

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RUAN OLSEN

DESENVOLVIMENTO DE UM ELETROCARDÍOGRAFO PORTÁTIL DE BAIXO
CUSTO COM SEIS DERIVAÇÕES, TELEMETRIA VIA BLUETOOTH E
VISUALIZAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE UM APLICATIVO MÓVEL

CURITIBA

2025

RUAN OLSEN

DESENVOLVIMENTO DE UM ELETROCARDIOGRAMA PORTÁTIL DE BAIXO
CUSTO COM SEIS DERIVAÇÕES, TELEMETRIA VIA BLUETOOTH E
VISUALIZAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE UM APLICATIVO MÓVEL

Relatório Final do Trabalho de Conclusão de
Curso I apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro Eletricista, Curso
de Graduação em Engenharia Elétrica, Ênfase em
Sistemas Eletrônicos Embarcados, Setor de
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz

CURITIBA

2025

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVOS	5
2.1	OBJETIVOS GERAIS	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1	INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS APRESENTADOS	7
3.1.1	Engenharia Biomédica	7
3.1.2	Atividade Elétrica no Coração	7
3.1.3	A Origem do Eletrocardiógrafo Clínico	8
3.1.4	Derivações	12
3.2	ESTADO DA ARTE	13
3.2.1	Custo e Acessibilidade	16
3.2.2	Justificativa para o Desenvolvimento do Protótipo	17
3.3	TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO DESENVOLVIMENTO	17
3.3.1	Microcontrolador ESP32	17
3.3.2	Amplificador de Instrumentação INA333	18
3.3.3	Flutter	18
3.3.4	Outros	18
4	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO	19
5	RECURSOS NECESSÁRIOS	21
6	RESULTADOS PRELIMINARES	22
7	RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS	23
8	POTENCIAL MERCADOLÓGICO DO PROJETO	24
9	CRONOGRAMA	25
10	BIBLIOGRAFIA	26

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, temos utilizado dispositivos eletrônicos nas mais diversas áreas. Se tratando da área médica, o desenvolvimento de dispositivos que permitam o monitoramento de diversos sinais biológicos, o implante de equipamentos para auxiliar ou até substituir a função de alguns órgãos e o desenvolvimento de próteses eletromecânicas avançadas vem aumentando em muito a qualidade de vida do ser humano. Entretanto, a natureza de tais aplicações faz com que a implementação delas tenha um alto custo, pois requer alta confiabilidade do dispositivo, precisão nos dados e segurança para o usuário.

Áreas especializadas na união da tecnologia com a medicina, como a engenharia biomédica, aplicam e aprimoram inovações de diversas indústrias para o benefício humano. Evoluções em técnicas de impressão 3D permitem a modelagem de próteses nos mais variados formatos. O uso de inteligência artificial como ferramenta facilita o diagnóstico precoce ao reconhecer padrões complexos ou até indetectáveis a olho nu, enquanto o desenvolvimento de novos materiais sintéticos biocompatíveis permitem a realização de tratamentos com mínimo risco de rejeição.

Muitas vezes, o desenvolvimento tecnológico de um setor é consequência de um aumento na demanda por seus produtos, o que gera investimentos em pesquisa e desenvolvimento - seja por órgãos governamentais, para suprir a demanda, ou por entidades privadas, por oferecer potencial de lucro. Recentemente, a demanda por equipamentos médicos vêm aumentando e, das razões para que isto aconteça, destaca-se um fator: o envelhecimento da população global.

Idosos, em geral, necessitam de mais cirurgias e acompanhamentos médicos, sejam estes através de consultas, hospitalizações ou a utilização de dispositivos como marca-passos. De acordo com dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (2023), a população com mais de 60 anos está crescendo a uma taxa de cerca de 3% ao ano. Ainda de acordo com a ONU, estima-se que o número de idosos duplique até 2050 e mais do que triplique até 2100, passando de 962 milhões em 2017 para 2,1 bilhões em 2050 e 3,1 bilhões em 2100.

Um outro fator que, infelizmente, devemos considerar, é a crise global que ocorreu durante a pandemia de COVID-19, resultando em uma sobrecarga dos sistemas de saúde e gerando uma demanda não planejada de equipamentos médicos, como dispositivos de monitoramento.

Neste projeto, focaremos em um tipo específico de dispositivo de monitoramento, um eletrocardiógrafo, abreviado também como ECG. Com o intuito de fomentar e facilitar os estudos nesta área e servir como um ponto de partida para desenvolvimentos futuros, oferecendo um módulo de baixo custo, este Trabalho de Conclusão de Curso tem o objetivo de desenvolver, de forma aberta (*open source*), um circuito elétrico capaz de atuar como um eletrocardiógrafo, permitindo que um usuário comum seja capaz de visualizar ondas cardíacas através de um aplicativo para smartphone, em tempo real.

Ao longo do desenvolvimento, analisaremos os principais desafios para atingirmos estes objetivos, apresentando o processo de planejamento, projeto e implementação do eletrocardiógrafo proposto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um eletrocardiógrafo portátil de baixo custo, com seis derivações, que possua telemetria via bluetooth para um aplicativo móvel, o qual permitirá a visualização gráfica em tempo real dos sinais cardíacos e uma manipulação básica dos dados recebidos. Disponibilizar todo o projeto (esquemáticos, código do software) de forma aberta, permitindo a livre utilização por qualquer interessado, servindo, por exemplo, como um kit de estudos para temas relacionados à engenharia biomédica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer uma análise mercadológica, identificando produtos com características similares, confirmando ou não a viabilidade do escopo proposto.
- Realizar a escolha de componentes e cálculos teóricos, criando primeiramente uma simulação do circuito em um software e posteriormente um protótipo em uma protoboard, de forma a validar o funcionamento do sistema como um eletrocardiógrafo de seis derivações, captando os sinais cardíacos necessários.
- Projetar, em uma PCB, um circuito portátil e alimentado por baterias capaz de reproduzir o comportamento validado no protótipo feito em uma protoboard.
- Incluir um módulo *bluetooth* capaz de captar os sinais medidos e enviá-los, organizadamente, para um receptor.
- Desenvolver um aplicativo móvel que atue como receptor dos sinais enviados pelo módulo *bluetooth*, processando os dados e permitindo a visualização das ondas em tempo real, além de permitir manipulações básicas e funções como exportar para PDF/imagem.

- Realizar os testes em um cenário real, utilizando o próprio autor (ou um voluntário) como referência para as medições.
- Disponibilizar, gratuitamente, em uma página do GitHub, todos os arquivos e documentos relevantes ao projeto, como esquemáticos, códigos do software, cálculos do projeto, entre outros. Todos devidamente explicados e comentados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS APRESENTADOS

3.1.1 Engenharia Biomédica

O corpo humano pode ser, grosseiramente, classificado como uma máquina eletroquímica. Reações químicas e o movimento de íons dentro das células produzem pequenas correntes elétricas que são responsáveis por comandar nossas funções vitais, gerar nossa “consciência” e processos sensoriais, entre outras atividades.

Sob esta ótica apresentada, podemos aplicar, em organismos vivos, princípios de engenharia elétrica, mecânica, química, etc. Fazendo isso, possibilitamos o surgimento de áreas de conhecimento como a Engenharia Biomédica, que busca integrar ciências exatas e ciências de saúde, dedicando a aplicação destes conteúdos à prevenção, diagnóstico e terapia de doenças, bem como a produção de próteses e equipamentos médicos.

Uma das muitas aplicações desta área é, por exemplo, a produção de instrumentos capazes de mensurar os impulsos nervosos recebidos pelo coração e convertê-los em sinais elétricos interpretáveis por dispositivos médicos.

3.1.2 Atividade Elétrica no Coração

A observação de fenômenos elétricos em animais iniciou-se com Galvani, em 1791, sendo posteriormente desenvolvida por Matteucci, Kölliker e Muller, que investigaram a ligação entre sinais elétricos e a pulsação cardíaca. Em 1872, Lippmann conseguiu captar sinais elétricos produzidos pelo coração diretamente através da pele; no entanto, seu dispositivo não apresentava resposta adequada às altas frequências, tornando seu uso limitado. Em 1887, Augustus D. Waller ficou conhecido como o primeiro pesquisador a adquirir com sucesso o sinal eletrocardiográfico na superfície da pele, construindo um eletrocardiógrafo fixando um eletrômetro capilar de Lippmann a um projetor, de forma que o traçado do sinal elétrico do coração era projetado numa placa fotográfica movimentada por um trem de brinquedo (SCHWARZ, 2009, p. 4).

Figura 1: Primeiro eletrocardiograma humano registrado

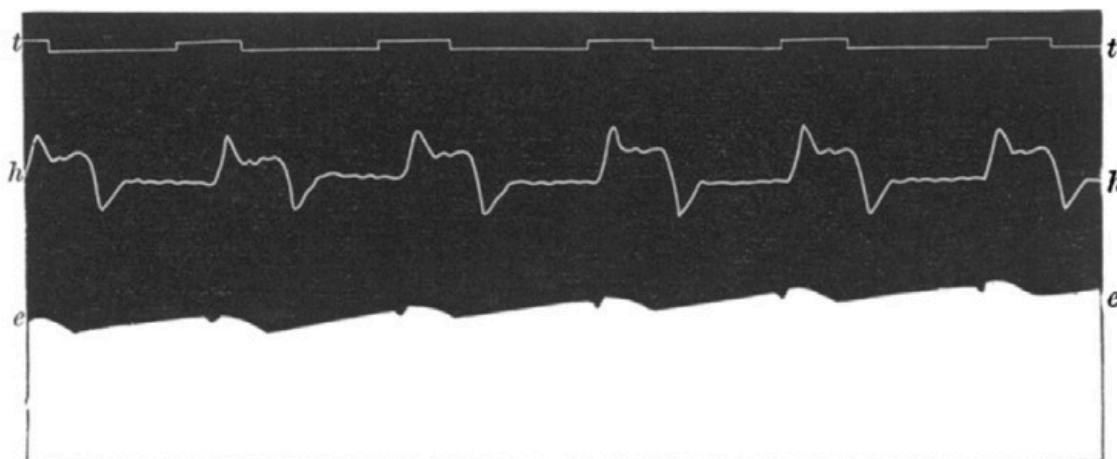


FIG. 1. Man. Heart led off to electrometer from front and back of chest (front to Hg; back to H_2SO_4).

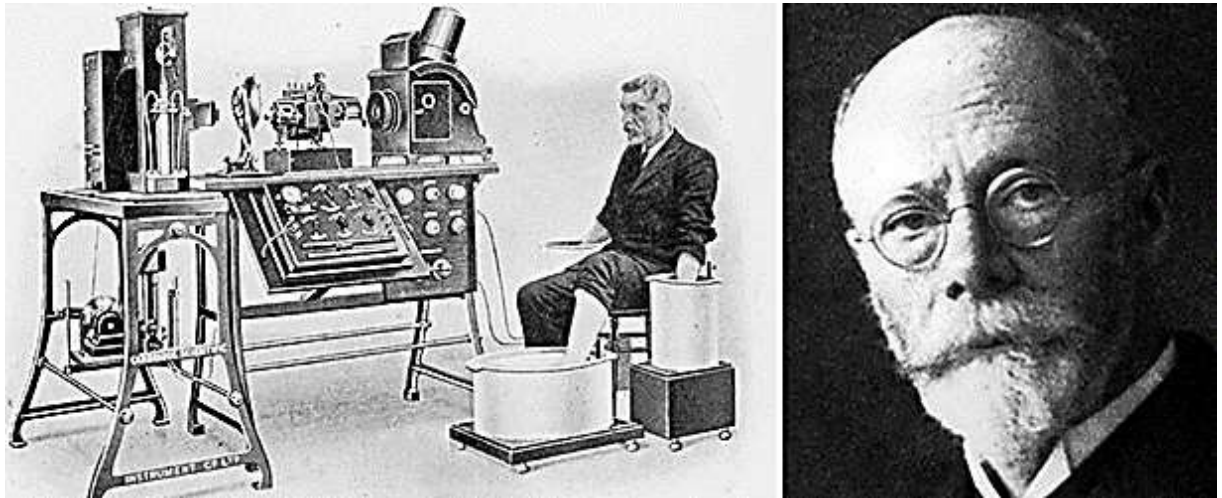
***e.e.* electrometer. *h.h.* cardiograph. *t.t.* time in seconds.**

Fonte: WALLER, A. D. A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat. *Journal of Physiology*, v. 8, n. 5, p. 229, 1887. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1887.sp000257>.

3.1.3 A Origem do Eletrocardiógrafo Clínico

Em 1901, o médico holandês Willem Einthoven adaptou um galvanômetro para tentar realizar a medição dos impulsos elétricos do coração. Sua invenção consistia em um pequeno filamento de quartzo envolto em prata, que, ao entrar em contato com o corpo humano, era capaz de conduzir estas correntes. Este filamento era posicionado entre dois eletroímãs poderosos e, ao conduzir os sinais elétricos, sofria a ação do campo magnético deles, sendo movimentado. Além disso, o equipamento possuía 3 baldes com soluções salinas, nos quais eram imersos a perna esquerda e ambos os braços do paciente, funcionando como eletrodos. Uma nova publicação detalhando o funcionamento foi feita por ele em 1903.

Figura 2: Eletrocardiógrafo de Einthoven

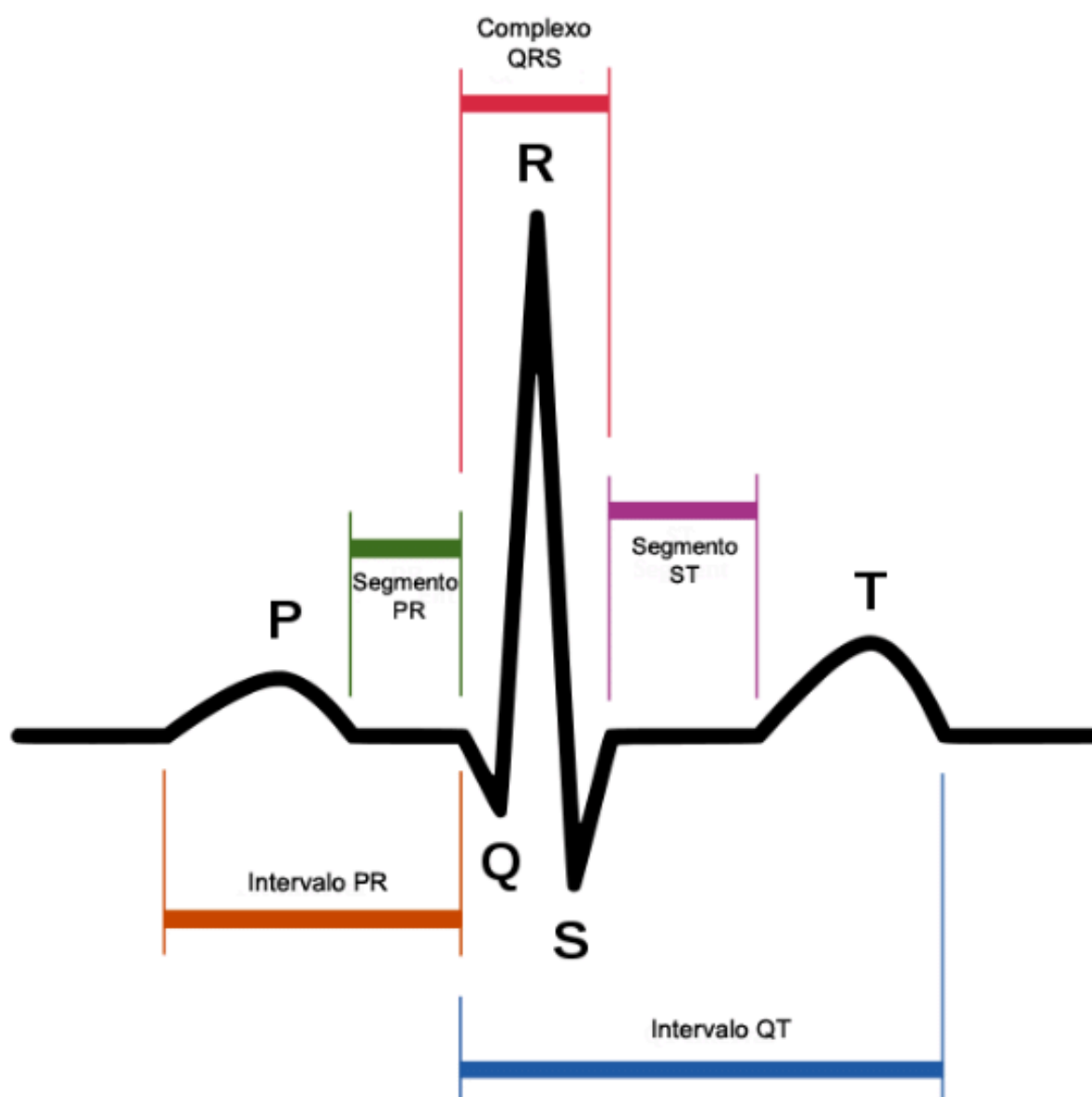


Fonte:

https://www.researchgate.net/figure/William-Einthoven-inventing-the-first-electrocardiogram-The-ECG-a-diagnostic-and_fig3_328852738

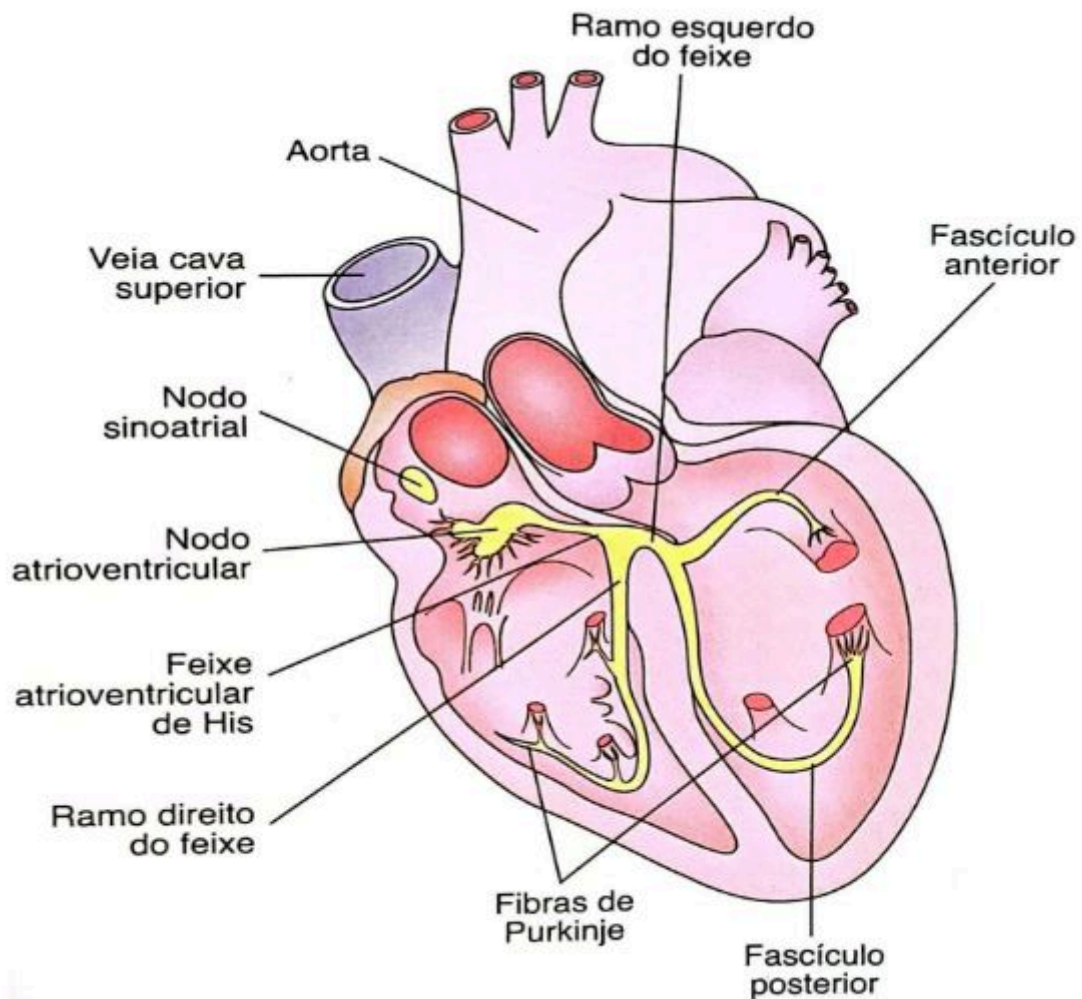
Utilizando esta nova invenção, Willem conseguiu medir muito mais detalhadamente os sinais elétricos, e, notando um padrão nos pontos de atividade elétrica, utilizou uma notação algébrica para dar nome ao que chamamos de pontos P, Q, R, S e T.

Figura 3: Pontos P, Q, R, S e T.



Fonte: Phase Space Reconstruction Approach for Ventricular Tachycardia Identification XXXV SYMPOSIUM BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBrT 2017, 3-6 DE SETEMBRO DE 2017, SAO PEDRO, SP - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Onda-de-ECG-caracteristica-6_fig1_319534342 [accessed 4 Jul 2025]

Figura 4: Diagrama do Coração



Fonte: <https://ufabcddivulgaciencia.proec.ufabc.edu.br/wp-content/uploads/2023/11/1.jpg>

O ponto “P” nasce no nodo sinoatrial e representa a contração dos átrios. Ele marca o início do seu batimento cardíaco, seu marca-passo natural.

Os pontos “QRS” normalmente são analisados em conjunto e representam a contração dos ventrículos, causada pela despolarização ventricular através da entrada de íons de cálcio nas células.

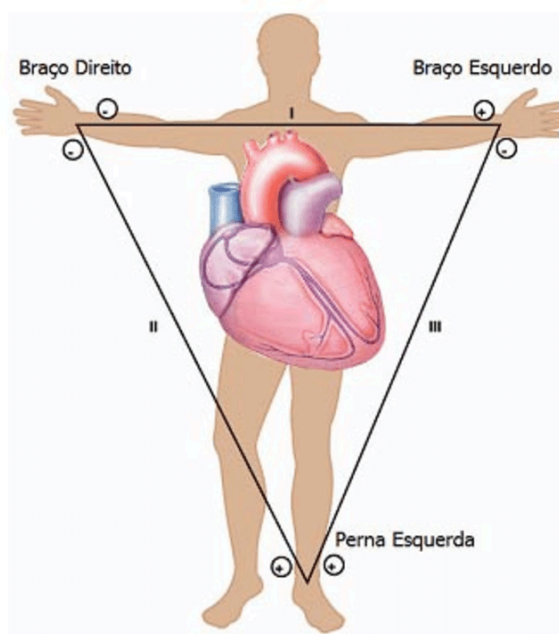
O ponto “T” representa a repolarização ventricular, o momento em que são liberados íons de potássio e o músculo relaxa, se preparando para a próxima contração.

Willem percebeu que variações específicas no formato da onda PQRST se relacionavam a problemas cardíacos específicos, e seus estudos sobre isso deram origem aos alicerces que utilizamos para produzir e analisar eletrocardiogramas atualmente.

3.1.4 Derivações

Um último tópico a ser dito sobre a eletrocardiografia moderna é a utilização de derivações. Mantendo os eletrodos longe do coração e realizando medidas de diferentes dipolos, conseguimos evitar interferências locais e manter um campo elétrico mais amplo e uniforme, utilizando as diferenças de potencial detectadas para criarmos eletrocardiogramas nos quais diferenças simples entre duas derivações podem apontar para problemas em áreas específicas do coração, algo que é complexo de identificar através de apenas uma derivação. Veja as figuras a seguir:

Figura 5: Triângulo de Einthoven



Fonte:

<https://www.researchgate.net/profile/Marcella-Moro/publication/316981885/figure/fig2/AS:494800349483008@1494981004967/Figura-2-Triangulo-de-Einthoven.png>

3.2 ESTADO DA ARTE

Se os eletrocardiógrafos do passado chegavam a pesar mais de 100kg, os dispositivos modernos possuem muitas inovações, de telas embutidas com baterias recarregáveis à dimensões tão enxutas que cabem no bolso. A seguir faremos um comparativo dos principais eletrocardiógrafos portáteis disponíveis no mercado, analisando seus prós e contras e fazendo um paralelo com o protótipo a ser desenvolvido neste trabalho, de forma que o escopo seja viabilizado como um Trabalho de Conclusão de Curso.

Como principais produtos, temos os seguintes:

AliveCor KardiaMobile 6L

Preço: ~R\$1.650,00

Descrição: É um eletrocardiógrafo portátil, ultracompacto (aprox. 24g), sem fios, com 6 derivações simultâneas que permitem leituras confiáveis e próximas de ECG clínico para ritmo e arritmias.

Derivações: 6 derivações simultâneas.

Certificação: Certificado pela FDA (EUA), CE(Europa) e ANVISA(Brasil).

Condições identificadas: Fibrilação atrial, taquicardia, bradicardia, ritmo irregular.

Conectividade: Bluetooth, Aplicativo Móvel.

Vantagens: Alta precisão e validação clínica para arritmias; Extremamente portátil e prático para uso diário; Fácil compartilhamento com médicos (PDFs, cloud).

Desvantagens: Uso pontual (não é contínuo); Necessário contato firme com mãos e perna; Assinatura para funcionalidades avançadas pode gerar custo extra; Pode sofrer interferência com alguns modelos de smartphone.

Figura 6: AliveCor KardiaMobile 6L



Fonte: <https://m.media-amazon.com/images/I/71xCJT7nQdL. AC SL1500 .jpg>

Omron HEM-7530T1

Preço: ~R\$1.000,00

Descrição: É um dispositivo 2 em 1 que pode medir pressão arterial no braço e realizar ECG com uma derivação. Possui memória interna e app para smartphones.

Derivações: 1 derivação simultânea.

Certificação: Certificado pela ANVISA(Brasil).

Condições identificadas: Fibrilação atrial, taquicardia, bradicardia, ritmo irregular.

Conectividade: Bluetooth, Aplicativo Móvel.

Vantagens: Combina dois exames importantes em um aparelho só; Interface amigável para leigos; Alta sensibilidade e especificidade para arritmia (cerca de 98%).

Desvantagens: Dispositivo maior e menos portátil; Aplicativo tem críticas quanto à estabilidade e usabilidade; Apenas uma derivação simultânea.

Figura 7: Omron HEM-7530T1



Fonte: <https://m.media-amazon.com/images/I/61e2de-lb7L. AC SL1500 .jpg>

Contec PM10

Preço: ~R\$440,00

Descrição: É um ECG portátil simples, com tela LCD embutida para visualização em tempo real.

Derivações: 1 derivação simultânea.

Certificação: Nenhuma.

Condições Identificadas: Nenhuma.

Conectividade: Bluetooth/USB, Aplicativo Móvel.

Vantagens: Preço acessível; Tela embutida.

Desvantagens: Não confiável para diagnóstico médico; Sem análise automática; Software/app menos amigável e suporte limitado; Apenas uma derivação simultânea.

Figura 8: Contec PM10



Fonte: https://m.media-amazon.com/images/I/51sjkD2RQzL._AC_SL1000_.jpg

3.2.1 Custo e Acessibilidade

Fica evidente que existem vários modelos de diferentes qualidades. Dispositivos que permitem derivações simultâneas ou possuem outras funcionalidades possuem um custo muito mais elevado, acima de R\$1.000,00. O objetivo deste projeto é construir um dispositivo a um custo estimado de R\$350,00 para 6 derivações, bem abaixo dos dispositivos disponíveis atualmente.

3.2.2 Justificativas para o Desenvolvimento do Protótipo

Após a análise mercadológica, nota-se que existem poucos dispositivos portáteis que permitem a análise simultânea das derivações, e os que possuem têm um custo elevado, possuem assinaturas pagas ou componentes proprietários. Como o objetivo deste projeto é disponibilizar o resultado de forma livre (open source), justifica-se o desenvolvimento, visto que o escopo proposto pode ser atingido, criando um app customizável, de fácil manuseio, além de um circuito portátil que aceite múltiplas derivações simultâneas e possua um baixo custo de confecção comparado aos demais produtos existentes.

3.3 TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO DESENVOLVIMENTO

Abaixo estão listadas as tecnologias escolhidas para o projeto, bem como suas justificativas de uso. Alguns dos critérios para a escolha de tecnologias foram a compatibilidade com smartphones, facilidade de uso e disponibilidade, visto que o objetivo de disponibilizar o resultado de maneira livre será melhor concluído se os interessados possuírem facilidade em entender e manusear o projeto.

3.3.1 Microcontrolador ESP32

O SoC (System on Chip), desenvolvido pela Espressif Systems, foi escolhido para atuar como o módulo de processamento bluetooth. As razões desta escolha se devem a ser um módulo amplamente conhecido, com diversos modelos compactos disponíveis, sejam módulos de desenvolvimento, SMDs ou outras plataformas com o mesmo SoC. Também é um componente com diversos conversores analógico/digital (A/D), o que permite a escalabilidade do circuito caso seja desejado um aumento no número de derivações. Ele possui uma tensão de operação de 3.0-3.6V, o que é adequado para o projeto, além de possuir uma alta capacidade de processamento e bons valores de armazenamento e memória, suficientes para a integração do circuito de ECG. Também possui suporte a bluetooth de baixa energia (BLE), evitando consumo de energia desnecessário.

3.3.2 Amplificador de Instrumentação INA333

O componente fabricado pela Texas Instruments foi escolhido por possuir uma alta Rejeição de Modo Comum (CMMR), baixo consumo, ideal para uso com baterias, ter um baixo ruído de entrada e possuir ganho ajustável via resistor externo. Estas características são as ideais para o projeto do circuito possuir o mínimo de interferências. Também possui a tensão de operação adequada. Em caso de falta, um componente similar será escolhido, como o INA128.

3.3.3 Flutter

Para o desenvolvimento do aplicativo móvel, a tecnologia escolhida foi o framework de código aberto Flutter, desenvolvido e mantido pela Google e baseado na linguagem de programação DART, também criada pela mesma empresa. A justificativa se deve ao fato de que o Flutter permite a geração de pacotes de instalação tanto para dispositivos baseados no sistema operacional Android quanto IOS, evitando, assim, que fosse necessário programar um código na linguagem Swift para produtos da Apple e outro em Java ou Kotlin para produtos que usem Android. Isto poupa tempo de programação, além da linguagem ter boas bibliotecas gráficas para a geração das derivações e ser bem documentada.

3.3.4 Outros

Os demais componentes serão amplificadores operacionais com baixo ruído e impedância de saída para a elaboração de um buffer e do filtro notch que removerá potenciais interferências da rede elétrica se o circuito estiver perto de ambientes energizados. Também serão utilizados para criar filtros passa-faixa que isolem as frequências desejadas do ECG. Adicionalmente, serão utilizados diversos softwares para realizar as simulações do circuito, bem como criar o design das telas do aplicativo móvel.

4 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

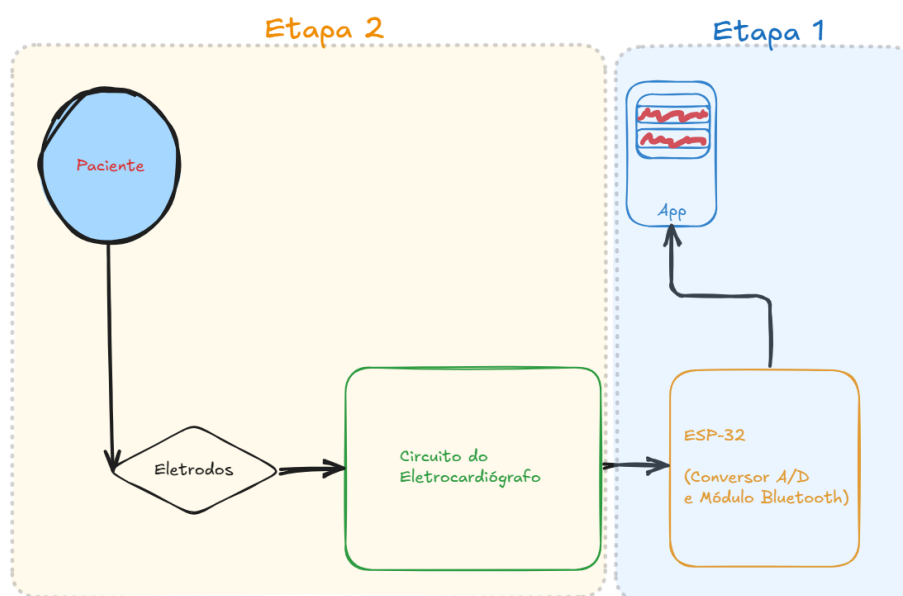
- O projeto será desenvolvido em três etapas:

Etapa 0: Iniciada e finalizada no TCC I, consiste em realizar toda a revisão bibliográfica e planejamento do projeto, decidindo as tecnologias, realizando o orçamento de custos, análise mercadológica e de viabilidade, bem como os riscos, limitações e desafios.

Etapa 1: Iniciada mas **não** finalizada durante o TCC I, consiste em realizar a Implementação da comunicação bluetooth entre o ESP32 e o Aplicativo Móvel, fazer o planejamento e desenho dos layouts, criar uma estrutura no aplicativo com dados simulados e validar o comportamento das telas e funcionalidades criadas.

Etapa 2: Iniciada logo após a finalização da Etapa 1, já durante o TCC II, consiste na Implementação do circuito do ECG (cálculos teóricos, simulação, prototipagem, confecção da PCB), integração com o módulo bluetooth (ESP32) para recebimento e envio de dados reais, realização de uma bateria de testes e correção de bugs e por fim a finalização do relatório do TCC II. Será a etapa mais longa.

Figura 9: Estrutura Global do Projeto
ESTRUTURA GLOBAL DO PROJETO



Fonte: Autor (2025)

5 RECURSOS NECESSÁRIOS

As ferramentas básicas a serem utilizadas são: computador com acesso à internet, Google Drive para produção dos textos e e-mail para comunicação. Os componentes escolhidos para o projeto foram: dois microcontroladores ESP32, um na forma kit desenvolvimento e outro na forma SMD, Amplificadores de Instrumentação INA333 ou INA128, um conjunto de eletrodos descartáveis com gel condutivo, Amplificadores Operacionais com baixo ruído e baixa impedância de saída, como o OPA2333 ou TL072. Outros componentes, como resistores e capacitores, ainda não foram dimensionados.

Para a confecção e desenvolvimento dos módulos, serão necessários os seguintes recursos: acesso a um software de desenvolvimento de placas como KICAD ou Altium para desenhar e produzir a placa de circuito impresso; placa de fenolite para a fabricação da PCB; fresadora para cortar a placa; estação de solda, estanho, pinça e outros acessórios de soldagem para a montagem dos circuitos.

Na fase de testes, serão utilizados equipamentos de medição como multímetro, osciloscópio, cabos e fontes de alimentação e/ou baterias para verificar o funcionamento correto dos módulos e suas conexões.

A aplicação móvel será planejada com softwares de Design, como o Figma, e o desenvolvimento do código será feito utilizando Flutter, necessitando uma IDE compatível com a linguagem DART, como o Android Studio, da JetBrains.

6 RESULTADOS PRELIMINARES

A ideia original do projeto era implementar o próprio conversor A/D e módulo de transmissão bluetooth, porém, após uma análise de custos e viabilidade, foi optado por trocar este módulo por um sistema pronto, como o ESP32. O cronograma foi replanejado para acomodar o prazo de entrega dos componentes bem como outras datas relevantes, fazendo com que a o aplicativo móvel começasse a ser desenvolvido primeiro. Já estão disponíveis alguns rascunhos de telas para o aplicativo (apenas em papel), faltando a passagem destes wireframes para um layout funcional, como facilitado pela utilização da ferramenta Figma.

Desta forma, a Etapa 0 está considerada 100% concluída e a Etapa 1 está considerada 30% concluída, aguardando a chegada do módulo ESP32 para testes de transmissão BLE (bluetooth low energy) entre módulo/app.

Para a Etapa 2 é previsto o início durante o mês de Julho, durante o recesso da Universidade Federal do Paraná. Partes desta etapa podem ser desenvolvidas paralelamente à Etapa 1. Em caso de sucesso, por exemplo, no envio de dados de medição reais, o acoplamento dos dois módulos (ECG e Módulo Bluetooth/ESP32) pode ser realizado.

7 RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS

Os resultados fundamentais a serem atingidos incluem o sucesso no design e desenvolvimento do Aplicativo Móvel, a capacidade de transmissão de dados simulados entre o módulo ESP32 e o App, bem como o pareamento bluetooth entre eles. Adicionalmente, o App precisa ter um layout responsivo, que seja reajustado dinamicamente de acordo com a quantidade de derivações sendo informadas nos pacotes bluetooth recebidos. O ESP32 deve ser codificado corretamente para que consiga montar estes objetos, passando as informações necessárias ao Aplicativo Móvel.

Adicionalmente, deve ser possível realizar pelo menos a implementação de um protótipo em uma protoboard para o circuito do Eletrocardiógrafo, sendo capaz de captar os sinais necessários através dos eletrodos, processar/amplificar o mesmo e transmitir diretamente nas entradas dos conversores analógico/digitais do ESP32.

Não obstante, todos os módulos devem ser conectados e a bateria de testes realizada deve revelar que eles são capazes de se comunicar com dados reais. Um receptáculo adequado para o sistema deve ser providenciado, seja ele criado por impressão 3D ou através da adaptação de um objeto já existente.

Finalmente, espera-se que o sistema seja viável financeiramente também, idealmente ficando com seu custo total abaixo dos R\$350,00.

8 POTENCIAL MERCADOLÓGICO DO PROJETO

Por ser um projeto cujo resultado é destinado ao uso aberto por pessoas interessadas, ele possui um grande potencial expansivo, podendo receber ao longo do tempo, melhorias na parte eletrônica, de software ou ambos. Também existe a opção de múltiplas vertentes serem criadas, baseados em um ponto do projeto e adaptados para diferentes finalidades, como adaptar o circuito para mais derivações, inserir circuitos auxiliares que façam outras funções, ou até mesmo transformações que aproveitem o Aplicativo móvel, como trocar o Eletrocardiógrafo (ECG) por um Eletroencefalógrafo (EEG) aproveitando o layout dinâmico existente do app. O potencial mercadológico, então, não se dá pela possibilidade patente ou concorrência com outros equipamentos, mas sim pela possibilidade de servir como base para evoluções que gerem resultados melhores, implementem IA, entre outros.

9 CRONOGRAMA

Com base nos tópicos discutidos anteriormente, o cronograma revisado é o seguinte:

Figura 10: Cronograma Revisado

CRONOGRAMA																					
TCC I	Atividades	Fev/25				Mar/25				Abr/25				Mai/25				Jun/25			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
	Matrícula TCC I				✓																
	Revisão Bibliográfica				✓	✓	✓	✓	✓												
	Análise e Prova de Conceito							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Desenvolvimento do Protótipo																			✓	✓
	Implementação do Sistema (Parcial)													✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Entrega do Relatório TCC I																					
TCC II	Atividades	Jul/25				Ago/25				Set/25				Out/25				Nov/25			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
	Entrega/Apresentação TCC I	✓																			
	Desenvolvimento do Protótipo	✓																			
	Matrícula TCC II																				
	Implementação do Sistema																				
	Refinamento e Validação																				
Entrega do Relatório TCC II																					

Fonte: Autor (2025)

10 BIBLIOGRAFIA

ALGHATRIF, Mohammed; LINDSAY, Joan. ***A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography***. Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives, [S. l.], v. 2, n. 1, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3402/jchimp.v2i1.14383>. Acesso em: 4 jul. 2025.

HOLANDA, Vítor Bruno Teixeira de; MIRANDA, Ariney Costa de; NUNES, Leonardo Mendes Acatauassu; HOLANDA, Lucianna Serfaty de. **Manual ilustrado para facilitação do aprendizado do ECG básico**. São Luís: Editora Pascal, 2023. Disponível em: <https://editorapascal.com.br/wp-content/uploads/2024/01/223.-Manual-Ilustrado-para-Facilitacao-do-Aprendizado-do-ECG-Basico.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ADAMEK, Luana. ***Projeto e construção de um analisador de biopotenciais***. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019.

KHO, A. et al. **Bluetooth-enabled ECG monitoring system**. In: IEEE REGION 10 CONFERENCE – TENCON, 2005, Melbourne. *Anais...* Melbourne: IEEE, 2005. p. 1–5.

MARWEDEL, P. **Embedded system design**. Dordrecht: Springer, 2006.

MARTINCOSKI, D. H. **Sistema para telemetria de eletrocardiograma utilizando tecnologia Bluetooth**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

REIS, F. J. dos *et al.* **ECG – manual prático de eletrocardiograma**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2013.

SCHERZ, P.; MONK, S. **Practical electronics for inventors**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.

CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY. **Innovations in biomedical engineering**. Case School of Engineering, 12 jan. 2021. Disponível em: <https://online-engineering.case.edu/blog/innovations-in-biomedical-engineering>. Acesso em: 4 jul. 2025.

GOOGLE. **Flutter documentation**. *Flutter*, 2025. Disponível em: <https://docs.flutter.dev/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-WROOM-32: datasheet**. [S.l.]: Espressif Systems, 2023. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datash eet_en.pdf. Acesso em: 4 jul. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-S3-WROOM-1 / ESP32-S3-WROOM-1U: datasheet**. [S.l.]: Espressif Systems, 2023. Disponível em:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf. Acesso em: 4 jul. 2025.

ARDUINO. **Arduino documentation**. [S.l.]: Arduino, 2024. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MICROSOFT. **C++ documentation**. Redmond, WA: Microsoft, 2024. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/cpp/?view=msvc-170>. Acesso em: 4 jul. 2025.

KITCHIN, Charles; COUNTS, Lew. **A designer's guide to instrumentation amplifiers**. 3rd ed. Norwood, MA: Analog Devices, 2006. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/designers-guide-instrumentation-amplifiers/designers-guide-instrumentation-amplifiers.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Envelhecimento**. UNRIC – Centro Regional de Informação das Nações Unidas, 2023. Disponível em: <https://unric.org/pt/envelhecimento/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SCHWARZ, Leandro. **Artigo de Revisão: Eletrocardiograma**. Revista Ilha Digital, Florianópolis, v. 1, p. 3–19, 2009. Disponível em: <https://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/4>. Acesso em: 4 jul. 2025.

WALLER, A. D. **A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat**. *Journal of Physiology*, v. 8, n. 5, p. 229, 1887. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1887.sp000257>.