Sistema de Monitoramento Clínico Remoto para Supervisão de Doenças Cardiovasculares (DVC)

João Victor B. Soares * **Luana R. Gomes** * **José Ricardo B. da Silva** *
Geanne T. F. Olímpio * **Antônio C. R. Braga** ** **José R. S. Vilchez** *

* *Departamento de Controle e Automação, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-AM, Brasil (e-mail: jvbs.eai19@uea.edu.br, lrg.eai19@uea.edu.br, jrbds21@uea.edu.br, gtfo.eng17@uea.edu.br, jvilchez@uea.edu.br)*
** *Faculdade de Medicina, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-AM, Brasil (e-mail: acrb.med18@uea.edu.br)*

Abstract: This article presents the development of a remote monitoring system for biomedical signals, such as electrocardiogram (ECG) and blood oxygenation, through the Internet of Things (IoT) technology. The goal is to assist in the clinical supervision of patients with cardiac and respiratory diseases, enabling the early identification of adverse conditions. The system consists of a prototype that captures biomedical signals through sensors connected to the patient, transmitting them remotely to a mobile application for real-time recording and visualization. The integration of telemedicine and automation provides greater convenience for both doctors and patients, allowing continuous monitoring and remote medical intervention. The efficiency of the system has been proven in the capture, transmission, and classification of data, offering comprehensive analysis and detection of abnormalities.

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de sinais biomédicos, como eletrocardiograma (ECG) e oxigenação sanguínea, por meio da tecnologia *Internet of Things* (IoT). O objetivo é auxiliar na supervisão clínica de pacientes com doenças cardíacas e respiratórias, permitindo a identificação precoce de condições adversas. O sistema consiste em um protótipo que captura os sinais biomédicos por sensores conectados ao paciente, transmitindo-os remotamente para um aplicativo móvel de registro e visualização em tempo real. A integração da telemedicina e automação proporciona maior comodidade para médicos e pacientes, permitindo supervisão contínua e intervenção médica à distância. A eficiência do sistema foi comprovada na captação, transmissão e classificação dos dados, oferecendo análises abrangentes e detecção de anormalidades.

Keywords: Monitoring; Biomedical Signals; Internet of Things; Telemedicine; Automation.

Palavras-chaves: Monitoramento; Sinais Biomédicos; Internet das Coisas; Telemedicina; Automação.

1. INTRODUÇÃO

A convergência entre os avanços tecnológicos e a área da saúde tem proporcionado inúmeras oportunidades para aprimorar os cuidados médicos e promover uma abordagem mais eficaz e centrada no paciente. Nos últimos anos, a telemedicina tem se destacado como uma solução inovadora e essencial, impulsionada pela necessidade de fornecer serviços de saúde à distância, especialmente durante a pandemia de COVID-19 (Singh et al., 2020).

A capacidade de fornecer cuidados de saúde de forma remota e contínua tem se mostrado crucial para garantir a segurança dos pacientes, minimizar a sobrecarga dos sistemas de saúde e facilitar o acesso aos cuidados, mesmo em áreas remotas ou com recursos limitados (Taylor et al., 2018).

As doenças cardiovasculares (DCV) são umas das principais causas de óbito na sociedade moderna, são denominadas como uma série de patologias relacionadas com o sistema circulatório do corpo humano, entre elas são: Hipertensão Arterial Crônica, Insuficiência Cardíaca, Doença Cerebrovascular, Doença Coronariana, Trombose Venosa Profunda entre outras (Collaborators, 2020). No Brasil, as DCV são as principais causas de morte levando ao aumento da morbidade e dos anos de vida ajustados por incapacidade.

A instrumentação biomédica, aliada à telemedicina, tem sido uma solução promissora para o monitoramento remoto de pacientes. Sensores e dispositivos de aquisição de dados têm sido desenvolvidos para coletar e transmitir informações precisas e confiáveis sobre sinais vitais, como frequência cardíaca, pressão arterial, saturação de oxigênio e função pulmonar (Javaid and Khan, 2021). Esses dados são então enviados de forma segura para os profissionais de saúde, permitindo uma avaliação precisa do estado do paciente e uma tomada de decisão mais informada (Baker and Stanley, 2018).

Os aplicativos móveis também têm se mostrado uma ferramenta valiosa no gerenciamento de doenças. Eles permitem que os pacientes monitorem seus sinais vitais, registrem sintomas, recebam lembretes de medicamentos e acessem informações relevantes sobre sua condição de saúde. Além disso, os aplicativos móveis podem fornecer orientações personalizadas, dicas de estilo de vida saudável e até mesmo recursos de educação em saúde, capacitando os pacientes a tomar decisões informadas e se envolverem ativamente em seu autocuidado (da Silva Carvalho et al., 2022).

Diante dessa perspectiva, visando monitorar, melhorar os atendimentos, a morbimortalidade e a proposta terapêutica de pacientes com DCVs, foi criado um protótipo com os sensores AD8232 e MAX30102 integrados com ESP *Lora* que monitora sinais vitais, como: saturação de oxigênio e monitoramento cardíaco através do eletrocardiograma (ECG) que são exames indispensáveis para esses pacientes.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Saturação de oxigênio no sangue

Avaliar a saúde cardiovascular e o estado geral do paciente envolve análisar dois parâmetros fundamentais: a taxa de saturação de oxigênio (SpO2) e a frequência cardíaca (FC) (de Fátima Galvão Rosa and Betin, 2020).

A saturação de oxigênio (SpO2) refere-se à proporção de hemoglobina oxigenada em relação à quantidade total de hemoglobina presente em 100 ml de sangue. A hemoglobina é uma proteína que desempenha o papel de transportar o oxigênio dos pulmões para as células.

A medição da SpO2 é essencial para a avaliação e a eficiência do transporte de oxigênio no organismo. Para isso, utiliza-se um oxímetro de pulso, um dispositivo médico não invasivo, colocado no dedo da mão ou do pé do paciente, que detecta a quantidade de oxigênio presente no sangue. Essa informação é prontamente exibida no visor do oxímetro, oferecendo uma indicação imediata (de Fátima Galvão Rosa and Betin, 2020).

Quando o nível de saturação de oxigênio está abaixo do normal, caracteriza-se a hipoxemia, indicando uma redução na quantidade de oxigênio transportada pelo sangue. Essa medida é especialmente importante em situações como doenças pulmonares, problemas cardíacos, cirurgias ou internações hospitalares. A Tabela 1 apresenta os niveis SpO2 e suas classificações.

Tabela 1. Niveis de saturação de oxigênio sanguíneos.

Nível de Saturação de Oxigênio no Sangue	
95-99%	Normal
91-94%	Hipoximia leve
86-90%	Hipoximia moderada
<86%	Hipoximia severa

O oxímetro de pulso desempenha um papel fundamental na prática clínica, proporcionando uma forma conveniente e confiável de verificar a saturação de oxigênio em tempo real, sem a necessidade de procedimentos invasivos. Sua utilização oferece aos profissionais de saúde informações valiosas para auxiliar no diagnóstico, tratamento e monitoramento contínuo do estado clínico do paciente.

2.2 Eletrocardiograma

A detecção precoce de doenças, especialmente arritmias cardíacas, desempenha um papel fundamental na prevenção de danos à saúde. O eletrocardiograma (ECG) é um exame da atividade elétrica do coração amplamente utilizado na prática clínica diária devido à sua natureza de baixo custo, não invasiva e livre de riscos. Ele desempenha um papel fundamental na identificação de condições graves, como infarto do miocárdio, arritmias cardíacas, distúrbios hidroeletrolíticos e tromboembolismo pulmonar (Maia et al., 2021).

Essa avaliação da atividade elétrica cardíaca é realizada por meio de eletrodos fixados na pele, que captam essa atividade e a representam como ondas P, complexo QRS e onda T. Essas ondas refletem os processos de despolarização e repolarização dos átrios e ventrículos do coração, como ilustrado na Figura 1.

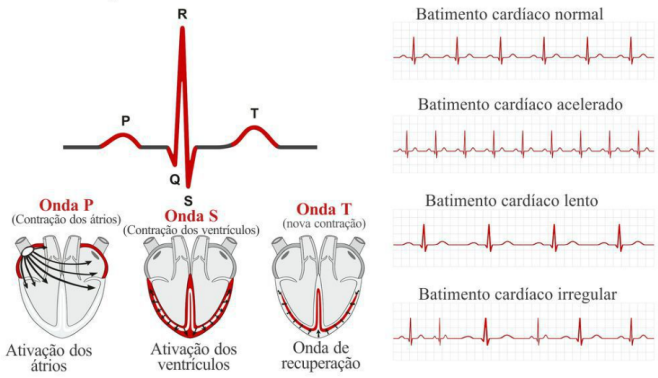

Figura 1. Eletrocardiograma: elementos e classificações. Fonte: Medicinas Mitos e Verdades.

Através das novas tecnologias, os dispositivos para monitoramento da atividade cardíaca foram reduzidos em tamanho e peso, permitindo uma maior portabilidade e comodidade.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para esta proposta foi organizada seguindo um fluxograma, como mostrado na Figura 2. Após uma revisão da literatura, o projeto foi separado em duas seções distintas: 1) *Hardware*, que envolve o desenvolvimento do protótipo para aquisição dos sinais biomédicos; e 2) *Software*, que abrange a criação de aplicativos móveis integrados através de uma conexão *Bluetooth*.

3.1 Protótipo (Hardware)

O *hardware* é composto pela integração dos sensores biomédicos MAX30102 e AD8232, responsáveis pela aquisição dos sinais, em conjunto com o microcontrolador ESP32 *LoRa*. Essa configuração oferece uma solução eficaz para o monitoramento clínico remoto.

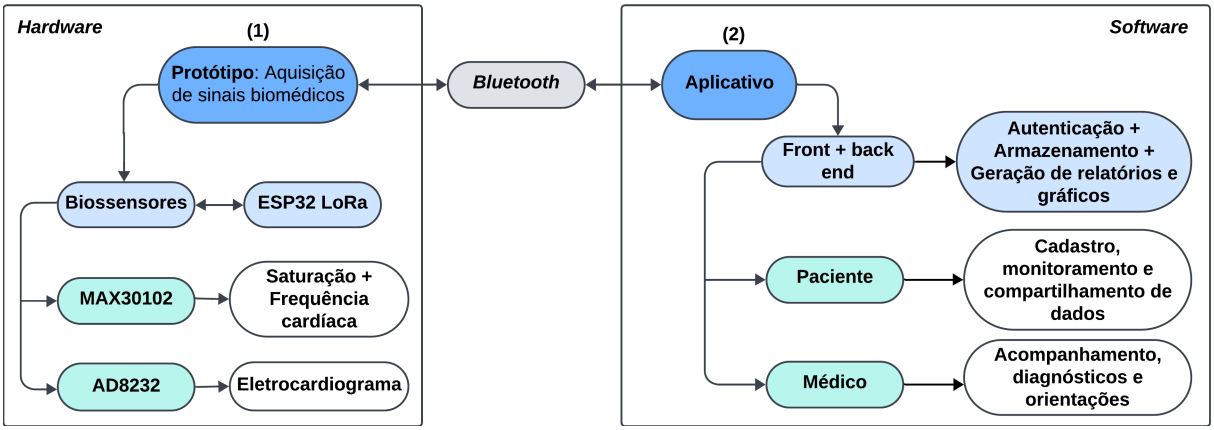

Figura 2. Metodologia adotada do sistema de monitoramento.

i) ***Sensor MAX30102***

O sensor MAX30102 utiliza a tecnologia de fotopletismografia para medir a quantidade de luz absorvida pelos vasos sanguíneos na pele do paciente. Essa técnica é baseada na capacidade da hemoglobina de absorver diferentes comprimentos de onda de luz, dependendo do seu nível de oxigenação (Products, 2015).

O sensor, equipado com fotodetectores sensíveis, emite luz vermelha e infravermelha na pele. Estes são responsáveis por captar a luz refletida pelos vasos sanguíneos presentes na região, como mostra a Figura 3. Ao medir a quantidade de luz absorvida pelos vasos sanguíneos, o sensor MAX30102 é capaz de determinar o nível de oxigenação do sangue e, consequentemente, a saturação de oxigênio (Products, 2015).

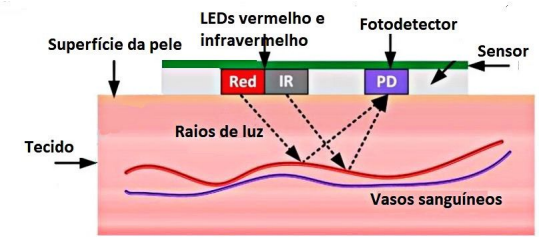

Figura 3. Funcionamento do sensor MAX30102.

ii) ***Sensor AD8232***

O sensor AD8232 é um dispositivo de monitoramento cardíaco que captura os sinais elétricos do coração por meio da técnica de eletrocardiografia (ECG). Ele utiliza eletrodos de superfície colocados na pele do paciente, conforme Figura 4, para detectar as variações na voltagem elétrica gerada pelas contrações do músculo cardíaco. Com circuitos de amplificação e filtragem integrados, o AD8232 processa os sinais elétricos e os converte em um sinal analógico de saída (Devices, 2020).

iii) ***ESP Lora***

O ESP32, fundamentado no *chip* ESP32, é um módulo de comunicação sem fio que integra *Wi-Fi*, *Bluetooth* e tecnologia de rádio *LoRa*. Essa combinação possibilita a transmissão eficiente de dados em longas distâncias, com consumo reduzido de energia. Altamente adaptável, esse módulo é ideal para aplicações de IoT que demandam conectividade de alcance estendido, como monitoramento remoto e rastreamento de ativos (Atiwanwong and SawethHongprasit, 2020). O diagrama esquemático do sistema elaborado para o monitoramento pode ser visualizado na Figura 5.

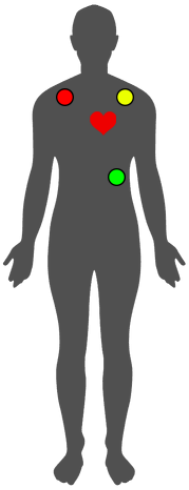

Figura 4. Esquemático do monitoramento cardíaco utilizando eletrodos alocados no corpo.

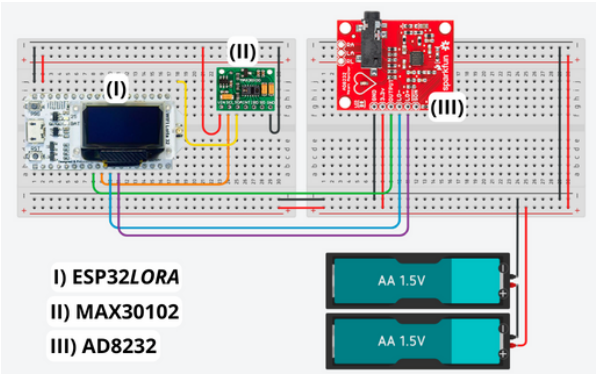

Figura 5. Esquemático geral do sistema.

3.2 Aplicativo Móvel (Software)

O sistema de monitoramento remoto é uma adição, porém não substitutiva, ao papel dos profissionais de saúde, pois a interpretação precisa dos dados e as intervenções médicas

requerem conhecimento especializado. A colaboração entre pacientes e profissionais de saúde através de um aplicativo, permite os diagnósticos e recomendações médicas baseadas nos dados obtidos. O sistema possui dois níveis de acesso: um para médicos e outro para pacientes, como apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

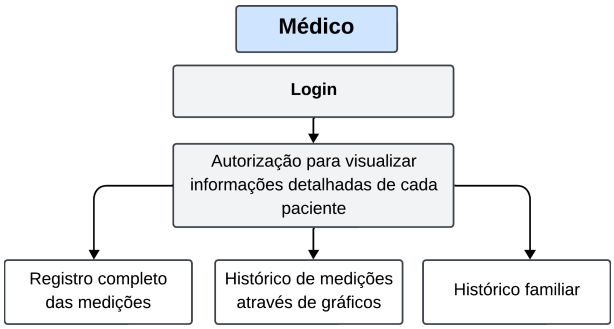

Figura 6. Fluxograma de acesso do médico.

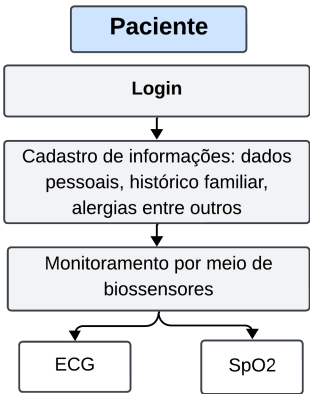

Figura 7. Fluxograma de acesso do paciente.

i) ***Back-end* e *front-end***

O *back-end* do sistema de monitoramento remoto desempenha funções vitais, incluindo autenticação de usuários, armazenamento seguro de dados do paciente, comunicação entre profissionais de saúde e pacientes, representação gráfica de dados e geração de relatórios consolidados para análise médica. Essas características garantem acesso seguro às informações, facilitam a interação entre usuários, fornecem visualizações claras dos dados e permitem análises precisas para a tomada de decisões médicas embasadas.

O *front-end* do aplicativo de monitoramento remoto oferece recursos fundamentais para garantir uma experiência do usuário otimizada. Isso inclui autenticação segura, entrada intuitiva de dados para pacientes e acesso rápido para médicos, medições diretas pelos pacientes e visualização gráfica clara dos dados históricos. Além disso, proporciona uma interface de comunicação segura para pacientes e médicos se conectarem, garantindo assistência personalizada.

ii) ***Integração***

As tecnologias adotadas abrangem o uso do *React* JS para o *front-end* da aplicação *web*, fornecendo uma interface amigável e intuitiva com suporte a *JavaScript*, *Typescript*, HTML e CSS. Para gerenciamento de banco de dados, autenticação de usuários e notificações, foi utilizado o *Firebase*, uma plataforma de *back-end* em nuvem facilmente integrável. Quanto ao *hardware* encarregado das medições de ECG e saturação, este transmite os dados por meio de *Bluetooth*, os quais são então armazenados no *Firebase* para acesso futuro e referência histórica. O fluxo de informações está representado no diagrama apresentado na Figura 8 abaixo.

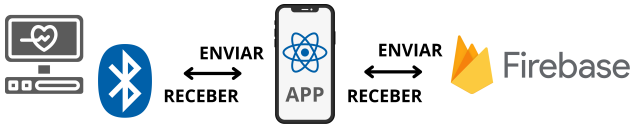

Figura 8. Validação do sistema de *hardware* e *software*.

3.3 Validação

Após a integração completa do sistema, uma extensa bateria de testes foi realizada, abrangendo tanto o *hardware* quanto o *software*, com o objetivo de realizar ajustes minuciosos até que os resultados alcançassem os padrões desejados. Após a confirmação da conformidade técnica, o projeto foi submetido à Plataforma Brasil e encaminhado ao Comitê de Ética da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), com o protocolo 5016. O processo ainda encontra-se em fase de análise.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a eficácia na integração de dados a partir dos sensores biomédicos utilizados. Os dados coletados e classificados apresentaram concordância com referência literária. A versão final do protótipo pode ser vista em Figura 11.

Para a captação dos dados de saturação sanguínea, foram utilizados um oxímetro digital e o sensor MAX30102. A coleta de dados ocorreu ao longo de 7 dias, com duas leituras diárias realizadas: uma pela manhã e outra à tarde. Os resultados das medições durante o período matutino pode ser visualizados na Figura 12, onde se observa uma taxa de erro médio de aproximadamente 1,57%. No entanto, ao analisar o gráfico de *Bland-Altman* (Figura 13), que representa a diferença entre as medições e sua média, nota-se que apenas duas medições excederam o limite de 2% de desvio, que é esperado tanto para o oxímetro digital quanto para o sensor MAX30102.

Por outro lado, ao observar os resultados do período vespertino na Figura 14, onde foi registrada uma taxa de erro médio de aproximadamente 1%, constata-se que nenhum dos valores excedeu o desvio previsto no gráfico de Bland-Altman apresentado na Figura 15. Esta análise sugere uma concordância satisfatória entre os dispositivos durante o período vespertino, enquanto pequenas discrepâncias foram observadas durante o período matutino, embora a maioria das medições ainda esteja dentro do intervalo de desvio aceitável.

Foram realizados testes do equipamento na primeira versão do protótipo para aferição de Eletrocardiograma, antes de implementarmos os processos de filtragem. Na Figura 16, podemos verificar as 3 derivações que abordamos neste protótipo, evidenciando a formação do complexo

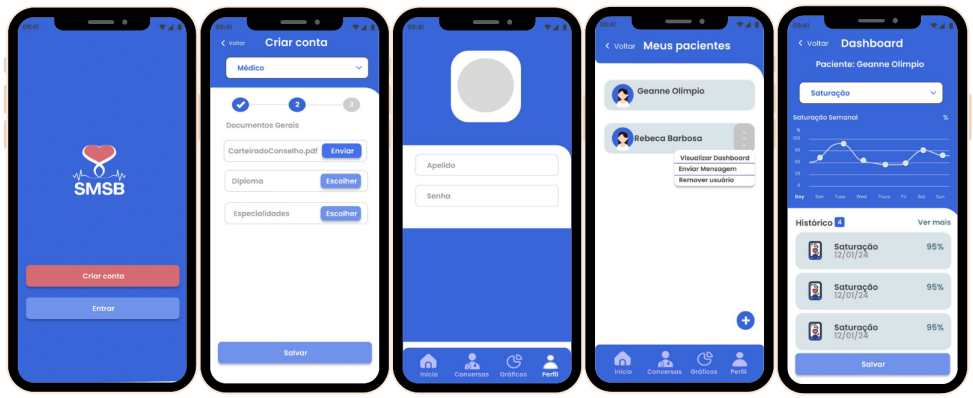

Figura 9. Principais telas de acesso do médico.

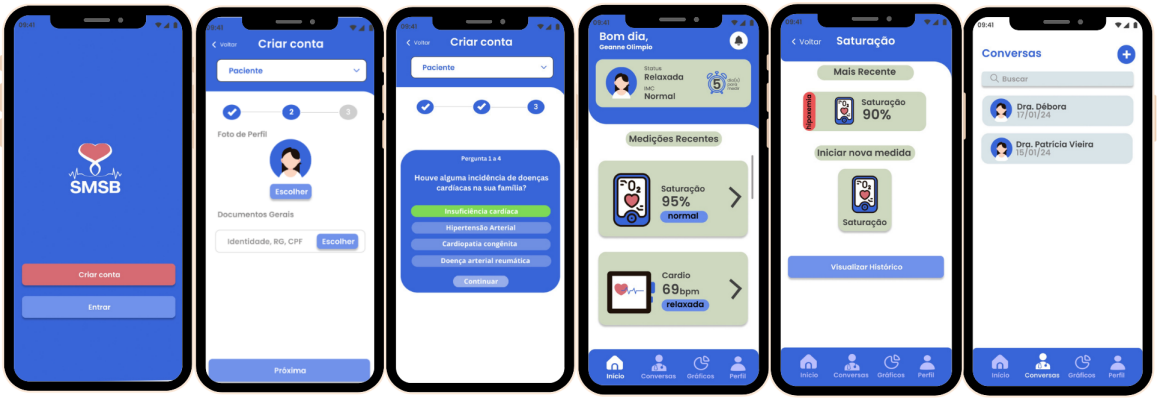

Figura 10. Principais telas de acesso do paciente.

Figura 11. Protótipo do Sistema de Monitoramento de Sinais Biomédicos (SMSB).

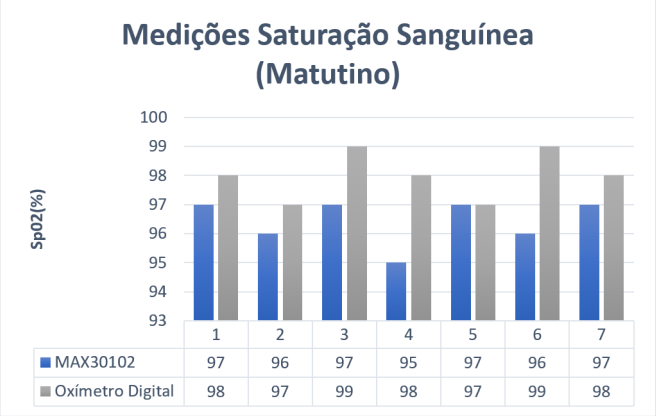

Figura 12. Gráfico de saturação - Matutino.

PQRSTU no seu traçado, principalmente na primeira derivação (aVR). Nota-se que está notável a semelhança na primeira derivação com a de um eletro, com a onda central semelhante à onda QRS. Na segunda derivação (aVL), há a presença de várias ondas e uma maior "despolarização" no que tange à onda U, contudo isso pode ser apontado como um ruído na aferição. Vale a nota da quantidade de ondas encontradas nesta derivação, sendo muito superior em amplitude que a primeira derivação. Tratando da terceira derivação (aVF), temos maior influência de ruídos e/ou artefatos na aferição, dificultando a leitura e validação para um eletrocardiograma.

Após pesquisa e criação de filtros para os fins desta pesquisa, esta etapa, ao analisarmos apenas a derivação aVR (Figura 17), podemos perceber uma formação de onda P, além da presença mais nítida e objetiva do complexo QRS e T, mostrando avanços na captação do sistema de polarização e repolarização cardíaco.

Tratando sobre a aplicação na derivação aVL (Figura 18), detectamos um avanço notável em relação à clareza do eletrocardiograma, assemelhando-se com o aferido por equipamentos frequentemente comercializados para a mesma função. Um detalhe digno de atenção é a onda T, onde podemos apontar como "onda de recuperação", que apresentou grande despolarização.

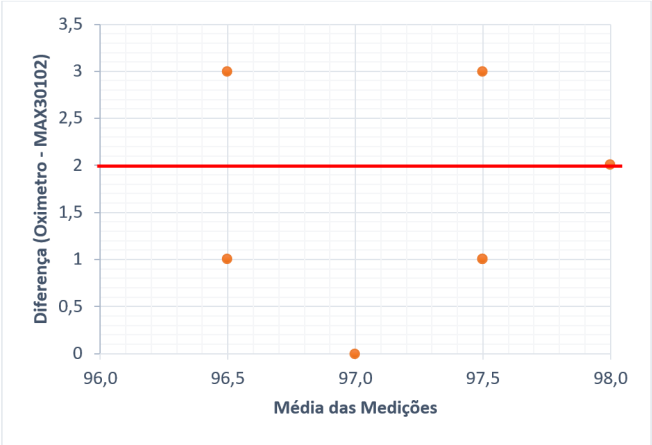

Figura 13. Gráfico de Bland-Altman - Matutino.

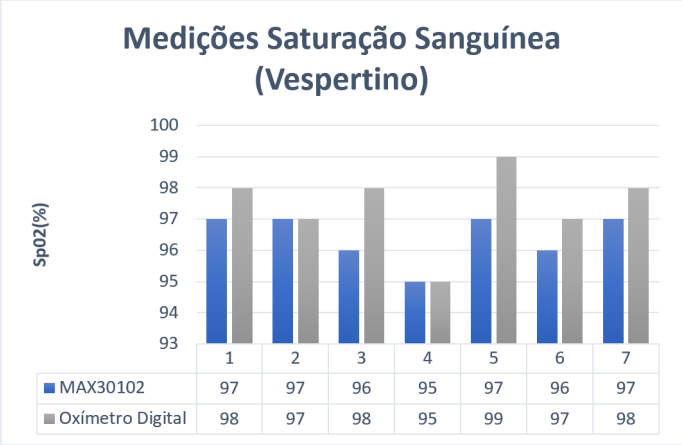

Figura 14. Gráfico de saturação - Vespertino.

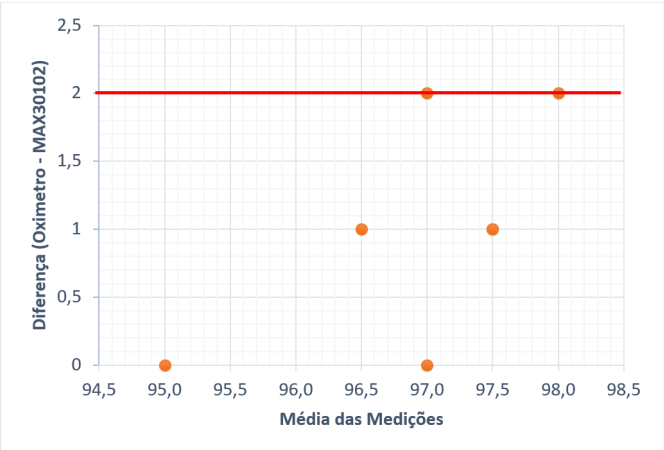

Figura 15. Gráfico de Bland-Altman - Vespertino.

Nota-se, ainda, a melhor exclusão de ruídos e artefatos na amostra, indicando bom funcionamento do filtro. Por fim, ao refazermos o teste com a versão mais recente do protótipo e já com a aplicação dos filtros no sistema próprio, obtivemos um resultado próximo ao coletado por eletrocardiograma padrão, visto na Figura 19.

Nele, podemos ver com clareza as ondas P, QRS e T, com discreta variação em suas amplitudes, quando comparado com um ECG típico, indicando a possibilidade de avanços

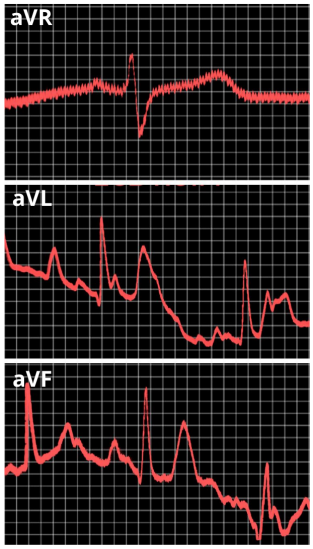

Figura 16. Resultados de teste da coleta de dados sem processo de filtragem.

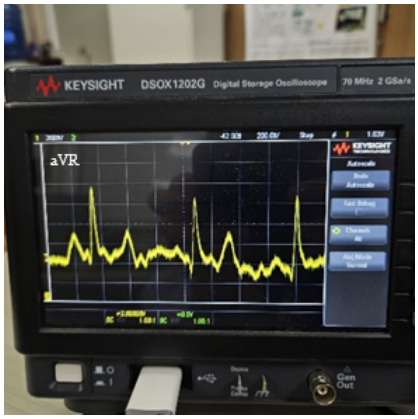

Figura 17. Aplicação de filtros na derivação aVR da amostra.

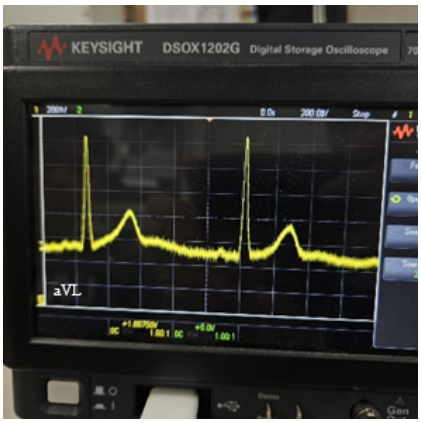

Figura 18. Aplicação de filtros na derivação aVL da amostra.

no processo de filtragem dos dados. Além disso, a aferição pode ter sido comprometida por um movimento do paciente ou alguma interferência elétrica externa, conforme evidenciado na Figura.

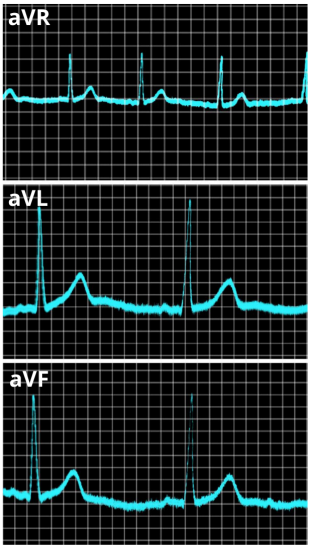

Figura 19. Dados coletados em teste preliminar com aplicação dos filtros desenvolvidos.

Através do aplicativo (Figura 9 e 10), foi possível monitorar em tempo real os sinais vitais, como a saturação de oxigênio e o ECG, e receber alertas de situações de emergência ou necessidade de atenção médica .

Os resultados obtidos até o momento demonstram promissor progresso na área de instrumentação biomédica e abrem caminho para o desenvolvimento de soluções avançadas de monitoramento cardiorrespiratório, contribuindo para uma melhor assistência médica e acompanhamento remoto de pacientes.

5. CONCLUSÃO

O sistema de supervisão e monitoramento clínico remoto apresenta-se como uma solução promissora para melhorar a morbimortalidade de pacientes com DCV. Ao permitir que os pacientes monitorem seus sinais vitais de forma contínua e conveniente, o sistema oferece benefícios como sinais alarme precoce, o acompanhamento efetivo e a prevenção de complicações. Com a integração de sensores e o aplicativo móvel intuitivo, os pacientes têm a oportunidade de obter informações valiosas sobre saúde, incentivando o autocuidado e a tomada de decisões informadas.

O sensor MAX30102 apresentou variações mínimas em relação ao oxímetro digital, enquanto o sensor AD8232 captura um sinal de ECG com características notáveis, apesar da presença de ruídos. A aplicação do filtro passa-baixas no sinal resultou em uma curva mais suave, indicando a efetividade do filtro em reduzir as oscilações.

No entanto, é importante ressaltar que o sistema de monitoramento remoto não substitui a necessidade do envolvimento e orientação de profissionais de saúde. A interpretação adequada dessas informações e a implementação de intervenções para conduta médica exigem o conhecimento e a expertise de profissionais habilitados. Portanto, uma abordagem colaborativa entre pacientes e profissionais de saúde é de fundamental importância para garantir um cuidado individual e eficaz, maximizando os benefícios do sistema.

Para trabalhos futuros, é possível direcionar esforços para aprimorar os algoritmos de classificação, ampliando a precisão e confiabilidade na detecção de situações patológicas. Além disso, a realização de validações clínicas mais abrangentes permitirá uma avaliação mais completa do desempenho do sistema em diferentes cenários do quadro clínico do paciente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da Universidade do Estado do Amazonas/Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST) e ao Laboratório de Automação Inteligente e Controle de Processos (LAICP).

REFERÊNCIAS

Atiwanwong, T. and SawethHongprasit (2020). A low-power real-time pollution monitoring system using esp lora. *MAHASARAKHAM INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY*, 6.

Baker, J. and Stanley, A. (2018). Telemedicine technology: a review of services, equipment, and other aspects. *Current allergy and asthma reports*, 18, 1–8.

Collaborators, G..V. (2020). Five insights from the global burden of disease study 2019. *Lancet*, 17, 1135–1159.

da Silva Carvalho, P.R., Pinto, J.E.M.G., Garbi, G.P., da Silva, A.L.M., and Monteiro, L.V.F. (2022). Desenvolvimento de um protótipo de aplicativo móvel para monitoramento de pacientes com covid-19 atendidos pela atenção primária de saúde. *Research, Society and Development*, 11.

de Fátima Galvão Rosa, A. and Betin, R.C. (2020). Monitoramento da taxa de saturação de oxigênio no sangue efrequência cardíaca via método de magnificação de vídeoeuleriana sem contato físico. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 12, 80–92.

Devices, A. (2020). Single-lead - heart rate monitor front end. URL `https://www.analog.com/en/products/ad8232.html`.

Javaid, M. and Khan, I.H. (2021). Internet of things (iot) enabled healthcare helps to take the challenges of covid-19 pandemic. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 11, 209–214.

Maia, D.L.M., de Lima, C.J.M., Paiva, N.M.T., da Costa Lino, D.O., and Lim, J.L.C. (2021). Uso de softwares digitais como ferramenta de educação médica no ensino na interpretação do eletrocardiograma: uma revisão sistemática. *Society and Development*, 10. doi:http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.12865.

Products, M.I. (2015). High-sensitivity pulse oximeter andheart-rate sensor for wearable healthsystem diagram. URL `https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/859400/MAXIM/MAX30102.html`.

Singh, R.P., Javaid, M., Haleem, A., and Suman, R. (2020). Internet of things (iot) applications to fight against covid-19 pandemic. *Diabetes Metab Syndr*, 14, 521–524.

Taylor, L., Capling, H., and Portnoy, J.M. (2018). Administering a telemedicine program. *Current Allergy and Asthma Reports*, 18, 1–7.