

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS |  
CNPEM  
ILUM – ESCOLA DE CIÊNCIA

RELATÓRIO FINAL  
INICIAÇÃO À PESQUISA III

**APLICATIVO E ELETRÔNICA COMPACTA PARA  
ELETROCARDIOGRAMA**

**APPLICATION AND COMPACT ELETRONICS FOR  
ELETROCARDIOGRAM**

---

**ANDRÉ DE ARAÚJO CAETANO**

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS | CNPEM  
ILUM – ESCOLA DE CIÊNCIA  
RUA LAURO VANNUCCI, 1020 - FAZENDA SANTA CÂNDIDA, CAMPINAS - SP, 13087-548

**ANNA KAREN DE OLIVEIRA PINTO**

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS | CNPEM  
ILUM – ESCOLA DE CIÊNCIA  
RUA LAURO VANNUCCI, 1020 - FAZENDA SANTA CÂNDIDA, CAMPINAS - SP, 13087-548

**REGIS TERENCEZ NEUENSCHWANDER**

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS | CNPEM  
ENGENHARIA  
POLO II DE ALTA TECNOLOGIA - R. GIUSEPPE MÁXIMO SCOLFARO, 10000 - BOSQUE DAS  
PALMEIRAS, CAMPINAS - SP, 13083-100

29 DE NOVEMBRO DE 2024  
CAMPINAS - SP | BRASIL

## RESUMO

O monitoramento contínuo do eletrocardiograma (ECG) é essencial para o diagnóstico precoce e o acompanhamento de doenças cardíacas. Dispositivos médicos tradicionais para esta finalidade podem ser caros e limitados em termos de portabilidade e facilidade de uso, possuindo muitos fios que deixam o paciente desconfortável para seus afazeres diários. Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma solução acessível e portátil, baseada no microcontrolador ESP32, sensor de ECG e armazenamento de memória capazes de medir e registrar longos períodos de sinais cardíacos. A eletrônica do dispositivo foi desenvolvida utilizando o microcontrolador ESP32 devido à sua alta conectividade (WiFi/Bluetooth) e sensores específicos para medição de sinais de ECG (permitindo a aquisição contínua dos dados do paciente). Os sinais capturados são processados por um conversor analógico-digital (ADS1115) de alta resolução, e os dados são armazenados no próprio dispositivo durante o período de medição. Também foi adicionado no circuito um adaptador de cartão microSD para salvar os dados coletados, um display OLED para noticiar os usuários o estágio de tarefa do equipamento, além de um Real Time Clock (RTC) para definir a data e horário exatos da medida do ECG. Para garantir a portabilidade e o conforto do paciente, o dispositivo foi projetado para possuir dimensões reduzidas, podendo ser alojado dentro de uma caixa pequena de fácil manejo e locomoção (mesmo não tendo sido definido como e por onde o dispositivo seria transportado pelo usuário). A adição de uma bateria 7,4V ao sistema consiste para o seu independente e pleno funcionamento mesmo não estando conectado ao computador, onde é feita toda a compilação de códigos para o microprocessador. O tempo de funcionamento da bateria e capacidade de memória do cartão microSD foram escolhidos para um panorama que permitisse o monitoramento contínuo por até 24h corrido. A interface do aplicativo tinha como objetivo ser projetada para ser intuitiva, permitindo ao usuário visualizar e enviar os dados de ECG facilmente. Contudo, não houve tempo hábil para a construção do aplicativo e foi decidido deixar em segundo plano em prioridades de resoluções de problemas vigentes. Futuras melhorias incluem a integração de algoritmos de análise automática de anomalias cardíacas por meio de IAs, otimizações no design do dispositivo para aumentar ainda mais a autonomia da bateria e criação de um aplicativo para o sistema.

## RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS NO PERÍODO

Durante o período de agosto a novembro, foram apresentados os objetivos do projeto e os componentes eletrônicos necessários para o desenvolvimento e aprimoramento de um sistema eletrônico de ECG usando a placa ESP32, previamente montado com as estruturas e circuitos básicos. A ideia inicial era construir uma eletrônica capaz de ler e salvar os dados obtidos no sensor de ECG e que, em seguida, conseguisse enviar por Bluetooth os dados salvos para um aplicativo, onde teria as configurações em Python para tratamento dos dados e plotagem dos gráficos desejados.

O sistema foi montado para medir os batimentos cardíacos e *printar* os dados lidos do sensor ECG, utilizando um código em C++ fornecido pelo pesquisador Regis Neuenschwander. Em seguida, estudou-se a anatomia humana para interpretar os sinais captados pelo sensor e otimizar o posicionamento dos eletrodos. Posteriormente, foi desenvolvido um código em Python para plotagem de gráficos dos dados colhidos com a biblioteca NeuroKit2, gerando gráficos fundamentais para análise de batimentos cardíacos. Nesse código, foi adicionado depois elementos para que os dados que fossem recebidos por Bluetooth já fossem lidos e tratados no Notebook Jupyter.

Problemas com a memória FLASH da ESP32 levaram à substituição por um cartão SD para armazenamento dos dados, o que envolveu testes com novos adaptadores SD e placas, como Arduino UNO e Raspberry Pi Pico W, visando resolver dificuldades técnicas e entender qual seria a melhor eletrônica. Outro ponto central foi a implementação do Bluetooth para transmitir dados do sensor ao celular ou computador, tendo sido um processo um pouco desafiador para conseguir montar o código da forma correta. Foi incluído também um display OLED para indicar o status do sistema (leitura, pausa ou transmissão).

Posteriormente, houve uma imersão em design eletrônico, utilizando o software KiCad para projetar circuitos. Paralelamente, desafios com alimentação elétrica, adaptadores de SD e configuração de códigos sempre surgiam durante pequenas mudanças nos códigos. A transição para o uso do Visual Studio Code com a extensão PlatformIO acelerou as compilações e facilitou ajustes no sistema. As funções dos botões de controle foram aprimoradas para possibilitar a leitura contínua dos dados do sensor e a transmissão direta para o computador via Bluetooth.

Não houve tempo para o desenvolvimento e aprofundamento da criação do aplicativo previamente desejado para o projeto.

## INTRODUÇÃO

O coração é um dos órgãos mais importantes no corpo, sendo o principal do sistema cardiovascular [1]. Localizado na cavidade torácica, ele possui o volume de uma mão fechada e pesa em torno de 250 a 350 gramas [1]. Sua grande importância é dada pela sua função primordial de bombear o sangue para todas as partes do corpo e deste voltar para o coração, resultando em mais de 70 mil litros de sangue bombeados por dia [1], [2]. Sua anatomia pode ser descrita como um órgão muscular oco, revestido externamente pelo pericárdio e internamente pelo endocárdio, sendo essas membranas que revestem o miocárdio — camada média do músculo cardíaco [1], [2]. As regiões “ocas” do coração são classificadas de acordo com as divisões horizontal (átrio e ventrículo), estabelecida por válvulas atrioventriculares, e vertical (lado direito e esquerdo), estabelecida pela membrana vertical [2], [3]. A figura 1 demonstra uma ilustração das divisões do coração.

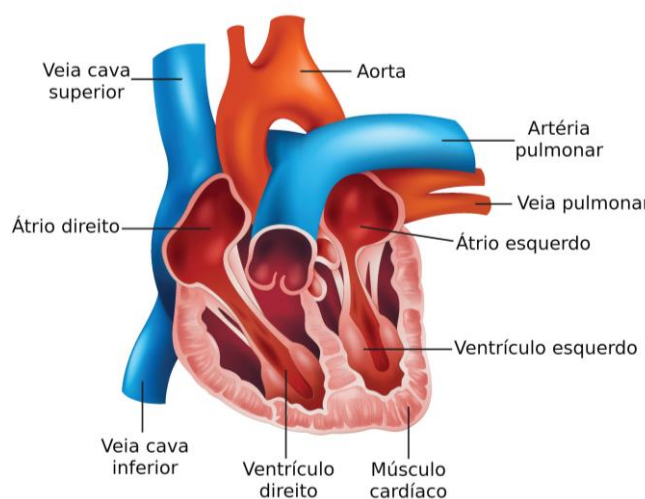


Figura 1: Ilustração da anatomia do coração [4].

É essencial que todo o nosso corpo seja oxigenado e que os nutrientes sejam bem distribuídos para o bom funcionamento dos demais órgãos, tendo o coração como o responsável por impulsionar o sangue ao longo do corpo [1], [3]. Os átrios e ventrículos que formam o complexo de “bomba” do coração, variando entre contrações e relaxamentos para impulsionar a movimentação do sangue [2], [3]. Esse processo é chamado de circulação sanguínea, podendo ser separado em duas classificações: 1. Circulação sistêmica, onde temos o transporte do sangue oxigenado do lado esquerdo do coração para o corpo; e 2. Circulação pulmonar, onde o sangue venoso (cheio de gás carbônico) é levado aos pulmões pelo lado direito do coração para serem oxigenados novamente [3].

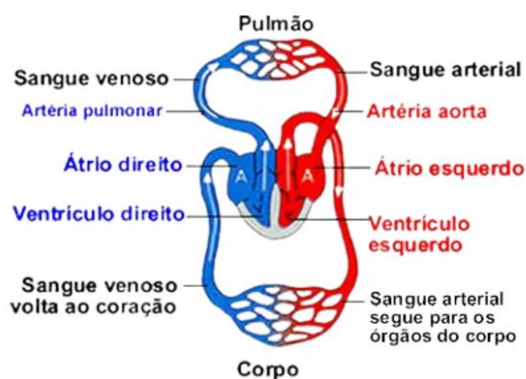


Figura 2: Esquematização da circulação sanguínea [5].

Todavia, existem algumas anomalias relacionadas à causa de insuficiência cardíaca congestiva (ICC), muitos deles associados a hábitos pouco saudáveis e/ou predisposições genéticas [6], [7], [8]. Entre essas condições, temos a arritmia cardíaca, caracterizada por alterações no ritmo dos batimentos do coração, que podem ser acelerados (taquicardia), lentos (bradicardia) ou demais ritmos irregulares [8], [9], [10]. Um coração se contrai em média de 60 a 100 vezes por minuto [1]. Ademais, muitas vezes é difícil perceber essas irregularidades do batimento cardíaco pelo fato de muitas doenças cardíacas não demonstrarem sintomas visíveis, sendo de extrema necessidade a realização periódica de exames cardiológicos para verificação da saúde cardíaca [11]. No Brasil, 40 milhões de pessoas sofrem de algum tipo de arritmia cardíaca, sendo estimado que até 20% da população seja acometida por esta doença [12].

Existe uma variedade de exames para análise da saúde cardíaca, cada um tendo a sua particularidade e tipo de resultado específico. Ecocardiograma, teste ergométrico, MAPA (monitorização ambulatorial da pressão arterial) são alguns dos mais conhecidos exames para esta problemática [13]. Um outro muito conhecido é o eletrocardiograma (ECG), exame rápido e não invasivo especializado em medir os impulsos elétricos do coração e mostrar o ritmo do batimento cardíaco [1]. Utilizando eletrodos temporários colocados no peito, é possível registrar as atividades elétricas cardíacas e convertê-las em um padrão de ondas em algum software/computador [14].

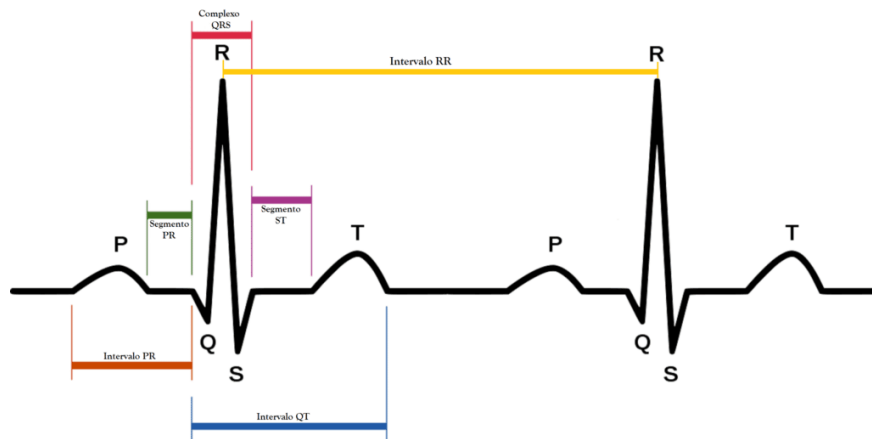


Figura 3: Representação gráfica do eletrocardiograma com seus intervalos e segmentos [15].

Dentro de uma representação gráfica do eletrocardiograma, pode-se extrair algumas informações importantes sobre o funcionamento do coração [15], [16]. Tem-se as partes como o “segmento”, que seria a parte da linha plana entre duas ondas, e o “intervalo”, que seria a distância da combinação de um segmento com uma ou mais ondas [16]. A definição de alguns desses segmentos são:

- Intervalo R-R: Distância entre duas ondas R sucessivas, correspondente ao ciclo cardíaco completo. Sua duração depende da frequência cardíaca;
- Intervalo P-R: Representa a despolarização atrial e o atraso do impulso no nó atrioventricular. Dura entre 0,12 e 0,20 segundos;
- Intervalo Q-T: Representa a atividade elétrica total dos ventrículos, abrangendo a despolarização e a repolarização. Dura entre 0,34 e 0,47 segundos;
- Intervalo QRS: Tempo total de despolarização do ventrículo. Dura entre 0,06 e 0,10 segundos.

Existem versões mais complexas do ECG, como o monitor Holter cardíaco (leitura por 24 horas) [17], [18] e o monitor Looper (leitura por 15 dias, não continuamente) [19], [20]. Uma particularidade em comum entre eles é que são equipamentos que só estão disponíveis em certas redes de saúde e clínicas especializadas, não sendo de livre acesso para todas as pessoas que possam futuramente precisar. Também há equipamentos como SmartWatch que são uma alternativa para uso contínuo e próprio, assim como ECG portáteis vendidos em diversos sites. Contudo, todos possuem o mesmo problema: acessibilidade.

A microeletrônica, combinada com plataformas acessíveis de prototipagem como o Arduino, tem se mostrado uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de soluções inovadoras e de baixo custo em diversas áreas, incluindo a saúde. O Arduino,



com sua interface simples, vasta documentação e uma ampla comunidade de usuários, permite a criação de dispositivos personalizados que podem atender necessidades específicas, muitas vezes ignoradas pelos dispositivos comerciais. No contexto da saúde, essa tecnologia possibilita o desenvolvimento de alternativas acessíveis a equipamentos médicos convencionais, como eletrocardiógrafos (ECG). Isso abre espaço para soluções personalizáveis e de menor custo, contribuindo para ampliar o acesso a monitoramento cardíaco e outros cuidados essenciais, especialmente em regiões ou populações com recursos limitados.

Com essa introdução ao problema, os principais objetivos do projeto podem ser divididos em duas formas: 1. Desenvolvimento da eletrônica; e 2. Desenvolvimento do aplicativo.

### **1. Para a eletrônica:**

- Desenvolvimento de eletrônica baseada em microcontroladores que seja possível ler, armazenar e transferir via Bluetooth os dados de ECG de curta e longa duração.

### **2. Para o aplicativo:**

- Uma aplicação, baseado em Python, capaz de estabelecer uma conexão Bluetooth com a eletrônica para o recebimento dos dados de ECG armazenados;
- Realizar pré-análises clínicas dos dados recebidos, plotar o padrão ECG, realizar uma predição de possíveis anomalias presentes e calcular a frequência cardíaca.

## **EXPERIMENTAL (Materiais e Métodos)**

Os materiais foram escolhidos conforme modificávamos o microcontrolador ESP32, durante todo projeto houve diversas alterações sobre qual componente utilizar. Esse microcontrolador conta com conexão Bluetooth e Wi-Fi, o tornando ideal para aplicações que visam otimizar a interação do usuário com o equipamento. Todos os materiais utilizados nesse projeto estão listados abaixo:

- 1 x DOIT ESP32 DEVKIT V1 - [21]
- 1 x Protoboard 400 pontos - [22]
- 2 x Push button – [23]
- 2 x Resistor 220 ohms - [24]
- 1 x Módulo Conversor analógico Digital ADS1115 - [25]
- 1 x Sensor de ECG AD8232 - [26]

- 1 x Tela Display Oled 128×32 I2C Azul - [27]
- 1 x Módulo Real Time Clock RTC (DS1302) - [28]
- 1 x Multi-Célula 2S Tipo C 8.4V - [29]
- 1 x Bateria de Lítio recarregável de 7,6 V, está foi feita sob medida por uma fonte de nosso orientador;
- 1 x Botão liga/desliga;
- Vários Jumpers (ligadores) - [30]

A escolha da placa ESP32 para o projeto deve-se à possibilidade de transmitir os dados armazenados via Bluetooth para outros dispositivos, eliminando a necessidade de conexões físicas. O módulo microSD foi utilizado para armazenar as leituras analógicas realizadas pelo sensor AD8232 em arquivos no formato “.txt”. O sensor RTC foi integrado para obter informações sobre a data e o horário de criação dos arquivos, permitindo um melhor rastreamento de possíveis alterações no ECG em diferentes contextos. Além disso, o display OLED foi adicionado tanto pelo caráter estético quanto pela funcionalidade informacional. Por fim, o conjunto Multi-Célula 2S e a bateria de lítio foram escolhidos para viabilizar a utilização do sistema sem depender de alimentação via cabo.

Além disso, na parte computacional, foi utilizado o software Visual Code (VS Code) [31] para o desenvolvimento do aplicativo baseado em Python, o software Arduino IDE [32] para programação do microcontrolador e a extensão do VS Code para programação de microcontroladores, PlatformIO [33].

A metodologia consistiu em implementar novos sensores conforme o andamento do projeto. Inicialmente, buscou-se entender o funcionamento da conexão do sensor AD8232 com um Arduino Uno, considerando que o Arduino compila códigos mais rapidamente que a ESP32, aspecto que será abordado posteriormente. Em seguida, foram integrados outros componentes eletrônicos, como o módulo microSD e o display OLED, que operaram perfeitamente quando utilizados com códigos exclusivos para esses dispositivos. No entanto, houve grande dificuldade em integrar múltiplos sensores, principalmente devido à escassez de informações. Por não se tratar de um tema amplamente considerado "científico", as principais fontes de dados consultadas foram fóruns como GitHub, Stack Overflow e Reddit. Apesar de repetitivo, a metodologia do projeto pode ser resumida como:

1. Obtenção de um novo sensor/módulo;



2. Teste desse eletrônico somente com o microcontrolador;
3. Tentativa de integração com o sistema completo;
4. Extensa pesquisa para resolução de eventuais problemas (ex: energia de alimentação);
5. Surgimento de um erro;
6. Extensa pesquisa para resolução do erro;
7. Integração do eletrônico ao sistema;
8. Repetição do processo;

Tendo em vista a desgastante metodologia de nosso projeto, desenvolveu-se uma série de sketches para integração de cada sensor com o microcontrolador e disponibilizamos no GitHub do projeto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. ELETRÔNICA

Como explicitado na metodologia, o processo de montagem do circuito eletrônico foi um processo extremamente desafiador por alguns aspectos, como: a falta de conhecimento avançado sobre tópicos como eletrônica; circuitos elétricos; e a própria experiência em trabalhar com microeletrônica. Dado esses aspectos, também foi notada a falta do suporte por parte da orientação que faltava com o conhecimento para ensinamentos e/ou orientações propriamente sobre essa extensa área de estudo.

Desse modo, os resultados para a primeira parte do projeto — a eletrônica — consistiram em realizar a montagem do circuito com todos os eletrônicos funcionando junto a realização de um código na linguagem C++ (Arduino). Essa etapa, trouxe desafios tanto na parte eletrônica quanto na parte de programação. Na parte eletrônica, o déficit de conhecimento teórico-prático acarretou uma curva de aprendizado extremamente rápida ao passo de que foi extremamente custosa, visto que a falta de materiais de apoio para projetos desse tipo gerou muito atraso no planejamento do projeto. Apesar de existirem diversos tutoriais, discussões online e de fácil acesso sobre determinados sensores, a falta de conhecimento dessa área foi um grande empecilho ao juntar esses tutoriais separados de cada sensor em um projeto.

A programação do microcontrolador passou pelos mesmos desafios, com um adicional de que o aplicativo comumente utilizado Arduino IDE não era otimizado para utilização de placas ESP32. Para um efeito comparativo, o de sketch de utilização do sensor AD8232 levava 12 segundos para compilar em uma placa Arduino Uno. Ao tentar

utilizar esse mesmo sketch na placa ESP32, o tempo de compilação aumentava para 12 minutos. Por conta disso, alterações mínimas no código como o valor de variáveis ocasionavam em um aumento excessivo no tempo de obtenção de resultados. A otimização desse tempo só foi possível cerca de 2 meses após o início do projeto, dado o descobrimento da extensão PlatformIO para o VS Code. Com a utilização dessa plataforma, o tempo reduziu drasticamente de 20 minutos para 1 minuto, na versão final do código.

Os resultados da parte eletrônica constam com a realização do circuito elétrico do projeto:

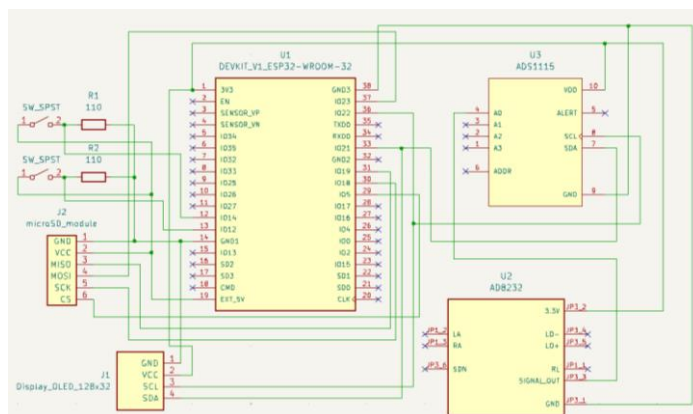


Figura 4: Esquema elétrico parcial do projeto, até o momento sem o RTC.

Também foi instruído previamente a realização da modelagem das placas no software KiCad para impressão das trilhas de cobre, as ligações eletrônicas, em placas de PCI. No entanto, por não se ter o circuito completamente montado, essa etapa foi descartada.

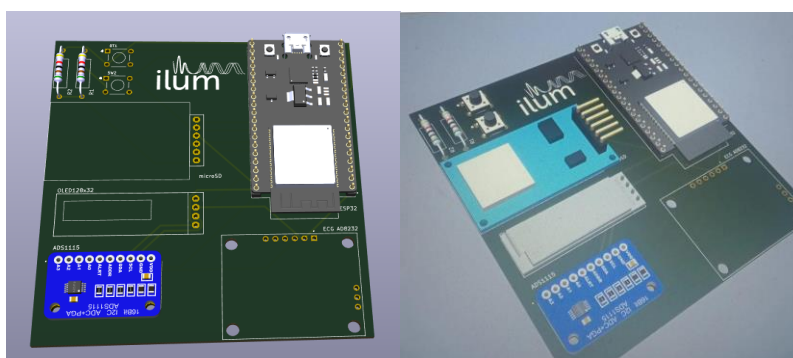


Figura 5: Modelagem da placa 3D no software KiCad para impressão em PCIs.

Por fim, foi realizada a montagem e a confecção de um esquemático para melhor visualização das ligações eletrônicas do circuito:

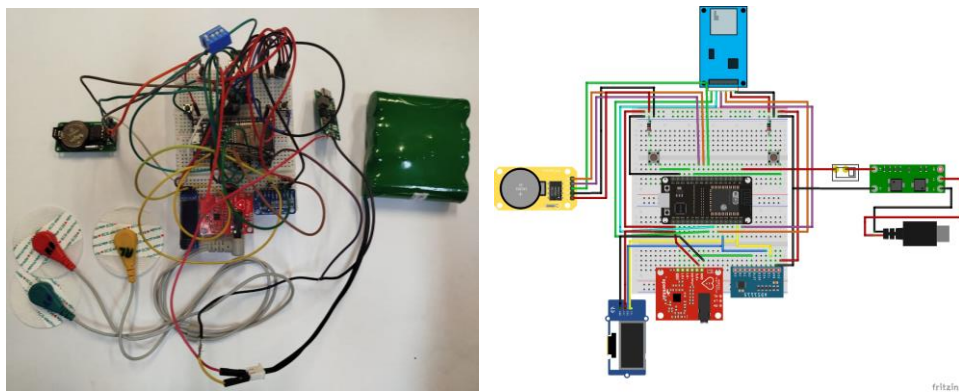


Figura 6: Comparação do circuito eletrônico com o esquemático feito no Fritzing.

A programação da ESP32 é baseada na criação de arquivos “.txt” que serão preenchidos com os dados da leitura do sensor AD8232 a cada linha. A primeira linha de cada arquivo é composta por uma string que indica a data e a hora de criação daquele arquivo, sendo essas strings obtidas pela função referente ao sensor RTC. Por fim, ao se concluir 1 minuto de leitura, é adicionado uma última linha com a data e a hora de finalização daquele arquivo.

## 2. APLICATIVO

Por conta dos atrasos na finalização da parte eletrônica, o tempo dedicado para confecção do aplicativo não foi o suficiente para sua finalização. Apesar disso, construiu-se um código em Python utilizando o Jupyter Notebook que tem justamente as funções que deveriam ser atribuídas ao aplicativo. As funções desse Jupyterbook constam com:

- Realização da conexão serial Bluetooth com a ESP32 para recebimento dos dados “.txt”;
- Identificação do batimento cardíaco por minuto;
- Plotagem de um gráfico do perfil médio da frequência cardíaca;
- Identificação e plotagem dos picos padrões do ECG (P,Q,S,T);
- Análise segmentada do ECG ao longo do tempo;
- Identificação de anomalias no perfil do ECG do usuário.

O recebimento dos arquivos via Bluetooth é feito realizando uma ligação serial como dispositivo, com isso vamos adicionando cada “.txt” em uma pasta chamada “Dados”, ao mesmo tempo em que vamos concatenando cada arquivo em um arquivo concatenado de todos os minutos lidos que é salvo em uma pasta chamada “Concatenados”.

Utilizando os dados de ECG lidos do aluno André durante 5 minutos, foi possível obter os seguintes resultados utilizando o Jupyterbook:

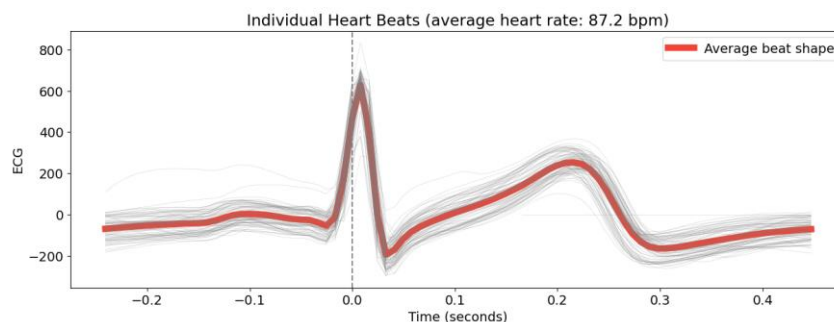


Figura 7: Perfil médio do ECG do aluno André.

O perfil médio do ECG é a sobreposição de todos os padrões ECG que gera a melhor representação ECG para os dados daquele tempo, é demarcado como a linha vermelha. As linhas cinzas são padrões ECG, onde sobrepostos do perfil médio apresentam variações, como é possível ver perfis anormais. Por meio desse gráfico, pode-se saber se nossa obtenção dos dados foi boa, visto que o padrão ECG é bem definido. Para efeito de comparação, o perfil médio de ECG para outro aluno que se dispôs a doar seus dados é esse:

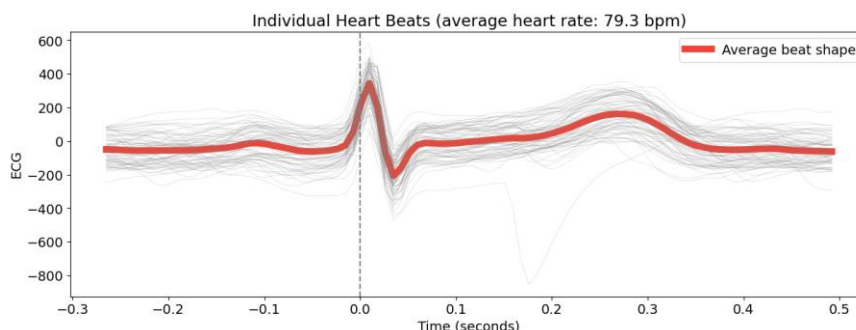


Figura 8: Perfil médio do ECG para um aluno convidado.

Além disso, percebe-se que foi atingido o valor para o batimento por minuto de cada aluno dado a leitura de 1 minuto.

A segunda análise que pode-se obter com o código é sobre a identificação dos picos, essa análise é mais complexa pois pode trazer diversos significados dependendo de como seus eletrodos foram colocados. Para o caso do aluno André, foi obtido a seguinte identificação de picos:

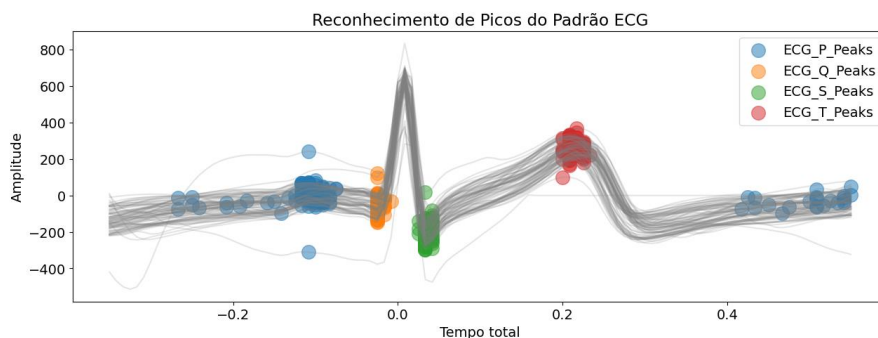


Figura 9: Reconhecimento dos picos do ECG para o aluno André.

É possível notar pelo gráfico que a leitura do sinal pelo equipamento teve um bom desempenho, visto que os pontos de identificação estão muito bem agrupados e é possível checar na **Figura 3** que estão na mesma região que deveriam estar. Além disso, assim como na primeira análise, pode-se notar os pontos que mais se desviaram do esperado.

Por fim, foi plotado a análise temporal e segmentada dos dados de 1 minuto. A segmentação é um processo importante visto que se fosse plotado um gráfico de ECG com duração de 1 minuto a quantidade de informação que podem ser obtidas cairia muito.

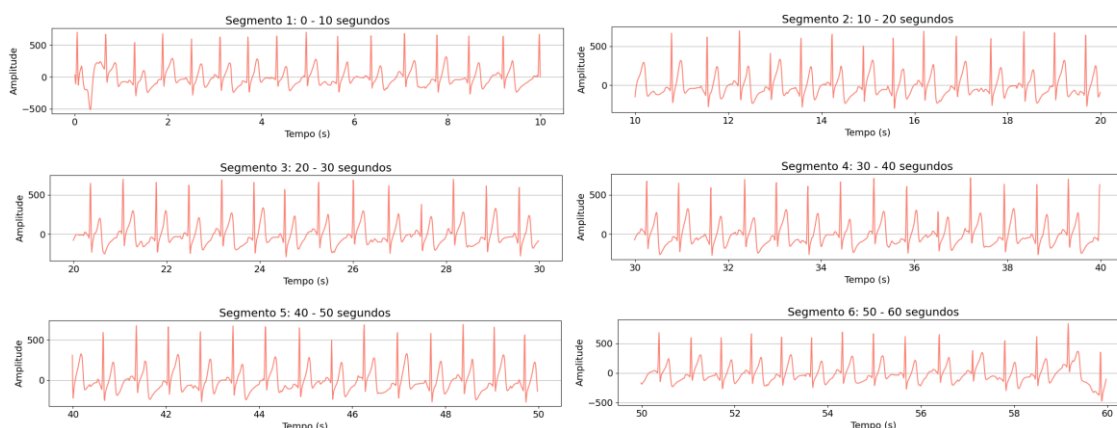


Figura 10: Análise temporal segmentada do ECG de 10 em 10 segundos ao longo de 1 minuto.

Finalizando as análises possíveis com o programa, é possível ter o cálculo de anomalias durante o período de leitura. Esse cálculo é feito calculando a distância entre os picos R-R, com base nisso podemos identificar batimentos anormais, como taquicardia, e obter em porcentagem quanto do ECG está anormal, para ter uma base se isso realmente é um pico anormal ou se sua leitura está muito ruim. No caso do aluno André, não foi identificado nenhuma anomalia nesse período.



## CONCLUSÕES

Mesmo não tendo sido possível a realização de todo o projeto idealizado, foi finalizada toda a parte de conexões elétricas e eletrônicas do protótipo. Em uma próxima etapa o protótipo, evoluiria para algo semelhante visto na **Figura 4**. Por fim, foi possível relatar todo processo computacional no GitHub do projeto [34], o qual contém os sketches elaborados pela dupla, sendo eles: o código final da ESP32, o aplicativo feito no Jupyterbook e os dados de fornecidos pelo dispositivo.

A conclusão deste trabalho reflete os desafios enfrentados não apenas pela complexidade técnica, mas também por questões relacionadas à orientação. Apesar das frequentes cobranças, o orientador não forneceu o suporte necessário para resolver os problemas apresentados, frequentemente sugerindo que todas as respostas estavam disponíveis na internet. Essa abordagem limitou o aprendizado e a autonomia dos participantes. Além disso, houve percepção de um tratamento desigual entre os alunos, influenciado por questões de gênero, o que prejudicou a motivação da equipe. Esta situação já foi repassada para a coordenadora de pesquisa.

Apesar dessas dificuldades, o esforço e a busca independente por soluções permitiram a conclusão do projeto, destacando a importância de uma orientação colaborativa para o sucesso final do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Coração”, Ministério da Saúde. Acesso em: 27 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saes/snt/doacao-de-orgaos/transplante-orgaos/coracao/coracao>
- [2] M. Varella, “Coração - Portal Drauzio Varella”. Acesso em: 27 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/coracao/>
- [3] “PCR - EERP/USP”. Acesso em: 27 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: [http://www2.eerp.usp.br/Nepien/PCR/car\\_circulacao.html](http://www2.eerp.usp.br/Nepien/PCR/car_circulacao.html)
- [4] R. B. Dextro, “Coração - anatomia do coração humano - Biologia”, InfoEscola. Acesso em: 27 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/anatomia-humana/coracao/>
- [5] “Sistema circulatório das aves. Aves e seu sistema circulatório”, PrePara Enem. Acesso em: 27 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/biologia/sistema-circulatorio-das-aves.htm>
- [6] “Congestive Heart Failure: What Does It Mean?”, Cleveland Clinic. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/17069-heart-failure-understanding-heart-failure>
- [7] “Heart failure”, nhs.uk. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.nhs.uk/conditions/heart-failure/>



- [8] “Quais são as principais doenças do coração?” Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://vidasaudavel.einstein.br/conheca-quais-sao-as-4-principais-doencas-do-coracao/>
- [9] “Arrhythmias - What Is an Arrhythmia? | NHLBI, NIH”. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <http://www.nhlbi-nih.gov/health/arrhythmias>
- [10] “Heart rhythm problems (arrhythmia)”, nhs.uk. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.nhs.uk/conditions/arrhythmia/>
- [11] “What you need to know about arrhythmias”, Cleveland Clinic. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/16749-arrhythmia>
- [12] “Arritmias cardíacas”, Tribunal de Justiça do Distrito Federal e dos Territórios. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/informacoes/programas-projetos-e-acoas/pro-vida/dicas-de-saude/pilulas-de-saude/arritmias-cardiacas>
- [13] E. da C. CEU, “Conheça 5 exames que detectam doenças cardíacas”, Clínica CEU Diagnósticos. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.clinicaceu.com.br/blog/exames-que-detectam-doencas-cardiacas/>
- [14] “Electrocardiogram (EKG/ECG)”, Cleveland Clinic. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/16953-electrocardiogram-ekg>
- [15] “COVID-19: um dos tratamentos pode causar danos – Temas em Cardiologia”. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://temasemcardiologia.com.br/covid-19-um-dos-tratamentos-pode-causar-danos/>
- [16] “Intervalos e Segmentos do Eletrocardiograma”. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://pt.my-ekg.com/generalidades-ecg/intervalos-segmentos-ecg.html>
- [17] D. J. A. Morsch, “Como comprar o holter cardíaco ideal para minha clínica?”, Telemedicina Morsch: Referência em laudo a distância no Brasil. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://telemedicinamorsch.com.br/blog/holter-cardiaco>
- [18] D. J. A. Morsch, “Laudo de holter à distância: como funciona e como contratar?”, Telemedicina Morsch: Referência em laudo a distância no Brasil. Acesso em: 26 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://telemedicinamorsch.com.br/blog/laudo-holter>
- [19] “Monitor de Eventos Sintomáticos 15 Dias: O que é, como é feita e qual o preparo”. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.rededorsaoluiz.com.br/exames-e-procedimentos/cardiologicos/monitor-eventos-sintomaticos-15-dias>
- [20] “Event Monitor”. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/event-monitor>
- [21] “DOIT ESP32 DEVKIT V1 — PlatformIO latest documentation”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://docs.platformio.org/en/latest/boards/espressif32/esp32doit-devkit-v1.html>
- [22] “Protoboard 400 Pontos”, Eletrogate. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/protoboard-400-pontos>
- [23] “Push Button (Chave Tátil) 6x6x5mm”, Eletrogate. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/push-button-chave-tactil-6x6x6mm>
- [24] “Resistor 220Ω 1/4W”, MakerHero. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/resistor-220-1-4w/>
- [25] “Módulo Conversor analógico Digital ADS1115”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: [https://www.wjcomponentes.com.br/shields/modulo-conversor-analogico-digital-ads1115?parceiro=6298&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvygOLic7CpIhdo6auNxbdQUaHWnkV6HEJcQ-mKfTbCHrdj3IHucmGWxoC0UYQAvD\\_BwE](https://www.wjcomponentes.com.br/shields/modulo-conversor-analogico-digital-ads1115?parceiro=6298&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvygOLic7CpIhdo6auNxbdQUaHWnkV6HEJcQ-mKfTbCHrdj3IHucmGWxoC0UYQAvD_BwE)

- [26] T. Tecnologia, “Sensor de ECG AD8232 (Pulso e Frequência Cardíaca)”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.wjcomponents.com.br/sensores/sensor-de-ecg-ad8232-pulso-e-frequencia-cardiaca>
- [27] T. Tecnologia, “Tela Display Oled 0.91”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.wjcomponents.com.br/tela-oled-0-91>
- [28] “Módulo Relógio Tempo Real RTC - DS1302”, Usinainfo. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/rtc-arduino/modulo-relogio-tempo-real-rtc-ds1302-2301.html>
- [29] “Multi-Célula 2S 3S 4S Tipo C A 8.4V 12.6V 16.8V Carregador De Íons De Lítio De Polímero LiPo 7.4V 11.1V 14.8V 18650 Bateria | Shopee Brasil”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://shopee.com.br/Multi-Célula-2S-3S-4S-Tipo-C-A-8.4V-12.6V-16.8V-Carregador-De-Íons-De-Lítio-De-Polímero-LiPo-7.4V-11.1V-14.8V-18650-Bateria-i.346512197.18997133658>
- [30] “Jumpers - Macho/Macho - 40 Unidades de 10cm”, Eletrogate. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/jumpers-macho-macho-40-unidades-de-10-cm>
- [31] “Visual Studio Code - Code Editing. Redefined”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://code.visualstudio.com/>
- [32] “Software | Arduino”. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [33] PlatformIO, “PlatformIO: Your Gateway to Embedded Software Development Excellence”, PlatformIO. Acesso em: 25 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://platformio.org>
- [34] “andre-aracaetano/IPIII-ECG”, GitHub. Acesso em: 29 de novembro de 2024. [Online]. Disponível em: <https://github.com/andre-aracaetano/IPIII-ECG>