



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

FRANCISCO DANILLO DE LIMA SARMENTO

**PLATAFORMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA PACIENTES
EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA (UTI)**

PAU DOS FERROS

2022

FRANCISCO DANILLO DE LIMA SARMENTO

**PLATAFORMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA PACIENTES
EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA (UTI)**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Francisco Carlos da Silva Gurgel Segundo, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS246 Sarmento , Francisco Danillo de Lima .
PLATAFORMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA
PACIENTES EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA (UTI) /
Francisco Danillo de Lima Sarmento . - 2022.
36 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Computação, 2022.

1. Frequência cardíaca. 2. Saturação de
oxigênio. 3. protocolo MQTT. 4. Monitoramento em
tempo real. I. Segundo, Francisco Carlos Gurgel
da Silva , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO DANILLO DE LIMA SARMENTO

**PLATAFORMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA PACIENTES EM UNIDADE DE
TERAPIA INTENSIVA (UTI)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi Árido, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Computação.

Pau dos Ferros, 17 de Junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

FRANCISCO CARLOS
GURGEL DA SILVA
SEGUNDO:06062106444 **Dados: 2022.06.20
14:07:03 -03'00'**

Prof. Dr. FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO
UFERSA

CECILIO MARTINS DE
SOUSA NETO:06286737448 **Assinado de forma digital por CECILIO
MARTINS DE SOUSA
NETO:06286737448
Dados: 2022.06.20 08:30:48 -03'00'**

Prof. Dr. CECÍLIO MARTINS DE SOUSA NETO
UFERSA

Francisco Sales da Silva Terceiro

Enf. Esp. FRANCISCO SALES DA SILVA TERCEIRO
SESAP/RN

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a toda força superior que tenha me auxiliado neste projeto.

A minha mãe por ter me ajudado a chegar até aqui, a minha irmã Danyelle pela amizade e união, aos meus irmãos Denis e Daian pelo companheirismo. Aos meus amigos pelo suporte. Ao meu parceiro Robson pelo companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Francisco Carlos da Silva Gurgel Segundo, pela paciência e dedicação na orientação deste projeto.

RESUMO

O monitoramento da frequência cardíaca e da saturação de oxigênio sempre se mostrou de fundamental importância no acompanhamento de pacientes em geral. Em diversos quadros clínicos, tais medições são de fundamental importância para a avaliação, diagnóstico e tratamento do paciente. O estudo de formas mais eficientes de realizar tais monitoramentos possibilitou que sensores capazes de medir estas variáveis se tornassem cada vez mais precisos e de baixo custo. A presente pesquisa tem como objetivo a construção de um mecanismo em *hardware*, que através de um sensor capta a frequência cardíaca e a saturação de oxigênio de um paciente e envia estes dados através de um microcontrolador utilizando o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) para um sistema mobile já existente projetado para receber dados. Dessa forma este trabalho se propõe ao estudo da construção de um dispositivo capaz de auxiliar profissionais da saúde em especial em unidades de terapia intensiva (UTI), oferecendo uma forma de monitoramento remoto em tempo real através de dispositivos móveis, se mostrando uma alternativa as tecnologias atuais de monitoramento de pacientes.

Palavras – chave: Frequência cardíaca, Saturação de oxigênio, protocolo MQTT, Monitoramento em tempo real.

Abstract

The monitoring of heart rate and oxygen saturation has always been of fundamental importance in the follow-up of patients in general. In several clinical conditions, such measurements are of fundamental importance for the evaluation, diagnosis, and treatment of the patient. The study of more efficient ways to perform such monitoring has allowed sensors capable of measuring these variables to become increasingly more accurate and low-cost. This research aims to build a hardware mechanism that, through a sensor, captures the heart rate and oxygen saturation of a patient and sends this data through a microcontroller using the MQTT protocol (Message Queue Telemetry Transport) to an existing mobile system designed to receive data. Thus, this work proposes to study the construction of a device capable of assisting health professionals, especially in intensive care units (ICU), offering a form of real-time remote monitoring through mobile devices, showing an alternative to current technologies for patient monitoring.

Keywords: Heart rate, Oxygen saturation, MQTT protocol, Real-time monitoring

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Saturação de oxigênio	14
2.2 Frequência Cardíaca.....	15
2.3 Temperatura corporal.....	16
2.4 NodeMCU	17
2.5 Internet das coisas	17
2.6 Protocolo MQTT	18
2.5.1 Qualidade do serviço (Qos)	19
2.7 OXÍMETRO E FREQUÊNCIA CARDÍACA.....	20
2.8 SENSOR DE TEMPERATURA	20
2.9 APLICAÇÃO MÓVEL	20
3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO	22
3.1 Captação e envio dos dados.....	23
3.1.1 Saturação de oxigênio e frequência.....	23
3.1.2 Módulo MAX30100	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Bibliotecas utilizadas.....	27
4.2 Conexão com o Broker.	27
4.3 Testes dos sensores	28
4.4 Envio para a aplicação móvel	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Monitor Multiparamétrico.....	14
Figura 2 - Módulo ESP8266 NodeMcu.....	13
Figura 3 - Mensagens no Padrão Publish-Subscribe.....	19
Figura 4 – sensor MAX3010.....	20
Figura 5 – aplicação móvel desenvolvida por Oliveira (2021).....	21
Figura 6 - Arquitetura do Sistema.....	22
Figura 7 - Curva absorção hemoglobina oxigenada e não oxigenada dado o comprimento de onda.....	24
Figura 8 – Análise da frequência cardíaca através da luz infravermelha absorvida.....	24
Figura 9 – Fio soldado ao módulo MAX30100.....	25
Figura 10 – Circuito interno módulo MAX30100.....	26
Figura 11 – Teste do módulo MAX30100.....	28
Figura 12 – Valores obtidos no monitor serial.....	29
Figura 13 – Teste do módulo DS18B20.....	29
Figura 14 – valores obtidos no monitor serial.....	30
Figura 15 – Dispositivo criado na aplicação móvel.....	31
Figura 16 – Aplicação móvel recebendo os dados dos sensores.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Bibliotecas utilizadas.....	27
Tabela 2 – Tópico para cada tipo de dado enviado.....	27

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, várias técnicas analíticas foram desenvolvidas para a medida do oxigênio e do dióxido de carbono no sangue ou durante a respiração, com o propósito de se verificar respectivamente a adequação da oxigenação e da ventilação. (BRAZ, 1996).

A frequência cardíaca (FC) é definida como o número de batimentos do coração por minuto (bpm), sendo que os valores usuais se encontram na faixa de 40 a 200 bpm (KAMATH, M. V.; WATANABE, M.; UPTON, A., 2012). A taxa de saturação de oxigênio (SpO₂) e a frequência cardíaca (FC) são dois parâmetros vitais para definir o status cardiovascular humano.

O homem adulto em repouso consome em média 1020 moléculas de oxigênio por segundo. Como não existe no organismo condições para estocagem do oxigênio, qualquer alteração em sua captação ou em seu transporte resultará em rápida alteração celular. Dessa forma o monitoramento da alteração na taxa de saturação de oxigênio e na frequência cardíaca são dois parâmetros vitais para definir o estado de saúde do um paciente (Braz, 1996)

Uma oxigenação adequada dos tecidos humanos é necessária para a manutenção da vida. Portanto, seu monitoramento contínuo é fundamental em cirurgias ou em internações em unidades de terapia intensiva UTI (Nitzan and Taitelbaum, 2008). A saturação de oxigênio é a quantidade de hemoglobina oxigenada do total de hemoglobina presente em 100ml de sangue. A hemoglobina é uma proteína responsável por levar o oxigênio dos pulmões até as células, pois, sem o suprimento adequado de oxigênio às células, os tecidos do corpo morrem (Edwards Life Sciences, 2002).

O monitoramento dos sinais vitais e de suma importância principalmente em pacientes em estado crítico, pois através dos resultados destas medições é possível que os profissionais da saúde identifiquem a melhor abordagem no tratamento. Temperatura, frequência cardíaca, frequência respiratória e pressão arterial são alguns dos principais sinais vitais essenciais na avaliação do quadro clínico de um paciente.

Comumente dispositivos para monitoramento da frequência cardíaca e oxigenação necessitam da presença física de um indivíduo para receber a informação por eles apresentada, dessa forma é nítido a necessidade de estudar tecnologias auxiliares a fim de tornar o monitoramento destas variáveis mais eficaz e acessíveis a profissionais da saúde, sendo possível o acompanhamento destas variáveis de forma remota e em tempo real.

Na computação, o estudo do monitoramento de variáveis tem se aplicado as mais diversas áreas, desde a obtenção de dados por meio de sensores, do tratamento do dado gerado e da interpretação deste dado até a obtenção de uma informação mensurável. O monitoramento automático de pacientes é um recurso essencial em hospitais para o bom gerenciamento de cuidados médicos. Neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade estudar o monitoramento da oximetria de pulso e da frequência cardíaca propondo uma forma de monitoramento remoto para apresentar suas medições utilizando ferramentas como sistemas embarcados, comunicação wireless, dispositivos móveis e acesso a servidores web.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Unidade de Terapia Intensiva

A história do surgimento das UTIS funde-se ao avanço progressivo e acelerado das tecnologias desenvolvidas pela medicina moderna. Verificam-se, com o decorrer do tempo, várias tentativas de organização dos cuidados de Enfermagem e médicos voltados para a assistência de clientes com alto grau de comprometimento clínico (LINO; SILVA, 2001).

A Unidade de Terapia Intensiva é um dos setores mais importantes do hospital, local onde mudanças são essenciais. A procura por modelos em que medicina baseada em evidências e utilização de rotinas e protocolos em UTI convivam com o conceito de gestão ocorre em velocidade nunca vista antes (DA SILVEIRA FERNANDES, 2011).

Uma unidade de terapia intensiva comumente exige tecnologia de ponta, a fim de possibilitar uma rápida percepção de alterações do quadro clínico do paciente. Nesse sentido, os recursos tecnológicos em uma UTI representam a possibilidade de uma assistência com qualidade de resolutividade, pois o uso da tecnologia, cada vez mais sofisticada, pode fazer a diferença a favor da vida (SEVERO et al., 2005).

2.2 Monitores Multiparamétricos

Os monitores multiparamétricos são equipamentos médicos hospitalares que são usados para monitorar diversos parâmetros fisiológicos, possibilitando analisar o estado clínico de pacientes adultos, pediátricos e neonatos. Usados por todos os envolvidos nas intervenções de forma a tornar os procedimentos mais seguros para os profissionais e principalmente para os pacientes (PILAU, 2016).

Geralmente monitores multiparamétricos são tidos como um dos principais equipamentos hospitalares utilizado por profissionais da saúde, geralmente utilizado

para monitorar variáveis como: como eletrocardiograma (ECG), frequência cardíaca (FC), saturação de oxigênio (SpO2), frequência respiratória (FR), temperatura (°C), pressão arterial não invasiva. Na figura 1 é mostrado um dos modelos utilizado no ambiente hospitalar.

Figura 1 - Monitor Multiparamétrico



Fonte – Adaptado de zhk.com

Geralmente estes equipamentos dependem da presença física do profissional afim de realizar as medições, dessa forma este estudo parte do intuito de realizar as medições de algumas das variáveis mais importantes e enviar estes dados de forma remota para uma aplicação mobile.

2.3 Saturação de oxigênio

O oxigênio é um componente fundamental para a sustentação da vida humana, a sua ausência por um longo intervalo de tempo pode levar as células do corpo humano à morte. O processo de distribuição do oxigênio para os diversos órgãos vitais

é uma combinação de partes de sistemas do corpo, dentre os principais conhecidos, e fundamentais, são: o sistema respiratório e o circulatório (CLARK, 1997).

O oxímetro é utilizado em várias localidades hospitalares, fornecendo dados sobre as condições físicas dos pacientes para uma avaliação precisa dos profissionais responsáveis. As medições de saturação de oxigênio SpO₂ e os valores que são obtidos devem ser avaliados conforme uma faixa, que normalmente está entre 95% a 100%. Entretanto, valores inferiores a 90% indicam que os tecidos não estão recebendo uma taxa suficiente de oxigênio, e com isso o paciente deve ter uma avaliação adicional. (JUNQUEIRA E CARNEIRO 1999).

A oximetria fornece dados sobre a saturação de oxigênio (SpO₂) da hemoglobina arteriolar, onde é fornecido informações sobre o sistema cardíaco, respiratório e do oxigênio presente no organismo. A hemoglobina é uma proteína do corpo responsável pelo transporte do sangue, podendo ser oxihemoglobina (hemoglobina oxigenada, HbO₂) e a desoxihemoglobina (hemoglobina não oxigenada, Hb). (SANTOS, 2018).

2.4 Frequência Cardíaca

O coração é um órgão muscular do corpo integrante do sistema cardiovascular e é responsável pelo bombeamento cíclico e circulação sanguínea. O sangue venoso é pobre em oxigênio, e é bombeado pelo ventrículo direito em direção aos pulmões, e com isso é oxigenado novamente. Depois dessa oxigenação, o sangue tornasse arterial, voltando ao coração pelas veias pulmonares. (SILVERTHORN 2017).

Sendo um dos órgãos principais do organismo humano, o coração é capaz de controlar o seu ritmo por meio da inervação recíproca. O coração mantém tanto sua frequência quanto sua força de contração com a ajuda do Sistema Nervoso Autônomo (SNA), sistema esse, que modula as necessidades fisiológicas tanto em repouso, onde existe predomínio do parassimpático, como durante o exercício com a predominância do simpático (GUYTON, 1997).

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é caracterizada por alterações periódicas e não-periódicas da frequência cardíaca (FC) e pode ser definida como um fenômeno fisiológico de variação no intervalo de tempo entre os batimentos cardíacos.

2.5 Temperatura corporal

A regulação da temperatura no corpo humano está relacionada à produção metabólica de calor (termogênese). Os receptores de temperatura são terminações nervosas livres, que terminam nas camadas subcutâneas da pele. Os seres humanos são animais homeotérmicos, ou seja, o nosso corpo regula a temperatura interna dentro de uma faixa. Define-se que “a temperatura média é de 37°C, com uma faixa de variação normal entre 35,5 e 37,7°C”. (SILVERTHORN 2017).

A regulação da temperatura do corpo ocorre principalmente por mecanismos de feedback neurais, através de centros regulatórios da temperatura localizados no hipotálamo.² Esses mecanismos sofrem influência de vários fatores, como: atividade física, hormônios, alterações na temperatura ambiental, ciclo menstrual nas mulheres, dieta alimentar, estado emocional do indivíduo, medicamentos, ciclo circadiano e até mesmo a postura corporal, pois as temperaturas esofagiana, sublingual e retal são mais elevadas com o indivíduo de pé e mais baixas na posição supina. (LAGANÀ 1992).

A temperatura corporal elevada pode ser considerada como febre ou hipertermia. A febre é uma elevação da temperatura corporal que ultrapassa a variação diária normal, por exemplo, de 37°C para 39°C. Essa elevação ocorre em resposta a um sinal químico (pirogênio endógeno) lançado como parte da resposta inflamatória. A febre pode ser causada por infecções, atelectasia, doença tromboembólica e reações medicamentosas e acomete um terço dos pacientes hospitalizados. (ALVES 2008).

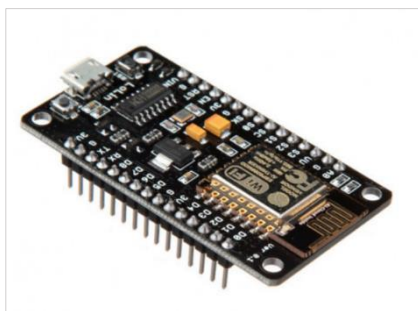
Dada a compreensão das questões fisiológicas envolvendo a frequência cardíaca, temperatura corporal e saturação de oxigênio, e partindo da premissa da construção de um sistema de monitoramento em tempo real para estas variáveis, surge a necessidade do estudo do hardware, protocolo de transmissão e sistema

mobile necessários para o desenvolvimento do projeto, como veremos nas secções seguintes.

2.6 NodeMCU

NodeMCU é uma programação de código aberto e firmware baseado em linguagem desenvolvido para chip wifi ESP8266, o complemento ESP8266 para Arduino é uma das plataformas de desenvolvimento que podem programar o ESP8266. ESP8266 pode ser usado para hospedar o aplicativo ou para descarregar todas as funções de rede Wi-Fi de outro processador de aplicativo por meio de seu próprio dispositivo de rede Wi-Fi contida. O ESP8266 possui poderosos recursos de processamento integrado e armazenamento suficiente que permitem ser integrado com desenvolvimento mínimo inicial e carregamento mínimo durante o tempo de execução por meio de seus GPIOs (General Purpose entrada/saída) com os dispositivos específicos dos sensores. (PARIHAR 2019). O Modulo ESP8266 foi utilizado nesta pesquisa afim de receber as informações dos sensores e enviar para a aplicação móvel através de um servidor que será descrito nas secções posteriores. Na figura 1 o módulo ESP8266 é apresentado.

Figura 2 - Módulo ESP8266 NodeMcu



Fonte – Adaptado de baudaeletronica.com

2.7 Internet das coisas

A internet das coisas (IoT) é um sistema de dispositivos, máquinas ou objetos de computação inter-relacionados com identificadores únicos e a capacidade de comunicar os dados através de uma rede ou Internet sem exigir intervenção humana.

A Internet das Coisas oferece muitas aplicações hoje que ajudam a tornar a vida mais fácil. Fazer produtos com internet das coisas é o ato de conectar qualquer objeto físico à Internet ou rede local para coletar e compartilhar dados e realizar algum ato físico de acordo com os dados disponíveis. (PARIHAR 2019).

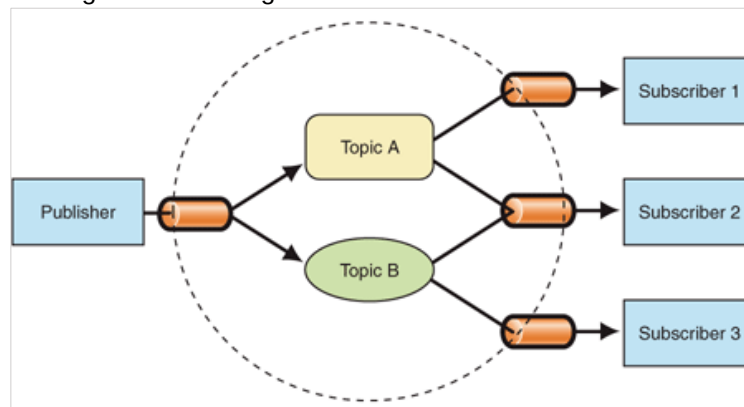
2.8 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é utilizado na comunicação entre máquinas e é um dos principais protocolos utilizado na implementação da internet das coisas. Projetado pelos engenheiros Andy Stanford-Clark e Arlen Nipper em 1999. A ideia era conectar sistemas de telemetria de oleodutos por satélite e, hoje, possui incontáveis possibilidades. No começo, este era um protocolo particular, porém, em 2010, foi lançado em royalties e se tornou um padrão. (HI TECNOLOGIA, 2021).

No protocolo MQTT um dispositivo pode ser “*subscribed*” ou “*publish*”, podendo também assumir as duas funções. Quando um dispositivo é um “*publish*”, ele publica informações pré-estabelecidas. Já o dispositivo “*subscribe*” recebe todas essas informações que estão sendo publicadas.

O broker é parte fundamental da comunicação utilizando este protocolo, pois o mesmo é um servidor que conduz as informações aos inscritos, funcionando, então, como um intermediário entre “*subscribers*” e “*publishers*”. A identificação das mensagens no MQTT se dá através de tópicos (*topics*). O tópico contém níveis separados por barras (“/”). *Publishers* da rede podem enviar diversos tópicos para o broker e *subscribers* podem escolher os tópicos que desejam subscrever. Na figura 2 um exemplo de comunicação via protocolo MQTT é mostrado.

Figura 2 - Mensagens no Padrão Publish-Subscribe.



Fonte – Adaptado de hackernoon.com

Na imagem um Publisher envia mensagens com tópicos diferentes e cada Subscriber recebe apenas a mensagem que possuem os tópicos escolhidos.

2.8.1 Qualidade do serviço (Qos)

A conexão do cliente ao broker, seja ele subscritor ou publicador, é originalmente feita via TCP (*Transmission Control Protocol*). Todo processo de conexão estabelece também um nível de qualidade de serviço desejado: QoS (*Quality of Service*), indicando como deve ser a relação entre os elementos comunicantes. São previstos três níveis de qualidade de serviço:

- QoS 1 (*at most once*): Não há confirmação de entrega da mensagem e quem envia não tem o encargo de manter a mensagem armazenada para futuras retransmissões.
- QoS 2 (*at least once*): Quem envia também mantém a cópia da mensagem em caso de time out. Quando a mensagem chegar ao destino, o destinatário envia uma mensagem ao emissor confirmando o recebimento.
- QoS 3 (*exactly once*): garante que a mensagem seja entregue exatamente 1 vez, com o envio da confirmação de recebimento e a confirmação da confirmação do recebimento. Existe confirmação nos 2 sentidos para tudo que é trafegado evitando mensagens duplicadas. Enquanto uma mensagem não é confirmada, ela é mantida.

2.9 OXÍMETRO E FREQUÊNCIA CARDÍACA

O sensor utilizado para a construção do projeto foi o MAX30100, o mesmo é utilizado para monitoramento de frequência cardíaca e oxigenação do sangue. O sensor possui dois LEDs e um fotoacoplador otimizados, que são conectados a um processador analógico de sinais capaz de detectar oximetria e sinais de batimento cardíaco. Na figura 3 apresenta o módulo.

Figura 4 – sensor MAX30100



Fonte – Adaptado casadarobotica.com

A figura 3 mostra a pinagem do MAX 30100, que é composta por 14 pinos, tendo apenas 10 portas uteis e os demais utilizados apenas para fixação na placa.

2.10 SENSOR DE TEMPERATURA

O sensor de temperatura utilizado nesta pesquisa foi o módulo DS18B20, é um dos componentes mais utilizados em projetos que envolva medição de temperatura em ambientes úmidos ou em recipientes com líquido. O sensor é revestido por um material à prova d'água e sua ponta é encapsulada em aço inoxidável. Este sensor não é utilizado para realizar medições de temperaturas corporais, porém o mesmo foi utilizado nesta pesquisa apenas com o intuito de gerar dados de temperaturas afim de serem enviadas para a aplicação móvel.

2.11 APLICAÇÃO MÓVEL

As aplicações móveis são um software desenvolvido para ser instalado num dispositivo eletrônico móvel - PDA ou Smartphone - administradas por um gestor e utilizadas por vários perfis que acedem às funcionalidades disponíveis, mediante as

permissões que lhes são atribuídas. (Setup.Technology, 2019). O presente projeto é inspirado e busca continuar o projeto realizado por Oliveira (2021), onde foi desenvolvido uma aplicação móvel capaz de receber informações através protocolo MQTT, em seu projeto Oliveira levantou requisitos e desenvolveu um sistema mobile com a proposta de gerenciamento, consulta e monitoramento de informações de pacientes. Dessa forma se fez necessário prosseguir com o intuito de desenvolver meios físicos para a captação da frequência cardíaca, saturação de oxigênio e temperatura possibilitando seu envio de forma remota para a aplicação móvel já desenvolvida anteriormente. Na figura 4 a tela inicial da aplicação móvel desenvolvida no projeto de Oliveira é apresentado.

Figura 5 – aplicação móvel desenvolvida por Oliveira (2021)



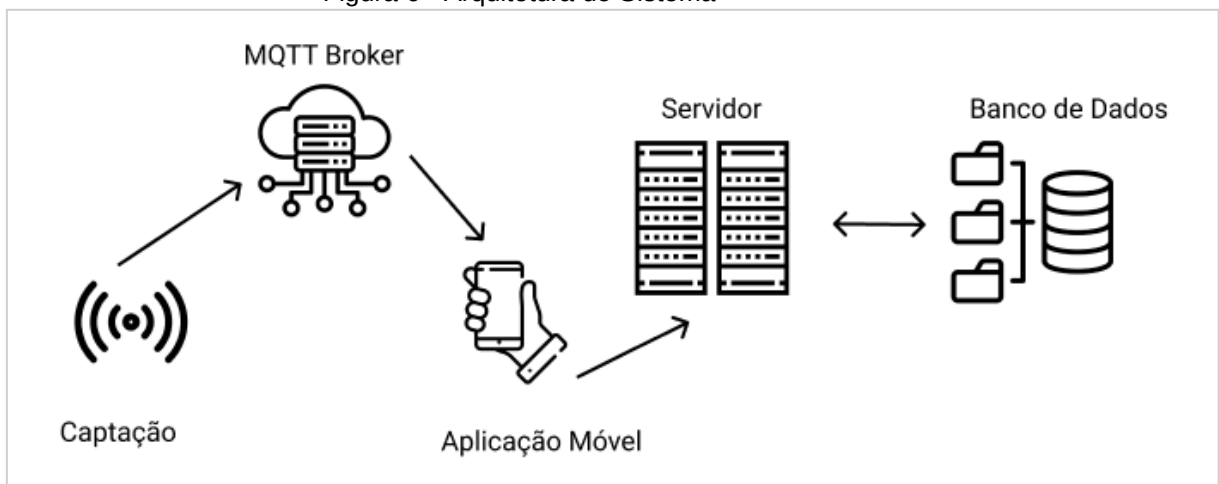
Fonte – Oliveira (2021)

A aplicação móvel permite criar novos dispositivos afim de receber dados do servidor e associar estes dispositivos a um dado paciente, possibilitando o monitoramento remoto e em tempo real de vários pacientes simultaneamente.

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O Projeto realizado nesta pesquisa teve o intuito de prosseguir o trabalho desenvolvido por Oliveira (2021), onde uma aplicação mobile capaz de receber informações via protocolo MQTT foi desenvolvido como visto nas secções anteriores. O sistema proposto foi modelado baseado em uma arquitetura que se divide em partes com responsabilidades específicas, o sistema pode ser melhor compreendido através da ilustração na Figura 5.

Figura 6 - Arquitetura do Sistema



Fonte – Autoria Própria (2022)

Exemplificando melhor cada parte da arquitetura do sistema apresentado na figura anterior temos:

- **Captação:** sensores responsáveis pela medição e filtragem dos sinais correspondentes a frequência cardíaca e saturação de oxigênio do corpo humano interligado a um microcontrolador capaz de receber e interpretar estes dados e enviar via rede wireless para o Broker. Esta parte do projeto foi estudada e implementada no presente trabalho;
- **MQTT Broker:** servidor que recebe os dados enviados referentes as medições dos sensores e os envia para a aplicação móvel através de um tópico. Foi utilizado um Broker gratuito (<https://www.hivemq.com>) nesta primeira versão de testes;
- **Aplicação Móvel:** Aplicação desenvolvida afim de aplicativo desenvolvido para gerenciar informações de dispositivos sensores e pacientes, através da conexão com um servidor, de forma a funcionar

como uma interface amigável com o usuário final. O aplicativo também cumpre a função de requisitar o recebimento de mensagens de um determinado sensor para realização de monitoramento em tempo real. Esta parte do sistema foi estudada e desenvolvida por Oliveira em seu projeto;

- **Servidor e Banco de Dados:** Pensado para ser o núcleo do sistema onde poderá receber requisições de aplicações móveis para realizar processamento mais complexos, armazenar e consulta de informações a um banco de dados específico, onde poderá guardar dados dos usuários, sensores e pacientes. Esta etapa do sistema ainda não foi implementada e ficará como sugestão para uma continuação do estudo do sistema.

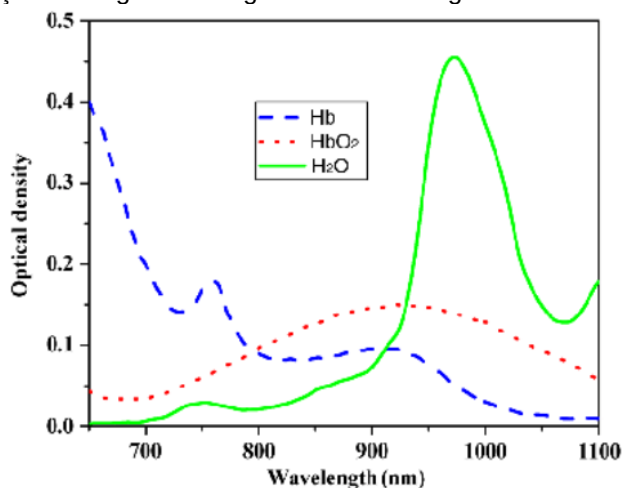
3.1 Captação e envio dos dados

3.1.1 Saturação de oxigênio e frequência.

A saturação de oxigênio pode ser medida utilizando o princípio da espectrofotometria sanguínea, onde a obtenção da medição da oximetria consiste na medição da quantidade de luz transmitida ou refletida através das veias capilares do paciente, por conta dos diferentes níveis de oxigenação, o sangue rico em oxihemoglobina apresenta coloração vermelha e brilhante, enquanto o sangue com baixo nível de oxigênio, desoxihemoglobina, apresenta coloração azulada.

Dessa forma, à medida que os feixes luminosos são emitidos contra a pele, sendo absorvidos de forma diferenciada pelo sangue, a oxihemoglobina reflete a luz vermelha enquanto a hemoglobina absorve a luz vermelha. O feixe infravermelho acaba sendo absorvido na mesma medida tanto pela oxihemoglobina quanto pela hemoglobina. A razão entre as quantidades luminosas captadas pelos fotossensores é utilizada para determinar o nível de saturação do oxigênio (CALIL *et al.*, 2002). Na figura 6 as curvas de absorção da hemoglobina oxigenada e não oxigenada em função do comprimento de onda é apresentado.

Figura 7 - Curva absorção hemoglobina oxigenada e não oxigenada dado o comprimento de onda

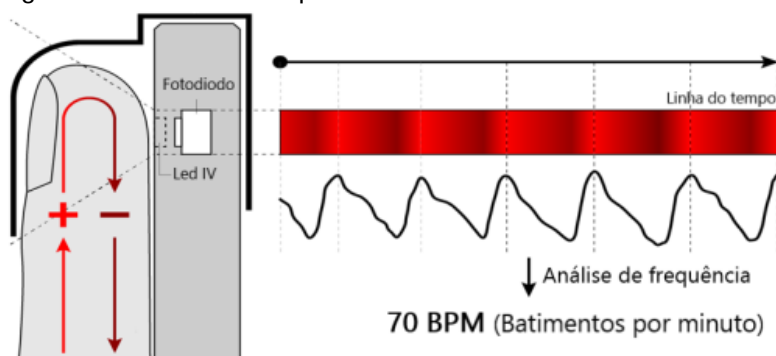


Fonte – PRAVEN 2014

Assim, pode-se inferir que a absorção de luz vermelha, indica a quantidade de hemoglobina não oxigenada, enquanto que a absorção da luz infravermelha indica a quantidade de hemoglobina oxigenada.

Por sua vez a frequência cardíaca também pode ser estimada através da utilização de meio ópticos, esse processo utiliza sensores que medem a quantidade de luz infravermelha absorvida ou refletida pelo sangue, o sinal resultante tem um padrão cíclico pois variação do volume de sangue decorre do ciclo cardíaco. Na figura 7 é apresentado um exemplo de medição da frequência cardíaca através da luz infravermelha absorvida.

Figura 8 – Análise da frequência cardíaca através da luz infravermelha absorvida.



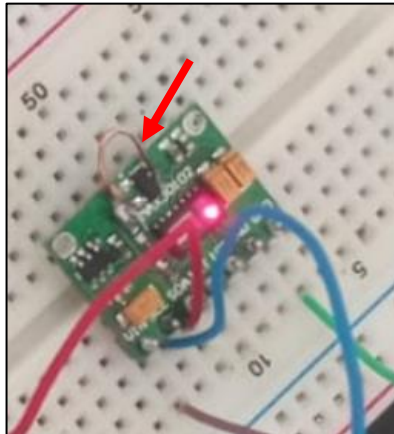
Fonte – Adaptado de archdaily.com.

para que se tenha uma aquisição consistente a área de aplicação precisa ter uma elevada perfusão em conjunto com poucas camadas de tecido envolvente, como dedos e lóbulo da orelha.

3.1.2 Módulo MAX30100

O MAX30100, sensor utilizado para realizar as medições de frequência cardíaca e saturação de oxigênio faz uso de dois LEDs, um fotodetector, um otimizador ótico e um circuito analógico de baixo ruído para processar o sinal, o mesmo possui um sistema de cancelamento de luz ambiente, e um filtro utilizado para anular as frequências de 50 a 60 HZ. Este módulo possui um resistor de 4.7 k Ω conectados as portas de clock e dados, dessa forma a amplitude do nível lógico se apresenta em torno de 1.8 V. Para o microcontrolador utilizado, o ESP8266 é recomendado um nível lógico de 3.3 V, dessa forma foi necessário realizar uma alteração física no sensor afim de aumentar a tensão de nível lógico. Na figura 8 é apresentado o módulo após alteração feitas.

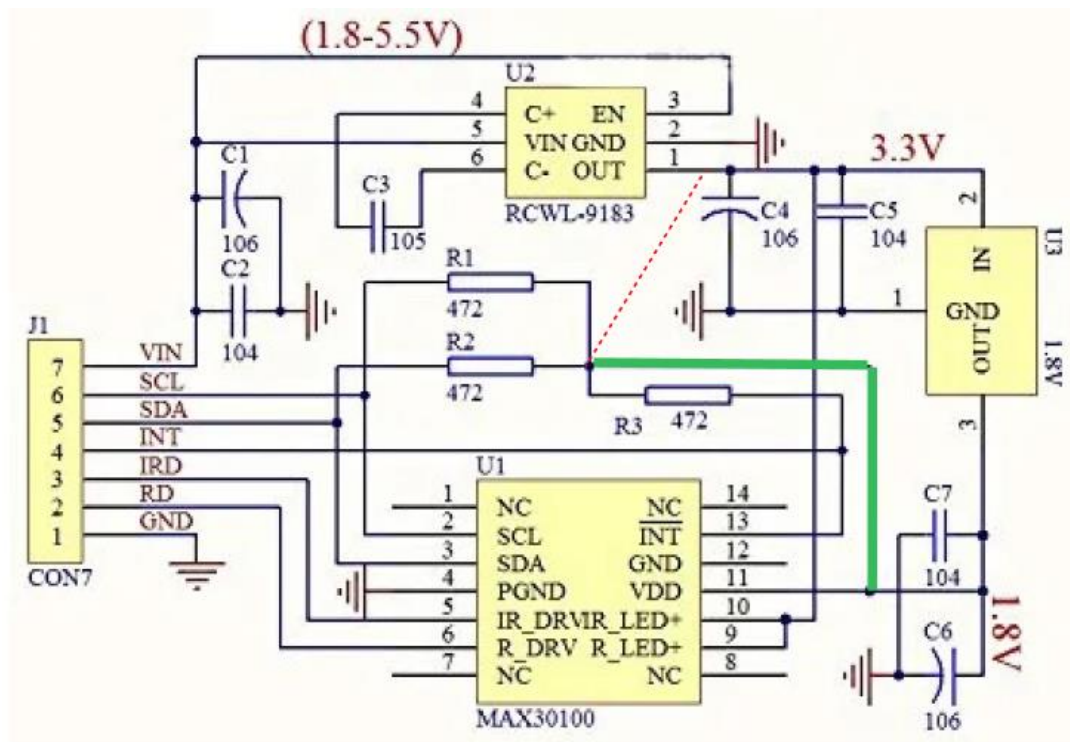
Figura 9 – Fio soldado ao módulo MAX30100



Fonte – Autoria própria

. Na figura anterior é apresentado a alteração física no módulo, a trilha que conecta no resistor ao transistor foi cortada, e foi soldado um fio entre a saída do resistor e a saída do transistor. Na figura seguinte é apresentado o circuito interno do módulo, assim como a alteração feita.

Figura 10 – Circuito interno módulo MAX30100



Fonte – Adaptado de robu.in.com

Os resistores de *pull-up* com valores de 4,7k para linhas de sinal SCL, SDA e INT estão conectados à fonte 1,8V (demonstrado pela linha verde na figura), se o módulo estiver conectado a uma porta lógica de 5V não será visível no barramento I2C porque os níveis lógicos são muito baixos. Mesmo no microcontrolador utilizado neste projeto que possui nível lógico de 3V, o barramento I2C funcionará de forma instável. Dessa forma foi feito um corte na trilha onde os resistores estão em paralelo (representado pela linha verde), e um fio foi soldado a placa diretamente em um barramento de 3.3V (linha vermelha tracejada).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Bibliotecas utilizadas

Após a preparação dos sensores, e do microcontrolador, se fez necessário a instalação de bibliotecas específicas a fim de possibilitar o funcionamento dos sensores, e o envio dos dados para o Broker via conexão wireless. As bibliotecas utilizadas podem ser conferidas na tabela a seguir:

Tabela 1 -Bibliotecas utilizadas

Módulo	Biblioteca
MAX30100	MAX30105.h
ESP8266	ESP8266WiFi.h / PubSubClient.h
DS18B20	DallasTemperature.h

Para o módulo ESP8266 foram utilizadas bibliotecas específicas afim de realizar a conexão com o seu módulo *wifi*, para os sensores foram utilizadas bibliotecas de comunicação com os mesmos, disponibilizadas pelos próprios fabricantes.

4.2 Conexão com o Broker

Para a conexão com o Broker se faz necessário utilizar tópicos específicos para cada informação de forma separada, dessa forma, a temperatura, saturação de oxigênio e a frequência cardíaca são enviados a aplicação móvel através de tópicos distintos. A relação entre cada informação e seu respectivo tópico pode ser vista na seguinte tabela:

Tabela 2 – Tópico para cada tipo de dado enviado.

Informação	Tópico
Temperatura	devices/<identificação_do_dispositivo>/oximeter

Saturação de oxigênio	devices/<identificação_do_dispositivo>/heart-rate
Frequência cardíaca	devices/<identificação_do_dispositivo>/temperature

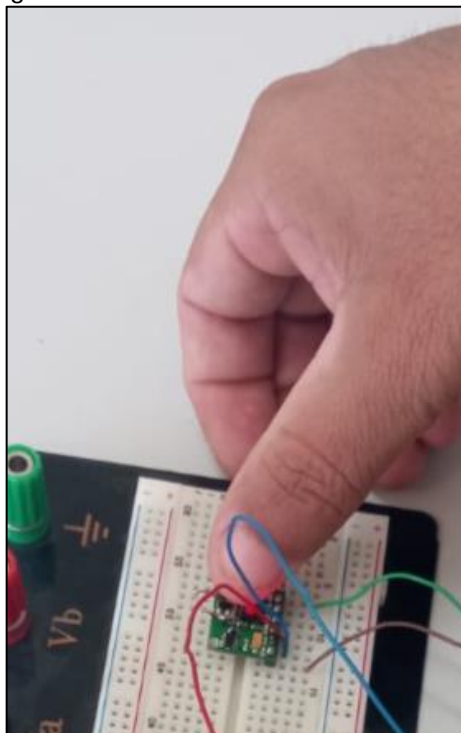
A aplicação móvel define um tópico diferente para cada tipo de informação, dessa forma se faz necessário separar as informações oriundas dos sensores, e enviá-las ao Broker através de tópicos distintos.

4.3 Testes dos sensores

Com o intuito de verificar o funcionamento dos sensores antes da transmissão, os mesmos foram testados utilizando suas respectivas bibliotecas, utilizando o monitor serial do Arduino IDE, foi possível verificar os valores de medição de cada sensor. Na figura 10 e 11 foram testados o módulo ESP8666, por sua vez as figuras 12 e 13 apresentam o teste do sensor de temperatura.

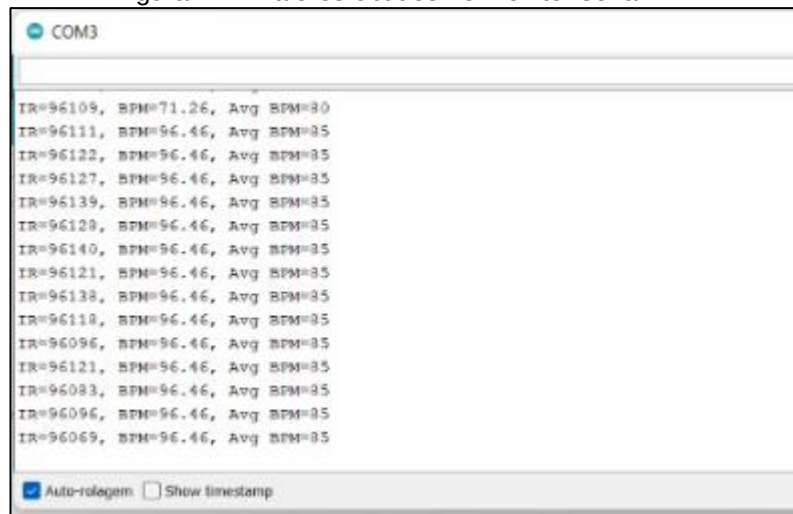
- Frequência cardíaca e saturação de oxigênio, teste utilizando o dedo no sensor montado:

Figura 11 – Teste do módulo MAX30100



Fonte – Autoria própria

Figura 12 – Valores obtidos no monitor serial

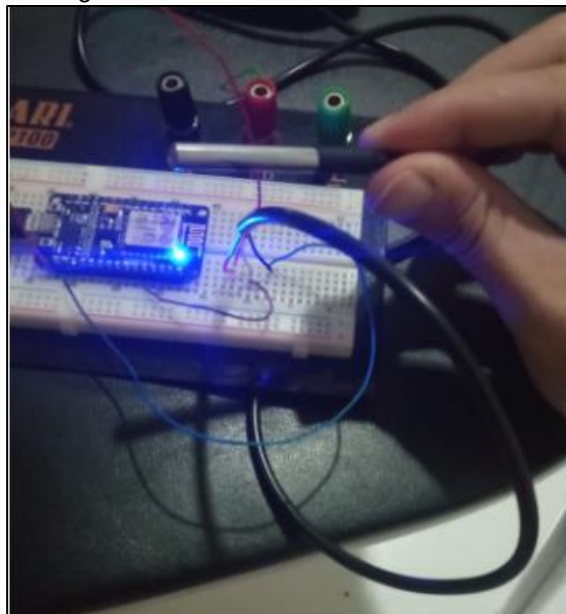


Fonte -Autoria própria

Na figura 11 os valores da frequência cardíaca foram apresentados no monitor serial.

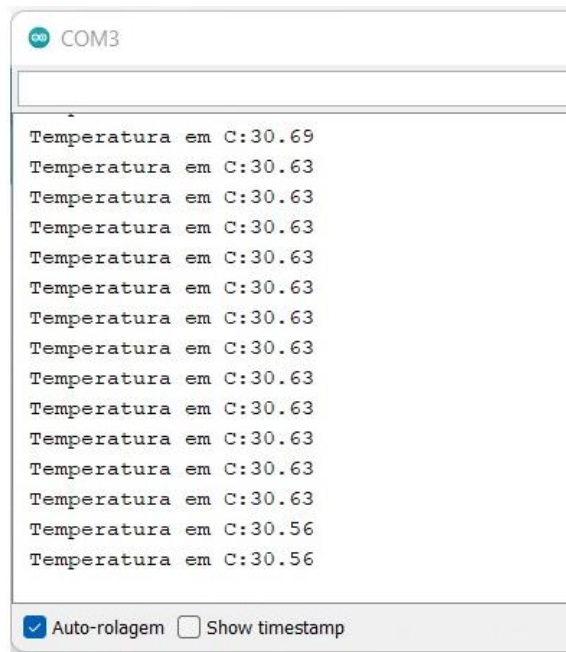
- Sensor de temperatura:

Figura 13 – Teste do módulo DS18B20



Fonte – Autoria própria

Figura 14 – valores obtidos no monitor serial



Fonte – Autoria própria

Os valores obtidos representam uma temperatura ambiente, na continuidade posterior desta pesquisa poderá ser utilizado um módulo específico para temperatura corporal.

4.4 Envio para a aplicação móvel

Após instaladas as devidas bibliotecas e realizado testes nos sensores, foi possível realizar o envio dos dados de medição obtidos através de uma rede wireless para a aplicação móvel, para que a aplicação consiga receber estas informações se faz necessário a criação de novos dispositivos em sua interface, na criação do dispositivo o usuário informa que tipo de dado será recebido, e após a criação a própria aplicação irá informar o tópico a ser enviado para o broker que deve ser utilizado na programação do microcontrolador para que a mensagem seja enviada ao dispositivo correto. Após a criação do dispositivo a aplicação aguarda dados de um broker contendo os tópicos informados. Na figura 14 foi criado um novo dispositivo na aplicação móvel, o mesmo está aguardando os dados a serem enviados.

Figura 15 – Dispositivo criado na aplicação móvel



Fonte – Autoria própria

A aplicação inicia seu monitoramento e começa a atualizar os valores sempre que um dado é enviado através do seu tópico.

Após a criação do dispositivo na aplicação móvel e a verificação dos seus tópicos a informação foi enviada através do módulo ESP8266 para o broker (neste projeto utilizado "hivemq.com") através da rede wireless, a informação dos sensores foi recebida na aplicação móvel. Na figura 15 a aplicação recebe os dados obtidos e insere no dispositivo criado.

Figura 16 – Aplicação móvel recebendo os dados dos sensores



Fonte – Autoria própria

A partir de então qualquer valor enviado ao broker é atualizado no dispositivo imediatamente e a aplicação atualiza todos os dados obtidos nas medições dos sensores. Na presente versão a aplicação ainda não é capaz de armazenar valores anteriores das medições apresentando sempre o último valor enviado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como objetivo continuar o estudo referente a construção de uma plataforma de monitoramento remoto para pacientes em unidades de terapia intensiva utilizando conceitos de internet das coisas (IoT) aplicado a uma aplicação móvel já desenvolvida anteriormente. Utilizando um microcontrolador e sensores de frequência cardíaca, saturação de oxigênio e temperatura foi possível enviar os dados obtidos para um Broker afim de receber tais informações na aplicação móvel.

Os testes realizados na presente pesquisa mostraram que a comunicação entre o microcontrolador e a aplicação móvel atendeu ao objetivo proposto, dessa forma, o protótipo estudado para o monitoramento de frequência cardíaca, saturação de oxigênio e temperatura em tempo real através do protocolo MQTT se mostrou eficiente desde que as medições sejam feitas de forma correta pelo usuário. A aplicação móvel é capaz de criar vários dispositivos diferentes e associa-los aos seus respectivos pacientes, possibilitando assim o monitoramento simultâneo de diversos pacientes em um ambiente hospitalar.

Para uma futura continuação do estudo deste projeto, pode-se estudar a implementação do servido e de um banco de dados, sendo possível o armazenamento em nuvem das informações do login de usuário, pacientes deste usuário, assim como acesso ao histórico de medições anteriores de determinado paciente. Assim como também fica em aberto proposta como tratamentos estatísticos nas medições realizadas, e utilização de métodos de *Machine learning* afim de identificar padrões nas medidas e associa-las a um possível diagnóstico.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KAMATH, M. V.; WATANABE, M.; UPTON, A. **Heart rate variability (HRV) signal analysis: clinical applications**. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

Fan, Q, Li, K. (2018). **Non-contact remote estimation of cardiovascular parameters, Biomedical Signal Processing and Control**, China 40: 192–203

ANDRADE, Luiz Augusto K. **Sistema de Medição Para Oximetria de Pulso**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009

SILVERTHORN, Dee Unglaub. **Fisiologia Humana: uma abordagem integrada**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 963 p

Z. Wan, Y. Song, and Z. Cao, “**Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU**,” in 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, China, 2019, pp. 377–382.

Braz JRC. **Monitorização da oxigenação e ventilação**. Rev Bras Anesthesiol. 1996;46(3):223-40.

Nitzan, M. and Taitelbaum, H. (2008). **The Measurement of Oxygen Saturation in Arterial and Venous Blood, Instrumentation & Measurement Magazine**, IEEE pp. 9–15.

Edwards Life Sciences (2002). **UNDERSTANDING CONTINUOUS MIXED VENOUS OXYGEN SATURATION (Svo 2) SWAN-GANZ OXIMETRY UNDERSTANDING CONTINUOUS MIXED VENOUS OXYGEN**. Disponível em: <http://ht.edwards.com/resourcegallery/products/swanganz/pdfs/svo2edbook.pdf>.

JUNQUEIRA E CARNEIRO, L.C e José. **Histologia Básica: texto e Atlas**. 12. Ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 2013

SANTOS, Luiz Ricardo. **Espectrofotometria**. Disponível em: . Acesso em 16 fev. 2021.

PARIHAR. **Internet of Things and NodemcuA review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products**. National Informatics Centre, Mahoba(U.P.), India (2019)

Braz JRC - **Monitorização da Oxigenação e da Ventilação**, Revista Brasileira de Anestesiologia 239 Vol. 46 : N° 3, Maio - Junho, 1996.

OLIVEIRA, Ruan Carlos Soares **plataforma de monitoramento remoto para pacientes em unidade de terapia intensiva (uti)**. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo. 2021. Trabalho de conclusão de curso, Graduação, Engenharia de computação Pau dos Ferros 2021.

FERNANDES, Natália **O que é o protocolo MQTT?**. Hi Tecnologia, 2021. Disponível em <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/> /. Acesso em: 11 mai. 2022.

HiveMQ - Enterprise MQTT Broker. HiveMQ. Disponível em: HiveMQ Site. Acesso em: 15 mai. 2022.

Setup.Techilogy, **Tudo o que precisa de saber sobre Aplicações Móveis!** 2019. Disponível <https://setup.technology/tudo-o-que-precisa-de-saber-sobre-aplicacoesmoveis.com/> . Acesso em: 11 mai. 2022.

CLARK, Susanne A. Normal Oxygen Transport. In: **Design of Pulse Oximeters**. Ed.:John G. Webster, Madison: J W Arrowsmith, p. 1-12, 1999.

Laganá MTC, Faro ACM, Araujo TL. **A problemática da temperatura corporal, enquanto um procedimento de enfermagem: conceitos e mecanismos reguladores**. Rev Esc Enf USP. 1992;26(2):173-186.

Alves JGB, Marques NDCA, Marques CDCA. **Tepid sponging plus dipyrone versus dipyrone alone for reducing body temperature in febrile children**. São Paulo Med J. 2008;126(2):107-11.

GUYTON A; HALL, J. **Tratado da Fisiologia Humana**, 9. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1997.

CALIL, Saide Jorge et al. **Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento da manutenção**. Ministério da Saúde. Brasília, p. 9, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 31

PRAVEEN, A. **Miniaturized pulse oximeter reference design. User's Guide and Test Report** - TEXAS, v. 1, 2014.

LINO, M. M.; SILVA, S. C. **Enfermagem na unidade de terapia intensiva: a história como explicação de uma prática**. Nursing, Barueri, v. 41, p. 25-29, 2001.

DA SILVEIRA FERNANDES, H et al. Gestão em terapia intensiva: conceitos e inovações. **Revista Brasileira de Clínica Médica**. São Paulo, v. 9, n. 2, p. 129-37, 2011.

SEVERO, G. C.; GIRARDON-PERLINI, N., M. O. **Estar internado em Unidade de Terapia Intensiva: percepção de pacientes**. Scientia Medica, Porto Alegre: PUCRS, v. 15, n. 1, 2005.

PILAU, L. **Estrutura da aviação aeromédica brasileira**. Ciências Aeronáuticas Unisul Virtual, 2016.
