

# CAPTAÇÃO DA PULSAÇÃO E ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA COM FPGA

## *PULSATION CAPTURE AND HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS WITH FPGA*

OLIVEIRA, Cleber de Lima<sup>1</sup>  
GOMES DE SOUZA, Antônio Henrique<sup>2</sup>  
LIMA, Marcos Antonio Dias<sup>3</sup>

**Resumo:** Este trabalho analisa a variabilidade da frequência cardíaca através da captação do sinal da pulsação cardíaca por um sensor eletrônico e processado eletronicamente pelos dispositivos *MyRIO (Reconfigurable I/O)* e *FPGA (Field Programmable Gate Array)* da *National Instruments NI*. No ambiente virtual foi utilizado o software *LabVIEW*, com objetivo de identificar e exibir o espectro do sinal para estudos diversos, relacionados ao comportamento das ondas. A análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (*heart rate variability ou HRV*) dos sinais é importante quando se estuda o sistema nervoso autônomo, pois ajuda a avaliar o equilíbrio entre as influências simpática e parassimpática no ritmo cardíaco, além de proporcionar um diagnóstico mais rápido e eficiente aos pacientes que possam vir a desenvolver doenças cardíacas. Os sinais captados são processados nos domínios do tempo e da frequência, e os parâmetros obtidos a partir do processamento são analisados quanto à sua variabilidade.

**Palavras-chave:** Captação de ECG; MyRio; FPGA; VFC.

**Abstract:** This work analyze the variability of the recesses frequency translation do signal Amendment issues of pulse problems by an electronic sensor and ton MyRIO device (reconfigurable i/o) FPGA (Field Programmable Gate Array) of National Instruments. Any virtual environment LabVIEW software notes, in order to identify and display the signal spectrum of several studies related to the behavior of the waves. An analysis of frequency variability (HRV OU variability cardiac) of the signals is important when studying nervous system because it helps to assess the balance between sympathetic and parasympathetic influences on heart rate, in addition to providing a diagnosis more quickly and efficiently to the patients are likely to develop heart disease. The signals were processed in the time and the frequency domain, and the parameters obtained from the processing are being examined as to its variability.

**Keywords:** EKG; MyRio; FPGA; HRV.

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista – Universidade Santa Úrsula - cleberfast@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro de Automação – Universidade Santa Úrsula - antoniohen@yahoo.com.br

<sup>3</sup> MSc em Engenharia Biomédica, Engenheiro Eletrônico – Universidade Federal do Rio de Janeiro – marcos.lima@usu.edu.br

## **1. INTRODUÇÃO**

O estresse, estado emocional presente na vida da maioria das pessoas do mundo moderno, pode gerar variações no ritmo ou na frequência cardíaca, ocasionando doenças como a arritmia, que é quando há anormalidade na variação do ritmo ou da frequência cardíaca. O constante convívio com situações estressantes e os níveis de adrenalina elevados ocasionam "disparos" elétricos no coração, e estes viram contrações prematuras, que podem se perpetuar e até substituírem o ritmo normal do coração por ritmos aleatórios. Diante disso, muitos problemas têm sido justificados por esse distúrbio, que tem resposta equivalente no sinal da pulsação cardíaca (DI 97). O trabalho apresentado tem como objetivo reconhecer as anomalias presentes nos sinais adquiridos por oximetria por um sensor eletrônico, o processamento dos sinais pelo MyRio FPGA e da análise da VFC feita no software LabVIEW, ambos da NATIONAL Instruments (NI).

## **2. SISTEMA CARDIOVASCULAR**

A função básica do sistema cardiovascular é a de levar material nutritivo e oxigênio às células. O sistema circulatório é um sistema fechado, sem comunicação com o exterior, constituído por tubos, que são chamados vasos, e por uma bomba percussora que tem como função impulsionar um líquido circulante de cor vermelha por toda a rede vascular. O sistema cardiovascular consiste no sangue, no coração e nos vasos sanguíneos. Para que o sangue possa atingir as células corporais e trocar materiais com elas, ele deve ser constantemente propelido ao longo dos vasos sanguíneos.

### **2.1 O Coração**

O coração, principal estrutura do sistema cardiovascular, divide-se em quatro cavidades: dois átrios e dois ventrículos. Os átrios recebem o sangue do interior do organismo e o impulsionam aos ventrículos que propulsionam o sangue que recebem a todo o corpo. Por sua função de bombeamento, o coração está provido de válvulas que, ao fecharem-se hermeticamente, evitam o retrocesso do sangue.

### **2.2 A atividade elétrica do coração**

O estímulo elétrico do coração origina-se automaticamente no nodo sinoatrial e, a partir dela, propaga-se pelo miocárdio atrial atingindo o nodo atrioventricular, de onde ganha o tecido especializado condutor dos ventrículos, representado pelo feixe de "His" e seus ramos e sub-

ramos direito e esquerdo, terminando no sistema de “Purkinje” e ativando sequencialmente toda a musculatura ventricular numa direção e sentido bem definidos (CARDIOS).

### 2.3 Sistema de Controle do coração

Um sistema de controle é definido como uma interligação de componentes formando um sistema que irá proporcionar uma resposta desejada do sistema. O sistema de controle da Frequência Cardíaca (FC) é um sistema de controle de realimentado. Esse controle da atividade cardíaca se faz tanto de forma intrínseca como também de forma extrínseca.

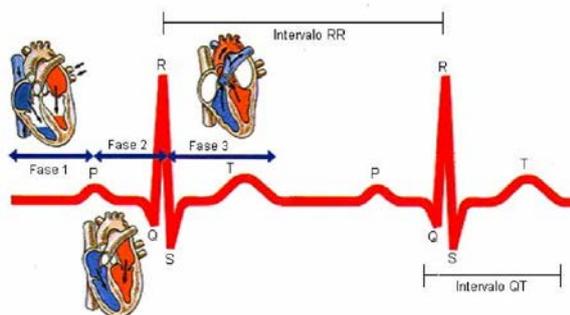
O controle intrínseco diz respeito à regulação que sofre o coração sem influência externa. O controle extrínseco, diz respeito às influências externas que agem sobre o coração e consequentemente irá produzir um acréscimo ou decréscimo em sua Frequência Cardíaca.

### 2.4 Eletrocardiograma

À medida que a excitação percorre o coração, correntes elétricas fluem não apenas pelo coração, mas também pelos tecidos circunvizinhos e uma fração desta corrente atinge a superfície do corpo. O fluxo de correntes acarreta uma diferença de potencial entre diferentes áreas do corpo. Esta diferença pode ser medida por meio de eletrodos aplicados à pele, em localizações pré-definidas, e expressa o denominado eletrocardiograma (ECG) que, assim, pode ser definido como o registro gráfico da atividade elétrica do coração captada ao longo do tempo na superfície corporal. A sequência de eventos repetitivos de contração (despolarização) e relaxamento (repolarização) dos músculos dos átrios e ventrículos, durante o ciclo cardíaco, gera eventos característicos. Tais eventos são identificados no ECG e denominados ondas P, Q, R, S e T, além de intervalos e segmentos derivados das mesmas. (MARTINS 14)

Parâmetros de um sinal de ECG mostrado na figura 1.

Figura 1. Traçado do ECG normal. Fonte: LAVITOLA, 2001.



## 2.4 Oximetria de pulso

Oximetria de pulso com curva pletismográfica depende a mudança fracionária na absorção da luz devido a pulsações arteriais (365 SAÚDE 20.). Em uma configuração típica, a luz em dois comprimentos de onda diferentes iluminando um dos lados do tecido (por ex., um dedo) será detectado no mesmo lado (modo de refletância) ou do lado oposto (modo de transmissão) após atravessar os tecidos vasculares entre a fonte e o detector. Quando a ponta do dedo é simplificada como um volume hemisférico que é uma mistura homogênea de tecidos e sangue (arterial e venoso), a intensidade da luz detectada é descrita pela lei de Beer-Lambert descrita na equação (1)

$$I_t = I_0 \left( e^{-\mu_{at}I} \right) \left( e^{-\mu_{av}V} \right) \left( e^{-\mu_{aa}A} \right) \quad (1)$$

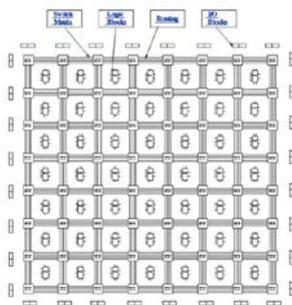
Onde  $I_0$  é a intensidade da luz incidente,  $I_t$  é a intensidade da luz detectada pelo fotodetector e  $\mu_{at}$ ,  $\mu_{av}$  e  $\mu_{aa}$  são os coeficientes de absorção da camada de tecido sem derramamento de sangue, de sangue venoso e de sangue arterial, respectivamente, em unidades de  $cm^{-1}$  (TAMURA 18).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

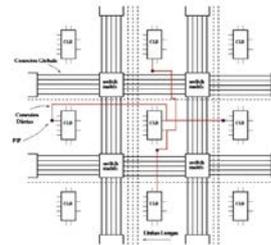
### 3.1. TECNOLOGIA FPGA

O FPGA é um dispositivo que consiste em um grande arranjo de células lógicas ou blocos lógicos configuráveis contidos em um único circuito integrado e possibilita a implementação de circuitos lógicos relativamente grandes. Cada célula contém capacidade computacional para implementar funções lógicas e realizar roteamento para comunicação entre elas (COSTA 13). Apresentado na figura 2.

Figura 2.: FPGA. (a): Estrutura física e (b): de roteamento



(a)



(b)

### 3.1.1 NI My-RIO-1900 e Labview

O National Instruments MyRIO-1900 é um dispositivo reconfigurável portátil I/O (RIO) com o processamento de tempo real do ARM® Cortex™-A9 Dual-Core e as E/S customizáveis do Xilinx FPGA para implementar projetos de processamento de sinais, controle, robótica e sistemas mecatrônicos. O NI Myrio-1900 fornece 10 entradas, 6 saídas analógicas, 40 linhas de E/S digital e I/O de áudio tudo em um dispositivo incorporado compacto.

O National Instruments LabVIEW 2014 permite, através do dispositivo myRIO, a análise e interpretação virtual através da construção de instrumentos virtuais tais como indicadores gráficos analógicos e/ou digitais. Possibilita também a criação de interfaces amigáveis muito semelhantes a painéis de máquinas, podendo ser utilizado como uma interface homem-máquina. Desta forma, por ser muito similar aos instrumentos reais, os programas em LabVIEW são chamados de Virtual Instruments (V.I's).

## 3.2 PROJETO DE CAPTAÇÃO E DIAGNÓSTICO DO SINAL DA PULSAÇÃO CARDÍACA

Para a completa interação do estudo dos sinais no ambiente LabVIEW, foi implementado um software capaz de fazer a preparação do sinal adquirido, com objetivo de deixar o sinal de forma adequada para ser analisado pelo software e assim facilitar no desenvolvimento dos diagnósticos de variabilidade da frequência cardíaca. Esta etapa visa analisar a variabilidade da frequência cardíaca de um paciente em momento de relaxamento ou repouso, com o mesmo sendo submetido ao estresse.

A figura 3 mostra sequencialmente as etapas realizadas para desenvolvimento do projeto. Na primeira, denominada "Captação", ocorre a aquisição do sinal feita por um sensor eletrônico, chamado "Pulse Sensor". Na segunda, chamada de "Filtragem", são aplicados filtros digitais de primeira ordem e na quarta, o "Armazenamento", é feita a armazenagem do sinal. Nesta última, este sinal é analisado no software do módulo "Biomedical" do LabVIEW, que tem funções para registrar os intervalos dos batimentos cardíacos, calcular os valores dos índices estatísticos e assim indicar condição regular ou presença de estresse nos batimentos cardíacos do paciente.

### 3.2.1. Captura da pulsação cardíaca

A captura do sinal é feita pelo "Pulse Sensor", um sensor de frequência cardíaca *plug-and-play*. A frente do sensor tem um logotipo do coração, indicando o lado que entra em contato

com a pele. Na frente há um orifício redondo onde tem um LED e próximo dele tem um sensor de luz ambiente.

O hardware do “Pulse sensor”, mostrado na figura 3, utiliza um filtro e um amplificador para aumentar a amplitude da onda de pulso e normalizar o sinal em torno de um ponto de referência para ter uma melhor resposta quando o “Pulse Sensor” estiver em contato com o dedo. A variação da tensão ocorre quando o sangue é bombeado pelas artérias e isso ocorre devido a oxigenação do sangue. O MyRio FPGA observa o sinal analógico do “Pulse Sensor” e detecta essa flutuação da pulsação inserida na entrada analógica. Quando essa flutuação chega em seu ponto de pico, é o momento em que os tecidos capilares se bateram com uma onda de sangue rico em oxigênio. Então, quando o sinal cai abaixo do ponto médio, é o momento em que retorna pelas veias até que o sangue retorna com o próximo pulso e é gerado um novo pico de tensão.

Figura 3 - Fluxograma do Projeto. Fonte NI



Figura 4 - Sensor de pulso em (a): visão ampliada e (b): internamente como funciona.



### 3.2.2 PAINEL FRONTAL

No painel frontal do V.I. de gravação, foi adicionado um display virtual gráfico para mostrar os sinais que estão entrando pela entrada analógica e mais dois botões, um para a gravação do sinal e o outro para parar o processo de gravação. Após 60 segundos, a gravação foi parada e foi criado um arquivo com os dados do sinal para ser filtrado. Apresentado na figura 5.

### 3.2.3 PROCESSAMENTO DO SINAL

Geralmente, quando um sinal é capturado, ele vem com muitos ruídos que acabam distorcendo-o e conseqüentemente prejudicando a etapa final do projeto. Para o processamento do sinal foi feito um V.I., como mostra na figura abaixo, nele há um While Loop, temporizado em 5 segundos e com quatro blocos de função, um para ler o sinal ruidoso, outro com um filtro passa-alta para eliminar os ruídos de linha de base e um filtro passa-baixa para eliminar a interferência da frequência da rede elétrica (60Hz), além de um bloco de gravação para o sinal filtrado e pronto para ser analisado. Abaixo o resultado do processo de filtragem da pulsação cardíaca é apresentado na figura 6.

Figura 5 - V.I. de Gravação do sinal filtrado. Fonte: Própria.

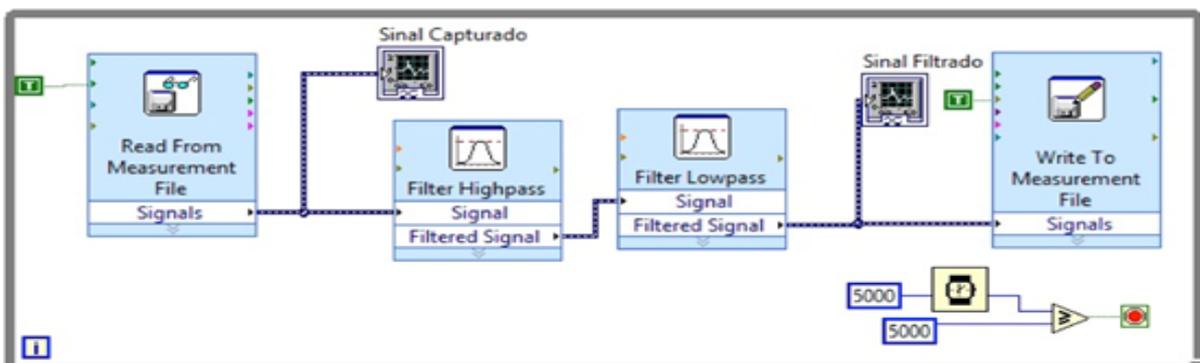
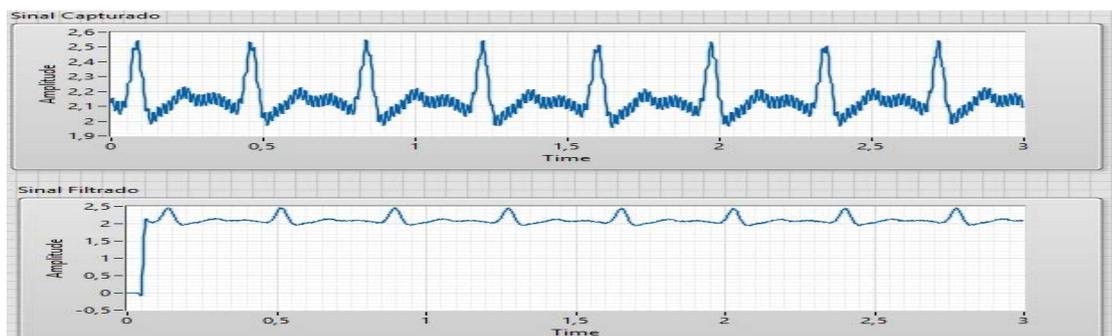


Diagrama de bloco do Processamento.

Figura 6 - Sinal capturado x Sinal filtrado. Fonte: Própria



### **3.2.4. ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA PELO LABVIEW.**

O LabVIEW traz uma ferramenta que ajuda para fornecer os diagnósticos: o “Biomedical Workbench”. Essa ferramenta fornece o "HRV Analyzer", para extrair o que se apresenta convenientemente para a análise da VFC. Como foi dito, a frequência cardíaca de uma pessoa é afetada por vários fatores e entre os mais importantes estão: sexo, idade, peso, domínio das emoções, medicamentos utilizados e o nível de atividade. Essas atividades podem alterar a frequência cardíaca em um curto espaço de tempo. A frequência pode cair para 40 bpm durante o sono, enquanto podem ter um pico de 120 até 200 bpm quando um indivíduo está em movimento ou quando ele pratica um esporte que exige muito esforço físico. Inclusive sob estresse, o batimento cardíaco também pode chegar até esses picos mais elevados. Além do valor da frequência cardíaca, no domínio do tempo, há um índice que indica o risco do paciente desenvolver uma cardiopatia é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos de pulsos (RMSSD). São eles:

- Alto risco de cardiopatia para RMSSD menor que 15ms;
- Baixo risco de cardiopatia para RMSSD entre 15ms e 39ms;
- Normalidade para RMSSD maior que 39ms.

No domínio da frequência, Utiliza-SE a densidade espectral, que estuda a distribuição da potência (variância) em função da frequência. Com a aplicação da transformada rápida de Fourier (FFT), são delimitadas três faixas de frequências distintas (componentes espectrais): alta frequência (0,15 a 0,40 Hz), modulada pelo sistema nervoso parassimpático, gerada pela respiração; baixa frequência (0,04 a 0,15 Hz) e muito baixa frequência (0,01 a 0,04 Hz), moduladas no sistema nervoso simpático e parassimpático.

De acordo com a distribuição da densidade espectral é possível visualizar o que o coração sofre durante o tempo da análise. Após o sinal filtrado ser gravado, ele é carregado no "HRV Analyzer" para serem fornecidos os resultados dos sinais de pulsação normal e o submetido com estresse.

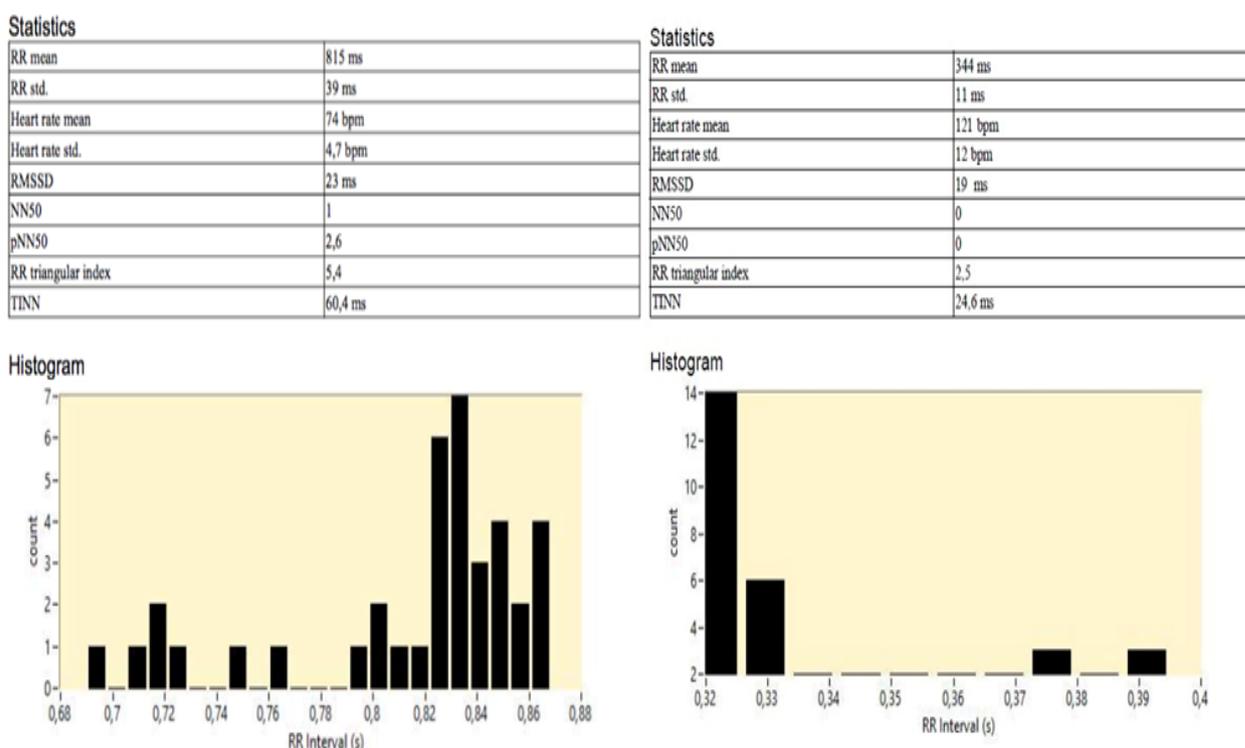
## **4. RESULTADOS FINAIS**

Após serem escolhidos, os arquivos são carregados pelo software e os resultados serão mostrados instantaneamente pelo software.

A seguir são mostrados na figura 7 os resultados no domínio do tempo com um histograma de cada sinal e no domínio da frequência com um espectro de FFT de cada sinal.

Nos Espectros de FFT, também é visto claramente através das distribuições ao longo das três componentes espectrais alta frequência (HF), baixa frequência (LF) e muito baixa frequência (HLF) em cada um dos casos. Na pessoa em estado normal a densidade espectral de potência está mais distribuída ao longo das três componentes espectrais, HF, LF e HLF do que ela sob estresse pois a densidade espectral de potência está concentrada nas componentes LF e HLF.

Figura 7. Resultados no domínio do tempo com um histograma de cada sinal e no domínio da frequência com um espectro de FFT. Fonte: Própria.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo feito sobre os modelos de sistemas de controle do coração (intrínsecos e extrínsecos com destaque para este último), vistos no capítulo dois deste trabalho, se mostrou de extrema importância para um claro entendimento e esclarecimento de como se dá a variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Pode-se ver que dependendo de diversas informações de realimentação recebidas, o Sistema Nervoso Autônomo (SNA) através das inervações simpáticas e parassimpáticas ou vagais podem atuar no coração, causando hora aumento (taquicardia), hora decréscimo (bradicardia) da Frequência Cardíaca. Como já visto antes, na verdade em situações normais (sem estresse) existe um equilíbrio entre esses dois

sistemas, com uma leve predominância do Parassimpático, gerando assim uma frequência cardíaca em torno de 70 a 80 BPM (GISLER).

O estudo da VFC é uma forma de avaliar, de forma não invasiva, a influência que o sistema simpático e o parassimpático exercem na atividade elétrica cardíaca. Tem sido referido na literatura que a VFC tende a sofrer uma redução com o envelhecimento, e está relacionada com a maior probabilidade da incidência das doenças cardiovasculares que são as principais causas de morte e responsáveis pelos altos gastos em saúde pública (TOBALDINI 13). Um indivíduo constantemente submetido ao estado de estresse apresenta mudanças abruptas no ritmo cardíaco, desequilíbrio entre a atividade simpática e parassimpática, o que o torna mais propenso a desenvolver uma cardiopatia, como observado por (ANDRE).

A tecnologia do NI MyRio FPGA com a captação do sinal de pulsação pelo “Pulse Sensor” e toda a ferramenta de processamento de sinal do software LabVIEW, foram imprescindíveis para o desenvolvimento do projeto, por facilitar a manipulação dos dados do sinal e por fornecer os valores precisos para a elaboração dos diagnósticos, ajudando na inicialização de um possível tratamento imediato, para o caso do paciente tender ou apresentar uma disfunção cardíaca, como demonstrado por (VALDIVIESO 11).

Além de tudo disso, os resultados finais fornecem informações mais detalhadas ao médico sobre o seu paciente. Desta forma, o objetivo do trabalho foi contribuir com a área da saúde, integrando a aplicação dos conhecimentos de engenharia.

## REFERÊNCIA

365 SAÚDE. *A História da Oximetria de Pulso*. Disponível em: <http://www.365saude.com.br/pt-healthcare-industry/pt-healthcare-management/1009091778.html>. Acesso em 01 de agosto de 2020.

ANDRE E. Aubert, BERT Seps and FRANK Beckers. *Heart Rate Variability in Athletes*. Disponível em: [http://www.uni.edu/dolgener/cardiovascular\\_phys/Electronic%20Articles/HR%20Variability%20in%20Athletes.pdf](http://www.uni.edu/dolgener/cardiovascular_phys/Electronic%20Articles/HR%20Variability%20in%20Athletes.pdf). Acesso em 15 de Maio de 2016.

CADIOS - Equipamentos Avançados em Holter e MAPA. *Variabilidade da Frequência Cardíaca*. Disponível em: [http://www.cardios.com.br/noticias\\_detalhes.asp?idNoticia=223&IdSecao=9&IdTipoNoticia=7](http://www.cardios.com.br/noticias_detalhes.asp?idNoticia=223&IdSecao=9&IdTipoNoticia=7). Acesso em 01 de Agosto de 2020.

COSTA, C. *Projetos de circuitos digitais com FPGA*. 3ª. ed. Brasil: Érica, 2013. 226p.

DI, Rienzo M. *Frontiers of Blood Pressure and Heart Rate Analysis*. Studies in Health Technology and Informatics, 35. Ed. IOS. 1997.

EUROPE SOCIETY OF CARDIOLOGY: *Heart rate variability*. Disponível em [http://www.escardio.org/guidelines-surveys/esc-guidelines/Scientific\\_Statements/Documents/guidelines-Heart-Rate-Variability-FT-1996.pdf](http://www.escardio.org/guidelines-surveys/esc-guidelines/Scientific_Statements/Documents/guidelines-Heart-Rate-Variability-FT-1996.pdf). Acesso em 24 de nov. de 2015.

GISLER, Stefan. *Modelling and control of the human cardiovascular system*. ETH Zurich Research Collection (Master Thesis) Disponível em: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:5509/eth-5509-01.pdf>. Acesso em 01 de Agosto de 2020.

MARTINS, Clayton S., MARIANA A. *Captação do eletrocardiograma e análise da variabilidade cardíaca*. TCC (Graduação em engenharia) - Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, 2014.

NATIONAL INSTRUMENTS CORP. *Labview national instruments*. USA. 2015. 96p. Disponível em: <<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/pt>> Acesso em: 9 jun. 2015

NATIONAL INSTRUMENTS CORP. *User Guide And Specifications*. Brasil. 2013. 150p.

NATIONAL INSTRUMENTS CORP. *Using LabVIEW for Heart Rate Variability Analysis*. Disponível em: <http://www.ni.com/example/30832/en>. Acesso em 2 de março de 2016.

TAMURA T., MAEDA Y. *Photoplethysmogram*. In: Tamura T., Chen W. (eds) *Seamless Healthcare Monitoring*. Springer, (2018) Ch. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69362-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69362-0_6)

TOBALDINI, Eleonora, NOBILI, Lino, STRADA, Silvia, CASALI, Karina R., BRAGHIROLI, Alberto and MONTANO, Nicola. *Heart rate variability in normal and pathological sleep*. *Front. Physiol.*, 16 October 2013. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00294>

VALDIVIESO, Alher Mauricio Hernández, SÁNCHEZ, María Bernarda Salazar, HIGUITA, David Alexander Urrego, CASTELLÓ, Ramon Costa, VILLANUEVA, Miguel Ángel Mañanas. *Virtual laboratory for simulation and learning of cardiovascular system function in BME studies*. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia* no.60 Medellín Oct./Dec. 2011