], junto com 890 nm como um comprimento de onda infravermelho alternativo [8]. Comparativo demonstrado na Figura 3.

A absorção do sangue oxigenado (HbO₂) em contraste com o sangue desoxigenado (Hb) é mais sensível em 660 nm. Dessa forma os cálculos de estimativa para taxa de batimentos cardíacos e determinação dos níveis de SPO₂ tornam-se menos suscetíveis a ruídos externos. Para a oximetria são usados a faixa de 890-940 nm, região com clara distinção entre as características analisadas acerca da oxigenação sanguínea.

D. Internet Of Things - IoT

Em uma nova revolução conhecida como Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things - IoT*), dispositivos do cotidiano ganham a capacidade de comunicação. Os mesmos podem interagir entre si, trocar informações, informar e entreter o usuário com recomendações personalizadas segundo o estilo de vida e ações de cada consumidor.

Um novo perfil da internet se instala e passa a receber dados massivos de inúmeros sensores que disponibilizam

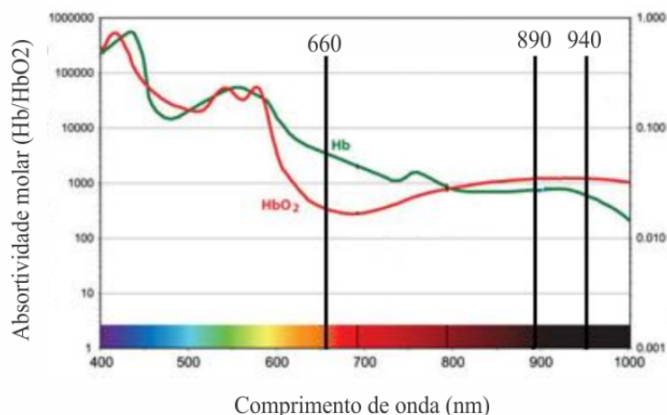


Figura 3. Comprimento de onda vs absorção luminosa. Fonte: Adaptado de Gonzalez e Woods (1992).

informações a partir do ambiente onde estão inseridos. Essas são usadas para calibrar outros sensores, identificar padrões e automatizar sequências de ações predeterminadas, não mais se limitando à troca de informações entre pessoas [11].

E. Dispositivos vestíveis

Devido a possibilidade que a internet das coisas apresentou com o seu surgimento, foi possível tornar a interação usuário-máquina ainda mais íntima. A expressão *Wearable* se refere a dispositivos tecnológicos que podem ser usados como roupas ou acessórios no corpo do usuário, a fim de efetuar alguma ação. Com isso, surge um novo paradigma para os sistemas embarcados, a computação vestível. As possibilidades se multiplicam desde o ramo da moda com brincos luminosos de LED, até pulseiras para monitoramento cardíaco [12].

No âmbito biomédico, a interação dos pacientes com os dispositivos que monitoram a sua saúde é facilitada e apresenta novos horizontes para a medicina atual.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. O sistema

Por meio de experimentos práticos em laboratório, foi desenvolvido um protótipo com dispositivos combinados. O sistema é constituído por um módulo óptico medidor de frequência cardíaca de baixo consumo, controlado por um ESP32 que realiza a comunicação dos dados com o aplicativo Android, a interface do usuário, e é alimentado por uma bateria fabricada com polímero de lítio, ou *Lithium-ion Polymer - LIPO*. Para o carregamento seguro da bateria é utilizado um controlador de carga, modelo TP4056, conforme representado na Figura 4.

Esse protótipo tem finalidade acadêmica e foi submetido a testes funcionais, sendo portanto, a base para aprimoramentos em futuras versões.

B. Controle do sistema

Inicialmente foram efetuados os procedimentos seguindo as recomendações da fabricante [13]. O teste inicial consiste em efetuar a ligação entre o Arduino UNO e o sensor MAX30102

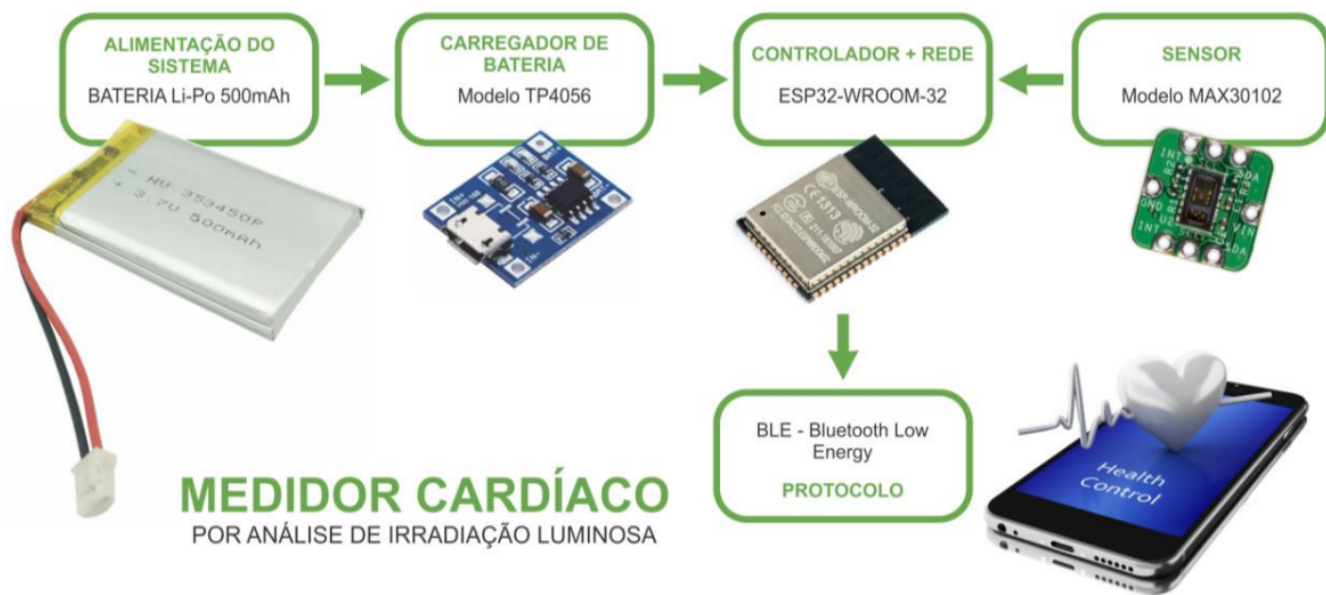


Figura 4. Diagrama do sistema. Fonte: Autoria própria (2020).

e visualizar o funcionamento normal do dispositivo, apresentando a estimativa da taxa de batimentos cardíacos e níveis de oxigenação sanguínea por meio do Monitor Serial do Ambiente de Desenvolvimento (IDE) do Arduino.

Após validação do funcionamento do dispositivo foi dada continuidade ao projeto, substituindo o Arduino UNO, usado no inicialmente, pelo dispositivo microcontrolador ESP32 modelo DEVKIT V1. O material fornecido pela fabricante do sensor, por padrão, é dedicado para testes em plataforma MBED ou adaptado para a o modelo Arduino UNO. Portanto, foi necessário ajustar os registradores no código fonte. Com isso foi possível estabelecer a comunicação pelo protocolo I2C, que consiste basicamente em manter a comunicação com outros dispositivos por meio de dois fios, o canal “SDA” e “SCL”. Além desse processo de compatibilização, foram implementados métodos como o desligamento por software, desenvolvimento de servidor Bluetooth Low Energy - BLE, configurado o modo de baixo consumo (deep-sleep) do ESP32, soluções para garantir a reconexão e detalhes necessários para o bom funcionamento do sistema.

C. Aplicativo Android

Inicialmente às informações roteadas pelo sistema forma lidas com o auxílio de um aplicativo para plataforma Android denominado BLE Scanner [14]. Esse auxilia no escaneamento generalizado de servidores BLE. Devido a necessidade de um aplicativo de terceiros para a conversação sensor-usuário, foi desenvolvido de um aplicativo próprio para o sistema, tendo por finalidade uma maior praticidade para o usuário. Além disso, a partir do aplicativo foi possível implementar métodos de interação do sistema usuário com o sistema. O framework do MIT App inventor [15] foi utilizado para confecção do aplicativo. Essa plataforma foi escolhida devido a simplicidade da programação back-end por meio de blocos e ainda a

compatibilidade com funções do BLE no Android. Com isso foi possível receber os dados roteados pelo controlador diretamente em um aplicativo exclusivo para o presente projeto.

IV. RESULTADOS

Implementado para aprimorar estudos acerca da estimativa da taxa de batimentos cardíacos e níveis de oxigenação sanguínea, através da fotopletismografia, a Figura 5 é um registro fotográfico do sistema em funcionamento.

Vale ressaltar que os dispositivos usados para o protótipo inicial são ligeiramente diferentes da proposta final, pois devido a interface de gravação vinculada ao controlador ESP32-DEVKIT-V1, foi necessário usar um conversor *boost* para elevar a tensão da bateria e tornar a alimentação compatível, contornando a necessidade de extrair o controlador da sua interface.

Os dados de um teste de medição de frequência cardíaca e oximetria de pulso, efetuado no usuário, são apresentados respectivamente nas Figura 6 e 7. A medição consistiu em obter dados do usuário parado após um longo tempo em repouso, simulando a condição de uma situação com a ausência de esforço físico.

A oximetria é um dado que não sofre variações significativas, indicando que o usuário está com o nível de oxigenação normal.

Os resultados obtidos da medição instantânea são enviados ao aplicativo e apresentados no aparelho celular do usuário.

V. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível apresentar as etapas de desenvolvimento de um sistema simples. Esse sistema contribuirá para o aprimoramento nos estudos acerca da medição da taxa de batimentos cardíacos e oxigenação sanguínea por meio da fotopletismografia. Usando o microcontrolador ESP32, foi



Figura 5. Protótipo inicial. Fonte: Autoria própria (2020).

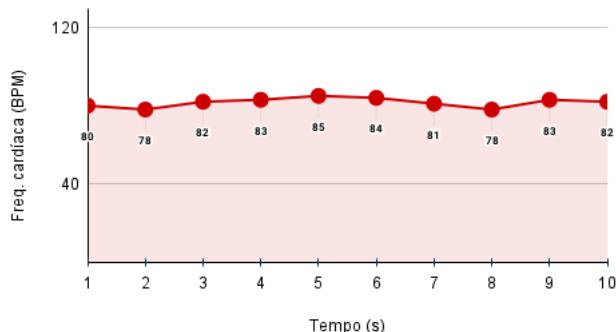


Figura 6. Medição do usuário. Fonte: Autoria própria (2020).

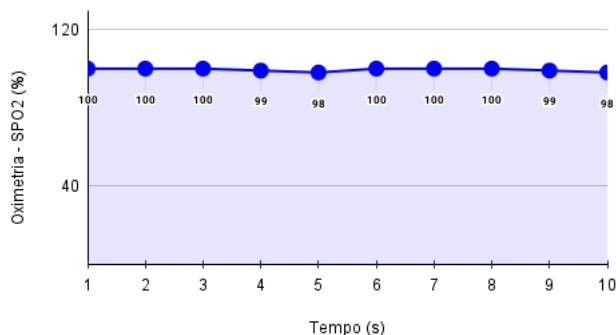


Figura 7. Medição do usuário. Fonte: Autoria própria (2020).

possível desenvolver o algoritmo necessário para a leitura correta das informações do sensor, bem como compartilhar as informações com o *smartphone* do usuário, via protocolo de transferência de dados Bluetooth Low Energy. Foi desenvolvido um aplicativo Android próprio com o objetivo de funcionar como a interface de conversação do usuário com o sistema.

De posse do protótipo inicial, fica a intenção da manutenção da continuidade do projeto tornando o protótipo base para trabalhos futuros. O ramo de inteligência artificial está evoluindo, e pode contribuir na análise e correlação dos dados.

REFERÊNCIAS

- [1] SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA et al. Cardiômetro: Mortes por doenças cardiovasculares no Brasil. Disponível em <http://www.cardiometro.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- [2] BENITTI, Daniel. Fotopletiografia. O cirurgião vascular, 2016. Disponível em: <https://www.ocirurgiaovascular.com.br/fotopletiografia/>. Acesso em: 25 fev. 2019.
- [3] ISLAM et al., The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey, in IEEE Access, vol. 3, pp. 678-708, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>. Acesso em: 25 fev. 2019.
- [4] GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [5] PELAEZ, Eduardo Aguilar; VILLEGAS, Esther Rodriguez. LED power reduction trade-offs for ambulatory pulse oximetry. In: 2007 29th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2007. p. 2296-2299.
- [6] K. Shelley and S. Shelley, Pulse Oximeter Waveform: Photoelectric Plethysmography, in Clinical Monitoring, Carol Lake, R. Hines, and C. Blitt, Eds.: W.B. Saunders Company, 2001, pp. 420-428.
- [7] JAWAHAR, Yousuf. Design of an Infrared based Blood Oxygen Saturation and Heart Rate Monitoring Device. Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster University Hamilton. Ontario, Canada, p.69. 2009.
- [8] STERLIN, Y. Specific problems in the development of pulse oximeters. Biomed. Eng., vol. 27, pp. 336-341, 11/01. 1993.
- [9] DI, Guowei; TANG, Xiaoying; Weifeng Liu. A Reflectance Pulse Oximeter Design Using the MSP430F149. Complex Medical Engineering, 2007. CME 2007. IEEE/ICME International Conference on, pp. 1081-1084, 2007.
- [10] SCHOENHERR, Steven E. The digital revolution. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20081007132355/http://history.sandiego.edu/gen/recording/digital.html>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- [11] HARARI, Yuval Noah. Sapiens. A Brief History of Humankind/Yuval Noah Harari. (2014)
- [12] MAGRANI, Eduardo. A internet das coisas. Editora FGV, 2018.
- [13] SOUZA, Pedro Henrique de Brito. Método para estimação da frequência cardíaca e variabilidade cardíaca com base em fotopletiografia por vídeo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília. Brasília, p. 154. 2019.
- [14] GOOGLE PLAY. BLE Scanner. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.macdom.ble.blescanner&hl=pt&gl=US>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- [15] MAXIM INTEGRATED. MAXREFDES#117: Heart-Rate and Pulse-Oximetry Monitor. Disponível em: <https://www.maximintegrated.com/en/design/reference-design-center/systemboard/6300.html>. Acesso em: 13 nov. 2020
- [16] MIT App inventor. Visual programming environment that allows everyone. Disponível em: <http://ai2.appinventor.mit.edu/>. Acesso em 12 nov. 2020.