

## Proposta de um Oscilador Eletrônico Microcontrolado para o estudo da Dinâmica dos Batimentos Cardíacos

### Proposal of an Microcontrolled Electronic Oscillator for the study of Heartbeat Dynamics

#### RESUMO

**Pedro Henrique Dreveniacki**  
[pedrodreveniacki@gmail.com](mailto:pedrodreveniacki@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**María Eugenia Dajer**  
[eugedajer@gmail.com](mailto:eugedajer@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

A análise dos batimentos cardíacos via eletrocardiograma (ECG) é uma questão importante na cardiologia, visto que, algumas patologias são identificadas pela observação de alterações nos padrões desse exame. Nesse sentido, a ciência vem buscando alternativas para a compreensão das variáveis envolvidas na dinâmica dos batimentos cardíacos, tal que vários modelos matemáticos conceituais vêm sendo propostos na tentativa de explicar esses ritmos. Em geral, esses modelos são constituídos por osciladores de relaxação acoplados baseados na equação de Van der Pol (VdP). Este projeto visa a simulação de circuitos eletrônicos baseados essencialmente em um conjunto de microcontroladores e amplificadores operacionais que implementem determinados modelos de osciladores. Tais modelos implementados eletronicamente terão um sinal mais próximo ao de um coração natural do que a forma de onda da equação matemática em si, uma vez que assim como variações e imperfeições existem em um órgão, podem existir também nos circuitos eletrônicos. A validade do oscilador poderia ser comprovada a partir da semelhança entre o sinal de saída do oscilador e exames de ECG retirados de base de dados como a *Physionet*. Apesar do objetivo não ter sido alcançado, a partir do ponto de vista da hipótese inicial do trabalho, pode-se redefinir uma nova conjectura que possibilite o desenvolvimento de um oscilador que crie um sinal análogo ao gerado pelo coração humano. Então esse novo oscilador venha à auxiliar na compreensão dos ritmos cardíacos e futuramente contribuir nos estudos relacionados às patologias associadas a comportamentos caóticos dos batimentos como, por exemplo, as sérias fibrilações ventriculares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia Biomédica. Osciladores eletrônicos. Dinâmica dos batimentos cardíacos.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

Electrocardiogram (ECG) heartbeat analysis is an important issue in cardiology, as some pathologies are identified by observing changes in the patterns of this test. In this sense, Science has been seeking alternatives for understanding the variables involved in the dynamics of the heartbeat, such that several conceptual mathematical models have been proposed in an attempt to explain these rhythms. In general, these models consist of coupled relaxation oscillators based on the Van der Pol equation (VdP). This project aims to simulate electronic circuits based essentially on a set of microcontrollers and operational amplifiers that implement certain oscillator models. Such electronically implemented models will have a signal closer to that of a natural heart than the pure mathematical equation waveform itself, since all the variations and imperfections that exist in an organ exist in electronic circuits as well. The validity of the oscillator could be proven from the similarity between the oscillator output signal and ECG exams taken from a database such as *Physionet*. Although the objective has not been achieved, from the point of view of the

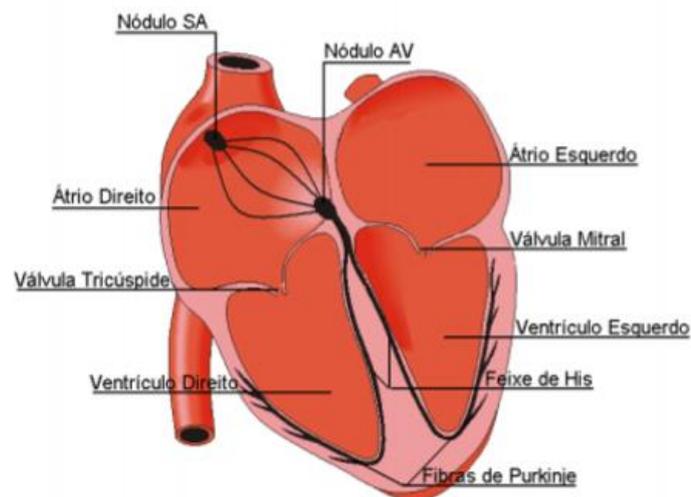
initial hypothesis of the work, a new conjecture can be redefined that enables the development of an oscillator that creates a signal analogous to that generated by the human heart. So this brand new oscillator will help in understanding heart rhythms and in the future contribute to studies related to pathologies associated with chaotic beating behaviors, such as serious ventricular fibrillations.

**KEYWORDS:** Biomedical engineering. Electronic oscillators. Heartbeat dynamics.

## INTRODUÇÃO

O coração é um órgão por quatro compartimentos, sendo dois átrios e dois ventrículos que são ativados por estímulos elétricos. Em outras palavras podemos definir o órgão como um sistema complexo, formado pelo nódulo sinoatrial (SA), nódulo atrioventricular (AV) e o feixe de His-Purkinje, de acordo com Gois e Savi (2009). Na Figura 1 pode-se ver uma representação esquemática de um coração humano.

Figura 1 – Esquema do coração humano



Fonte: Gois e Savi (2009)

Matematicamente falando, a dinâmica dos batimentos cardíacos é analisada por modelos e também por meio de técnicas de processamento de sinais. Com relação aos modelos, o primeiro deles foi proposto em 1928 por Van der Pol e Van der Mark, e também foi introduzida a ideia da possibilidade da utilização de circuitos eletrônicos de forma correlacionada com o estudo de retificadores a base de válvulas tipo tríodo, conforme Viana (2011).

A equação original de Van der Pol (VdP) data de 1926 e foi usada no primeiro modelo matemático cardíaco, já o modelo utilizado neste trabalho é uma modificação do modelo original proposta por Grudzinski e Zebrowski (2004), em caso de êxito neste modelo modificado se implementaria um modelo ainda mais

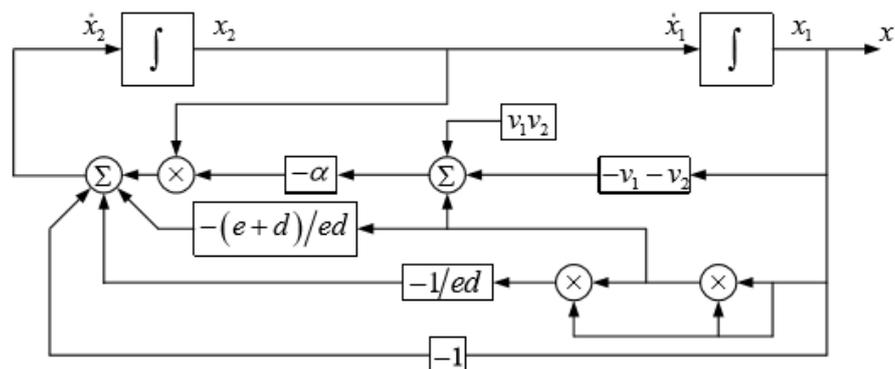
completo formado por três osciladores de Van der Pol modificados (mVdP) feito por Gois e Savi (2009).

O objetivo do trabalho é simular o oscilador eletrônico do modelo mais completo possível iniciando no modelo mVdP, tais osciladores seriam sistemas embarcados utilizando a plataforma de prototipagem Arduino e amplificadores operacionais, isso pois a parte analógica do circuito é o que implementaria mais naturalidade ao oscilador do que o feito em um software como o Simulink.

## MATERIAL E MÉTODOS

O método implementado para o desenvolvimento do oscilador eletrônico é a simulação através do software Proteus, que reúne diversos componentes eletrônicos para simulação. Além do Proteus outro software usado foi o Simulink, no qual a equação mVdP foi esquematizada em blocos e com o auxílio dela tais blocos de operações matemáticas foram se tornando conjuntos componentes eletrônicos. A esquematização do modelo mVdP foi finalizada conforme a Figura 2.

Figura 2 – mVdP simulink



Fonte: Autoria própria (2019)

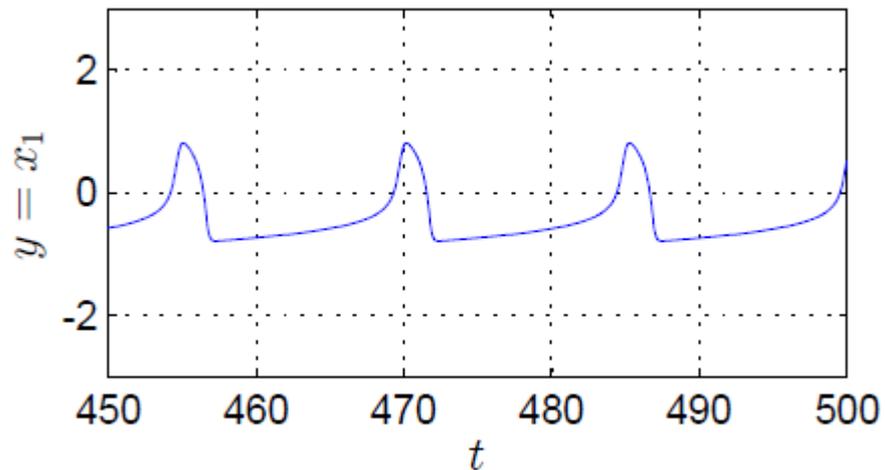
Para possibilitar a simulação no Proteus foram adicionados blocos de captura da forma de onda em diferentes pontos do esquema. Foi usado o Simulink para garantir que em nenhum momento os valores ultrapassassem o limiar esperado e dentro da simulação no Proteus isso não afete os componentes saturando-os, como por exemplo os amplificadores operacionais.

O modelo de oscilador é eletronicamente composto por uma parte de amplificadores operacionais e uma parte por microcontroladores. Este modelo foi dividido em blocos de integrais por amplificadores e o resto pelo Arduino que foi escolhido como microcontrolador. Todavia, alguns componentes tiveram que ser adicionados: um conversor digital-analógico (DAC) para transformar a saída do Arduino para os amplificadores e um osciloscópio para visualizar a saída completaram os equipamentos necessários dentro da simulação.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

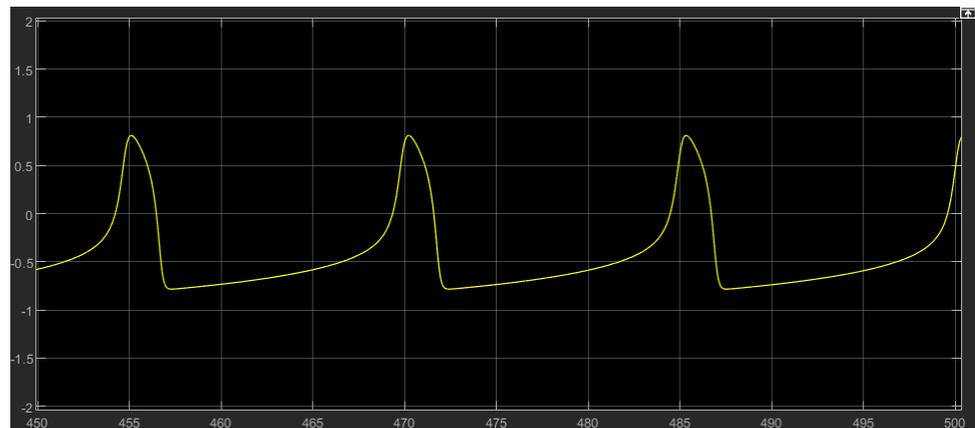
O sinal que se esperava na saída do oscilador no Simulink era o exemplificado na Figura 3, e o sinal obtido foi o da Figura 4, pela semelhança entre as imagens pode-se concluir que o resultado foi satisfatório.

Figura 3 – Sinal mVdP referência



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 4 – Sinal Resultante (mVdP Simulink)

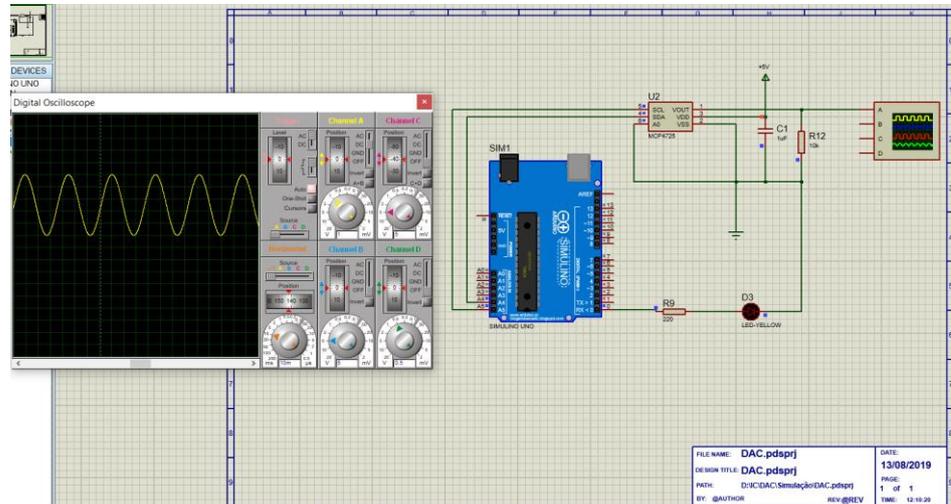


Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma todos os outros valores obtidos de outras partes do esquema no Simulink são válidos para referência e o desenvolvimento do circuito dentro do Proteus. Nele iniciou-se a próxima etapa, baixando e instalando a biblioteca *Simulino*, onde são disponibilizadas algumas placas da linha Arduino para simulação. Em este trabalho utilizou-se o modelo Arduino Uno, para testar a placa é necessário realizar a compilação do código na IDE (*Integrated Development Environment*) e exportar o arquivo binário para ser utilizado no *Simulino*. Para testar

o *Simulino* e também o DAC foi utilizado um programa que gera um sinal senoidal, a simulação pode ser visualizada na Figura 5.

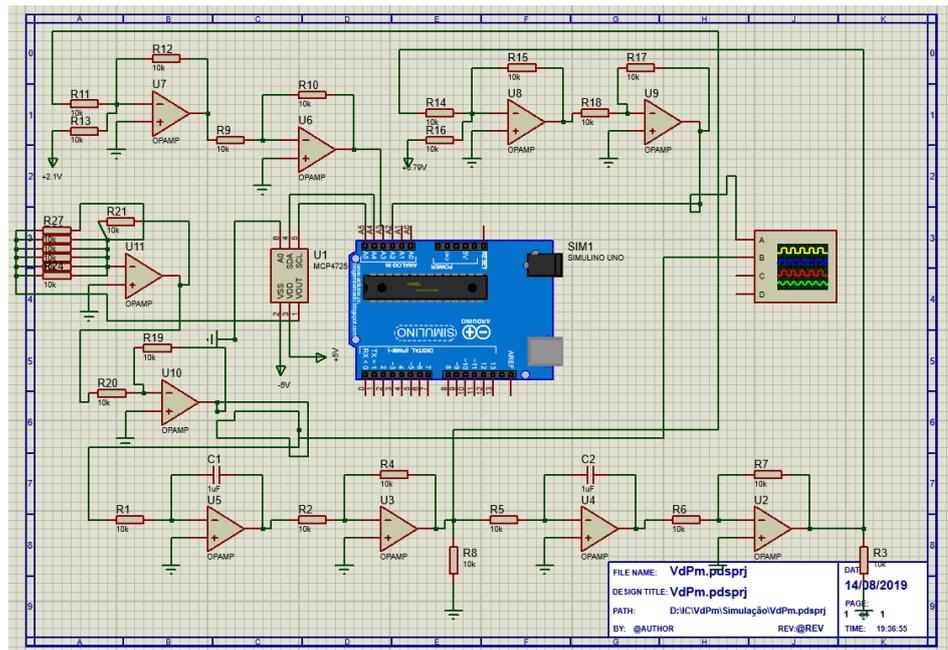
Figura 5 – Simulação do teste Arduino e DAC



Fonte: Autoria própria (2019)

Os próximos resultados foram logrados devido à implementação dos amplificadores e alterando o firmware para realizar os cálculos do modelo matemático. Fazendo várias alterações e diversos testes foram obtidos diferentes cenários na saída, porém o mais comum foi a saturação dos componentes medidos, no caso os amplificadores integradores e o DAC. Em alguns poucos casos isso não ocorreu, porém o que acontecia era uma oscilação não periódica desconhecida, sendo que ela só ocorria de forma contínua por conta dos amplificadores, já que na saída do DAC era lido um sinal quadrado de diferentes amplitudes. Na Figura 6 pode ser visto o último circuito realizado, alguns amplificadores foram usados para aumentar multiplicar o sinal, invertê-lo e também somar um *offset* cujo valor era baseado em resultados obtidos da simulação no Simulink.

Figura 6 – Simulação oscilador eletrônico mVdP



Fonte: Autoria própria (2019)

## CONCLUSÃO

A hipótese sugerida para a falha na simulação são os vários fatores que deixaram a simulação em si muito lenta, mesmo nos testes iniciais o Proteus fazia a simulação de forma atrasada em relação ao tempo real, ou seja, um segundo do mundo real era mais rápido que um segundo no tempo do Proteus. Isso aliado ao considerável número de componentes e o cálculo que o Arduino é responsável fez com que o oscilador não operasse como desejado.

Portanto, o ideal seria desenvolver aos poucos o oscilador eletrônico fisicamente e não computacionalmente. Como são equipamentos não tão caros pode-se tornar viável a sua implementação. Além de que para trabalhos futuros novos modelos matemáticos, mais simples e atualizados, podem ser utilizados ao invés dos modelos mais clássicos como os usados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

GOIS, S. R. F. S. M.; SAVI, M. A. An Analysis of Heart Rhythm Dynamics using a ThreeCoupled Oscillator Model. *Chaos, Solitons and Fractals*, Elsevier, v. 41, n. 5, p. 2553–2565, 2009.

GRUDZINSKI, K.; ZEBROWSKI, J. J. Modeling Cardiac Pacemakers with Relaxation Oscillators. *Physica A*, Elsevier, v. 336, n. 1, p. 153–162, 2004.

POL, B. Van der; MARK, J. Van der. The Heartbeat Considered as a Relaxation Oscillator and an Electrical Model of the Heart. The London, Edinburgh and Dublin Physiological Magazine and Journal of Science, v. 6, p. 763–775, 1928.

VIANA, R. L. Oscilações de Relaxação e suas Aplicações - II. Revista Brasileira de Ensino de Física, SBF, v. 33, n. 3, p. 3305, 2011.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.