

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

HENRIQUE TERNES MORESCO

Dispositivo IoT para monitoramento de atletas no futebol

Florianópolis - SC

Julho/2022

DISPOSITIVO IOT PARA MONITORAMENTO DE ATLETAS NO FUTEBOL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecatrônica do campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Roberto Alexandre Dias

Florianópolis - SC

Julho/2022

Henrique Ternes Moresco

Dispositivo IoT para monitoramento de atletas no futebol/ Henrique Ternes Moresco. – Florianópolis - SC, Julho/2022-

77 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Roberto Alexandre Dias

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Campus Florianópolis

Engenharia Mecatrônica, Julho/2022.

1. Internet das Coisas. 2. Sensoriamento. 3. Esporte. 4. WBAN. I. Roberto Alexandre Dias. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Campus Florianópolis. IV. Dispositivo IoT para monitoramento de atletas no futebol

HENRIQUE TERNES MORESCO

DISPOSITIVO IOT PARA MONITORAMENTO DE ATLETAS NO FUTEBOL

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis - SC, 22 de Julho de 2022:

Roberto Alexandre Dias, Dr.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Valdir Noll, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina

Gregory Chagas da Costa Gomes, Msc.

Instituto Federal de Santa Catarina

*Este trabalho é dedicado a todos os engenheiros e estudantes
de engenharia que são apaixonados por esporte
e buscam juntar seus ofícios com essa paixão.*

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a minha namorada Yasmin Barbosa, que me apoiou durante todo o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso e grande parte da formação acadêmica. Além dela, um agradecimento especial também aos meus pais, Giovanni e Adriana Moresco, e também minha irmã Luiza Moresco, que me incentivaram e acompanharam durante toda a graduação.

Agradeço também aos professores do curso de engenharia mecatrônica por todos os ensinamentos passados, mesmo com diversas dificuldades, como as mudanças do modo de ministrar aulas com o evento da pandemia, em especial meu orientador Roberto Dias. Um obrigado também ao professor Adriano Regis, que além do suporte em aula, colaborou ativamente na jornada de fundação da Eumeca Jr.

Agradecimento aos colegas de curso, principalmente Henrique Wolf, Lucas Martins e Matheus Willeman, com os quais fiz diversos projetos juntos. Finalmente, mas igualmente importante, agradecimento aos companheiros de Eumeca Jr. os quais trilharam comigo a jornada de fundação e federação da empresa júnior do curso de engenharia mecatrônica.

“Do. Or do not. There is no try.”
– Yoda, *The Empire Strikes Back*, 1980.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo cujo funcionamento tem como base Internet das Coisas e tem como objetivo o monitoramento de sinais vitais e movimentos por meio de sensoramento, para análise de desempenho de atletas em tempo real. Com a tecnologia de hoje, é possível facilitar a recuperação de atletas, minimizar prejuízos de uma lesão e entender melhor os aspectos do desempenho de cada um, a partir de dados obtidos do seu corpo. As principais aplicações para o protótipo são o monitoramento de dados de jogadores em treinos, reabilitações físicas ou situações de jogo, contudo, ele é focado principalmente na recuperação de performance de atletas, seja após uma lesão, perda de condicionamento físico ou pela necessidade de aprimoramento em algum aspecto específico do esporte praticado. Dessa forma, o dispositivo agrega dados para um acompanhamento próximo e específico, com acesso simples, onde será possível verificar a própria evolução, além de viabilizar melhores estratégias para o jogo, baseadas nas principais vantagens identificadas de cada jogador. O desenvolvimento é inspirado nas tecnologias de *Wireless Body Area Network* (WBAN), as quais têm grande potencial para revolucionar o futuro da tecnologia de saúde e já são muito utilizadas em diversos esportes, sem oferecer qualquer restrição as atividades normais de um atleta. O dispositivo destaca-se por estar localizado onde a coleta das informações será mais relevante, visto que as tecnologias atuais não são posicionadas estrategicamente em relação à obtenção de dados. Por isso, o diferencial está no fato de o dispositivo estar onde o atleta realiza o movimento ligado ao esporte. Para o protótipo desenvolvido, foram utilizados um acelerômetro, um GPS, e um sensor de batimento cardíaco. As informações registradas pelos sensores foram enviadas usando MQTT e Node-RED, para um banco de dados no Airtable. Para a visualizar e acompanhar o desempenho do jogador, a solução ainda possui um painel no Google Data Studio. O dispositivo foi levado para o gramado e testado em uma situação similar a de treino, onde o jogador realizou chutes, deslocamentos, domínios e passes usando o dispositivo, gerando resultados para análise do desempenho.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Sensoriamento. Esporte. WBAN.

ABSTRACT

This paper presents the development of a device whose operation is based on the Internet of Things and aims to monitorate vital signs and movements through sensors, to analyze the performance of athletes in real time. With today's technology, it is possible to facilitate the recovery of athletes, minimize damage from an injury and understand better aspects of each one's performance, based on data obtained from the athletes' bodies. The main applications for the prototype are player data monitoring in training, physical rehabilitation or game situations, however, it will be mainly focused on performance recovery of athletes, whether after an injury, loss of physical conditioning or by the need to improve in some specific aspect of the sport practiced. Thus, the device improve data for a close and specific follow-up, with simple access, where it will be possible to verify the personal evolution, in addition to enabling better strategies for the game based on the main identified advantages of each player. The development is inspired by Wireless Body Area Networks (WBAN) technologies, which have great potential to revolutionize the future of healthcare technology and are already very used in various sports, without offer any restriction to de regular activities of the athletes. The device stands out because it is located where the collection of information will be more relevant, since current technologies are not strategically positioned. Therefore, the differential lies in the fact that the device is where the athlete performs the movement linked to the sport. An Accelerometer, a GPS, and a heart rate sensor were used in the developed prototype. The information registered by the sensors was sent to a database in Airtable using MQTT and Node-RED. To visualize and monitorate the player performance, the solution even has a dashboard in the Google Data Studio. The device was taken to the field and tested in a training situation, where the player performed kicks, displacements, domains and passes using the device, generating results for performance analysis.

Keywords: Internet of Things. Sensoring. Sport. WBAN.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura apresentada por Vieira (2018)	20
Figura 2 – Arquitetura apresentada por Hasan et al. (2019a)	20
Figura 3 – Caso elaborado por Ikram et al. (2015)	21
Figura 4 – Apple Watch Series 7	23
Figura 5 – Polar Team Pro	24
Figura 6 – Aplicações WBAN por Asif et al. (2017)	25
Figura 7 – Placa Arduino Nano por Arduino (2008)	26
Figura 8 – Placa ESP-32 DEVKIT Eletrogate (2018)	26
Figura 9 – Módulo Digi XBee3 Vikacontrols (2018)	27
Figura 10 – Quadro comparativo das alternativas de <i>hardware</i>	27
Figura 11 – Esquema de funcionamento do HTTP por Palarmini (2020)	29
Figura 12 – Esquema de funcionamento do MQTT por Palarmini (2020)	30
Figura 13 – Node-RED	31
Figura 14 – IoBroker	31
Figura 15 – Quadrante Mágico do Gartner para Ferramentas de Suporte a Projetos	33
Figura 16 – Ferramentas de Desenvolvimento Visuais	33
Figura 17 – Exemplo de tabela no AirTable	34
Figura 18 – Quadrante Mágico do Gartner para Ferramentas de BI	35
Figura 19 – Avaliação do Gartner do Google Data Studio	35
Figura 20 – Análise comparativa de ferramentas de BI	36
Figura 21 – Exemplo de tela do Google Data Studio	36
Figura 22 – Arquitetura do projeto	42
Figura 23 – Lista de componentes do projeto	44
Figura 24 – Pinagem ESP-32 DEVKIT por UsinaInfo (2019)	45
Figura 25 – Circuito esquemático da placa	45
Figura 26 – Projeto da PCB	46
Figura 27 – Pilha CR-2032	47
Figura 28 – Bateria recarregável de 3,7V	47
Figura 29 – Carregador portátil para celular	48
Figura 30 – Rotina de <i>setup</i> ou inicialização	49
Figura 31 – Rotina de <i>loop</i> ou repetição	50
Figura 32 – Funções de conexão WIFI e MQTT	51
Figura 33 – Lógica do código de leitura do batimento cardíaco	52
Figura 34 – Lógica do código de leitura do GPS	54
Figura 35 – Lógica do código das rotinas de operação do acelerômetro	55
Figura 36 – Fluxo no Node-RED	56
Figura 37 – Base de dados	57
Figura 38 – <i>Dashboard</i> para análise de desempenho	59

Figura 39 – teste do sensor MPU-6050	60
Figura 40 – teste do sensor de pulso CJMCU	61
Figura 41 – teste do módulo GPS	62
Figura 42 – Placa do projeto fabricada	63
Figura 43 – Placa colocada na capa de proteção e uso	64
Figura 44 – Dispositivo colocado no atleta	65
Figura 45 – Montagem de validação	67
Figura 46 – Servidor na lateral do campo	68
Figura 47 – Teste de deslocamento com bola	69
Figura 48 – Teste de posição angular do pé no chute de bico	69
Figura 49 – Teste de posição angular do pé no chute de lado	70
Figura 50 – Teste de movimentação em domínio de bola e troca de passes	70
Figura 52 – Teste de arrancada	71
Figura 53 – Registro de batimentos cardíacos e posições	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Trabalhos relacionados	19
1.2	Objetivos gerais	21
1.3	Estrutura deste trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Monitoramento de desempenho de atletas	23
2.2	<i>Wireless Body Area Network</i>	25
2.2.1	Alternativas de Hardware para WBAN	26
2.2.2	Sensores relevantes para dispositivos de WBAN	27
2.3	<i>Internet of Things - IoT</i>	28
2.3.1	Alternativas de protocolo de aplicação	29
2.3.2	Ferramentas de <i>middleware</i> para IoT	30
2.4	Base de dados e painéis de visualização	31
2.4.1	Repositório de Dados	31
2.4.2	<i>Business Intelligence</i>	34
3	SITUAÇÃO PROBLEMA	37
4	SOLUÇÃO PROPOSTA	41
4.1	Arquitetura da solução	41
4.2	Projeto Eletrônico	43
4.3	Alimentação e consumo de energia	46
4.3.1	Alternativas de baterias	47
4.3.2	Eficiência energética	48
4.4	<i>Firmware</i>	48
4.4.1	Logica de <i>Setup</i>	49
4.4.2	Logica de <i>Loop</i>	49
4.4.3	Comunicação com a rede e MQTT	50
4.4.4	Coleta de pulso cardíaco	51
4.4.5	Coleta do GPS	53
4.4.6	Coleta do acelerômetro	54
4.4.7	Economia de energia	55
4.5	Integração e base de dados	56
4.5.1	Fluxo no Node-RED	56
4.5.2	Base de dados	57
4.6	Pagina de análise de informações	58
4.7	Calibração de sensores	59
4.7.1	Acelerômetro	59

4.7.2	Sensor de Pulso	60
4.7.3	GPS	61
5	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO	63
5.1	Ergonomia	64
5.2	Uso do protótipo	65
6	RESULTADOS	67
6.1	Validação de campo	67
6.2	Análise de resultados	68
7	CONCLUSÃO	73
7.1	Trabalhos Futuros	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Dentro do contexto esportivo, como dito por [Okazaki et al. \(2012\)](#), "Informações sobre os desempenhos técnico, tático e físico dos atletas e da equipe são essenciais para a fase de planejamento e durante as sessões de treino. Essas informações também são subsídios para as tomadas de decisão antes, durante e após as partidas ou provas de competição".

Essa constatação fica comprovada pois, conforme a tecnologia evolui e é possível a extração de novas informações, elas já começam a aparecer nas estatísticas disponíveis para os técnicos, preparadores físicos e fãs. Um exemplo disso é a tecnologia da linha do gol (*goal line technology*) que foi implementada em 2012 pela FIFA no futebol e permite que, através de um chip na bola e câmeras ou sensores nas traves, o árbitro saiba com certeza se a bola entrou ou não, diretamente no seu relógio.

Nesse contexto de evolução tecnológica os dados de desempenho físico têm um papel fundamental na análise da condição de um atleta. Essas informações podem antecipar possíveis lesões, monitorar condições físicas e fadiga. Isso porque, como mencionado por [Ikram et al. \(2015\)](#), problemas como contusões e falta de ar tendem a ocorrer mais quando os atletas estão cansados ou têm choques com outros, durante uma partida.

Assim, entender quando um atleta atingiu seu limite físico ou se envolveu em um lance com esforço além do normal é decisivo para saber se ele deve, no futebol por exemplo, permanecer em campo. O estudo realizado por [Silva et al. \(2007\)](#) mostra que pouco mais de 39% das lesões do futebol são musculares, sendo que alguns dos principais causadores dessas lesões são a fadiga e os movimentos de aceleração.

Outro aspecto em que os dados de desempenho físico são importantes é para entender ações em jogo ou atividade, além de pontos de melhoria no movimento. Por exemplo, saber quais espaços no campo um jogador percorreu é determinante para saber se ele está cumprindo o papel que lhe foi designado pela comissão técnica.

Dessa forma, o presente trabalho trata da elaboração de um protótipo de dispositivo mecatrônico de IoT para coleta de dados de atletas de futebol durante sua atuação em treinos e jogos. Através de dispositivos como esse é possível monitorar o desempenho físico e tático do atleta, usando sensores que identificam os movimentos realizados.

1.1 Trabalhos relacionados

Observando dissertações e artigos, o trabalho realizado por [Vieira \(2018\)](#) apresenta também um protótipo para coleta de dados do movimento. Fazendo o uso de sensores de baixo custo, ele extrai informações sobre a pisada da pessoa que utiliza o protótipo, pois possui diversos sensores piezoelétricos identificando a força feita por cada parte do pé quando está em movimento, possibilitando o desenvolvimento de uma palmilha ou tênis personalizado. Uma das estratégias

utilizadas por este projeto foi o desenvolvimento de um dispositivo que ficasse acoplado próximo ao pé do usuário, semelhante ao desenvolvido no Dispositivo IoT para monitoramento de atletas no futebol, assim podendo ser usado no local do movimento.



Figura 1 – Arquitetura apresentada por [Vieira \(2018\)](#)

Um aspecto relevante que está atrelado ao presente trabalho é o uso da tecnologia *wireless body area network*, a qual foi detalhada na *review* realizada por [Hasan et al. \(2019a\)](#), descrita no artigo como uma coleção de múltiplos sensores atrelados ao corpo, que são usados para coletar diferentes parâmetros físicos. Vale destacar ainda, deste trabalho, a apresentação da estrutura de arquitetura do WBAN, com 3 camadas, conforme mostrada na figura 2, retirada do artigo. Além disso, a *review* exemplifica as aplicações do WBAN, dividindo entre aplicações médicas e não médicas, destacando os dispositivos do tipo *wearable*.

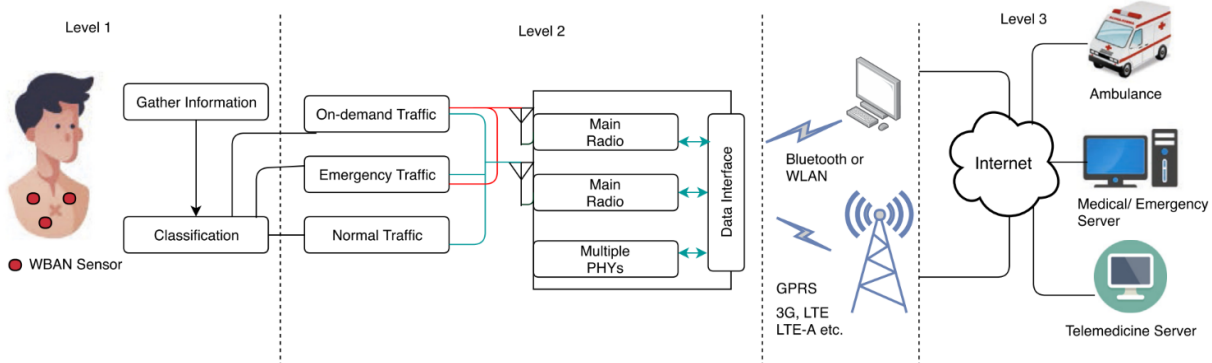


Figura 2 – Arquitetura apresentada por [Hasan et al. \(2019a\)](#)

Essa arquitetura, caracterizada pela comunicação dos dados pela internet para um servidor, foi utilizada como referência para o presente projeto.

Referente ao tipo de sensor utilizado, pode-se mencionar o trabalho de [Silva \(2013\)](#), onde é usado o acelerômetro acoplado ao punho para reconhecer movimentos da mão na rotina do usuário. Os dados de movimento nos 3 eixos cartesianos são comparados às ações realizadas pelo usuário no dia, como correr e trabalhar.

Dentro do uso no futebol, o artigo elaborado por [Ikram et al. \(2015\)](#) apresenta uma estrutura completa de IoT voltada para o uso no jogo de futebol, usando dispositivos com

tecnologia WBAN. No texto é apresentado um estudo de caso, no qual é usado um dispositivo ZigBee enviando dados para a nuvem, os quais são apresentados em um aplicativo para o preparador físico, informando da condição do atleta e riscos de lesão.

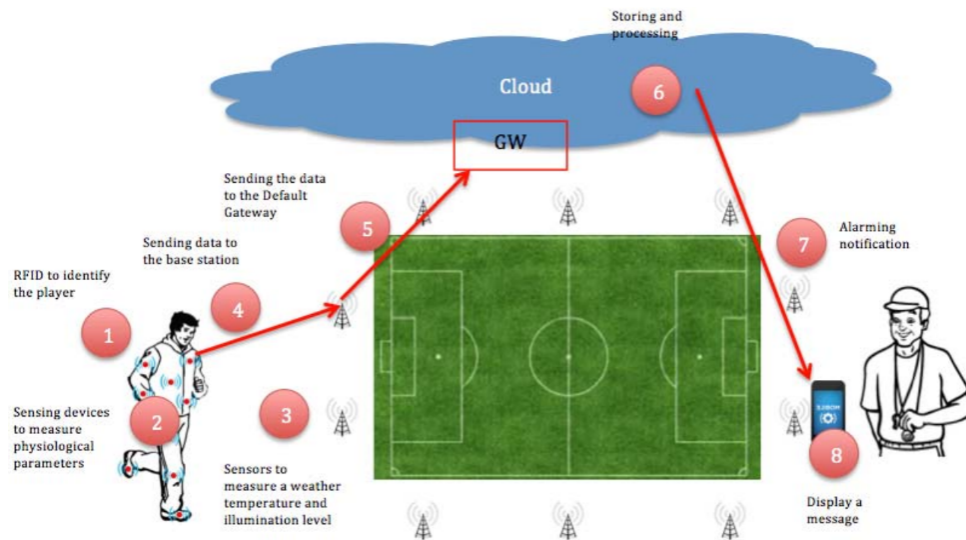


Figura 3 – Caso elaborado por Ikram et al. (2015)

A estrutura desse caso, mostrada na figura 3 serviu também de inspiração para a solução elaborada no Dispositivo IoT para monitoramento de atletas no futebol.

1.2 Objetivos gerais

Tendo em vista o contexto apresentado até então, os principais objetivos do trabalho de conclusão de curso são:

- Estudo da tecnologia WBAN, passando pela forma de implementação e aplicação no esporte.
- Desenvolver um dispositivo de sensoriamento capaz de coletar dados relevantes para o entendimento do desempenho dos atletas em atividades de treinos e jogos.
- Envio das informações coletadas em tempo real, através de uma conexão sem fio, para que analistas e preparadores possam monitorar o trabalho dos atletas durante exercícios.
- Criação de um *hardware* pequeno e leve que possa ser utilizado sem prejudicar a performance dos atletas e se adapte ao local que está instalado no corpo.
- Apresentação da análise dos dados coletados em um *dashboard* para gerar informações importantes aos preparadores, auxiliando na tomada de decisão do esporte.

Com o atingimento desses objetivos espera-se entregar um protótipo funcional para ser testado em campo, contemplando todos os processos desde a coleta a apresentação dos dados.

1.3 Estrutura deste trabalho

Após o presente capítulo de introdução, o documento apresenta uma fundamentação teórica, detalhando as tecnologias e conceitos já existentes para monitoramento de atletas, sistemas e ferramentas de *internet of things*, *wireless body area network* e softwares para painéis de visualização de dados. Com a fundamentação desenvolvida, chega-se a descrição do problema a ser resolvido, no capítulo 3, relacionado à coleta de dados de movimento dos atletas de futebol durante o esforço físico, por um dispositivo em contato com o corpo, enviando informações pela rede e as apresentando para preparadores e treinadores em painéis de visualização e análise.

Após a caracterização do problema, segue-se para o desenvolvimento da solução proposta. Nesse capítulo foi elaborado todo o projeto da solução, passando pela arquitetura com o esquema do protótipo, projeto eletrônico da placa, *firmware* colocado no microcontrolador para extração dos dados dos sensores, processo de envio dos dados para a internet e organização das informações em uma base na nuvem e, por fim, o projeto da tela para análise.

No capítulo 5 é descrito o protótipo fabricado, mencionando os aspectos ergonômicos e como ele pode ser usado pelos atletas. Além disso, tem-se a finalidade do protótipo, ou seja, o campo de aplicação e limitação de uso. Após isso, são mostrados os resultados do dispositivo em funcionamento, passando pela validação do uso de cada uma das partes que compõem o projeto e a análise dos resultados finais obtidos nos testes de movimentação em jogo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O monitoramento de sinais vitais e movimentos por meio de sensoriamento no esporte surge da necessidade de melhorar a precisão dos dados coletados durante os jogos, os quais possuem o potencial de previsão de lesões e de melhora de rendimento por meio da análise de desempenho de atletas em tempo real. Com isso, observou-se a oportunidade de explorar como utilizar de tecnologias como IoT e WBAN para intensificar essas análises, atrelado a um interfaceamento para o monitoramento das informações em uma *dashboard*, de modo a armazená-las em um banco de dados, onde as análises e os pontos de atenção seriam identificados.

Nas seções a seguir, serão destacados os principais referenciais para o entendimento da solução teórica e do protótipo desenvolvidos no trabalho, apresentando tecnologias já existentes no mercado e conceitos relevantes.

2.1 Monitoramento de desempenho de atletas

Existem diversos tipos de dispositivos para monitoramento de desempenho de atletas disponíveis no mercado. Para avaliar a finalidade indicada faz-se necessário a determinação de fatores de funcionamento, no caso do futebol. Seriam eles: ergonomia, relevância dos dados para a comissão técnica e mapeamento para a previsão de contusões.

Tornou-se comum a utilização de relógios inteligentes para o monitoramento de dados físicos, o que no futebol não foi diferente. Atualmente há muita recorrência das equipes de futebol que utilizam *Smart Watches*, sendo que o principal motivador é a obtenção de um maior controle do estado de saúde dos jogadores, podendo monitorar dados como sono e frequência cardíaca.

Para a comissão técnica do Alabama, como levantado por [USATODAY \(2020\)](#), o Apple Watch foi um aliado fundamental durante a pandemia, pois possibilitou um monitoramento da saúde dos jogadores e a visualização dos padrões das estatísticas de cada atleta durante os treinos. Além disso, deu suporte para eles se manterem em forma em um cenário onde os treinos deveriam ser realizados em casa, devido a quarentena advinda da COVID-19.



Figura 4 – Apple Watch Series 7

Os modelos de *Smart Watches* existentes no mercado são diversos, porém, para o futebol o parâmetro de escolha mais importante a ser considerado é que o dispositivo seja compatível com aplicativos de monitoramentos para esportes de modo geral, ou seja, que possuam sensores de acelerômetro e GPS, que é o caso de alguns dos modelos disponíveis de Apple Watch. De acordo [Khushhal et al. \(2017\)](#), o Apple Watch tem uma confiabilidade muito boa durante a caminhada. No entanto, a validade da medição da frequência cardíaca diminui com o aumento da intensidade do exercício, o que é um fator limitante se o considerarmos como parâmetro principal durante treinos e jogos de futebol.

Observando os dispositivos próprios para profissionais de alto rendimento, outro que se destaca é o *Polar Team Pro*, o qual possui, atualmente, o menor sensor multifuncional de monitoramento de desempenho do mundo, segundo a própria empresa Polar¹, tudo isso com uma ótima capacidade de análise de movimento, um GPS de alta precisão, métricas do sensor de inércia e dados do monitor de frequência cardíaca integrado em um sistema de monitoramento de jogadores *wearable* com mobilidade e de fácil utilização. O mesmo tem sido destaque no monitoramento esportivo pois, tanto o treinador quanto os jogadores conseguem ver a carga de treino, o estado da carga cardiovascular e as informações de recuperação para equilibrar o treino e o descanso. Além disso, ele é compatível com frequência cardíaca *Bluetooth Smart*².

Entretanto, a localização dos sensores do *Polar Team Pro* ficam na altura do peito e nas costas, inviabilizando a captura das informações no âmbito de aplicação, onde de fato ocorre o movimento do atleta. Como apontado por [Fox et al. \(2019\)](#), existe uma baixa concordância entre os sensores montados nas costas e no peito para medir velocidade e distância. Por isso, é vital que os profissionais compreendam as limitações e o potencial de erro ao usar o *Polar Team Pro Sensors* para medir a velocidade e a distância durante tarefas contínuas de locomoção e mudança de direção, principalmente em ambientes fechados.



Figura 5 – Polar Team Pro

¹ Referência da empresa em <https://www.polar.com/br/produtos/2b/team-pro>

² Também conhecido *Bluetooth Low Energy*, é uma tecnologia de rede de área pessoal sem fio para interconexão de dispositivos, com alcance similar ao Bluetooth Clássico, porém com taxas de transmissão menores e baixo consumo de energia em relação ao padrão original, além de ser mais seguro pois exige uma aplicação para gerenciar o emparelhamento dos dispositivos.

Em suma, existem ótimas opções no mercado, cada uma com suas especificidades e limitações. O diferencial proposto pelo projeto é o posicionamento estrategicamente pensado para o futebol, visando a coleta de informações diretamente ligadas ao esporte.

2.2 Wireless Body Area Network

Seja no esporte ou na saúde, os avanços tecnológicos estão produzindo sistemas de sensoriamento e plataformas para o monitoramento dos dados de atletas de forma contínua, proporcionando um acompanhamento e previsibilidade de performance e de lesões cada vez mais preciso e assertivo [Wen \(2008\)](#). Essa evolução tecnológica, associada às antenas com irradiações de baixa potência, permitiu o desenvolvimento de uma nova concepção de tecnologia de rede ligada a IoT, designada como WBAN (Wireless Body Area Network), ou redes corporais sem fio. A tecnologia caracteriza sistemas capazes de coletar dados como temperatura corporal, nível de açúcar no sangue, frequência cardíaca, frequência de pulso, medição respiratória e até mesmo a quantidade de calorias queimadas após exercícios, como relatou [Hasan et al. \(2019b\)](#).

Os sensores corporais sem fio ou dispositivos, que são a principal parte da arquitetura dessas soluções, podem estar em contato com a parte externa ou dentro do corpo humano por meio de implantes. A partir disso, há a coleta dos dados necessários e o monitoramento para os propósitos definidos para cada aplicação. Por isso, entre as tecnologias de comunicação mais promissoras que permitem aplicações para monitorar dados de saúde humana, WBAN é considerado como o principal candidato na atualidade. Isso porque, como levantado por [Santos \(2016\)](#), a tecnologia permite a criação de dispositivos sem fios que interligam os sensores do corpo à rede externa, utilizando apenas a infraestrutura de trabalho já existente, como redes celulares WiFi ou banda larga, tais como GSM, GPRS, 3G e LTE.

Existem inúmeras aplicações de WBAN, sejam elas aplicações médicas ou não. O monitoramento de pacientes, de performance e bem-estar, jogos de realidade virtual, gestos de mão ou movimentos do corpo e rastreamento de itens pessoais são alguns dos exemplos, segundo [Movassaghi et al. \(2014\)](#). Na figura 6 estão destacadas, em um diagrama, as principais aplicações verificadas nos dias de hoje.



Figura 6 – Aplicações WBAN por [Asif et al. \(2017\)](#)

2.2.1 Alternativas de Hardware para WBAN

Para o trabalho com esse tipo de sistema é preciso um microcontrolador adequado, respeitando as características de *hardware* exigidas. Ou seja, um componente adequado deve, conforme descrito por [Hasan et al. \(2019a\)](#), ser pequeno, se adequar ao corpo do usuário e possuir uma antena integrada ou poder acoplar uma antena para comunicação. Tendo isso em vista, no levantamento realizado no mercado, apresentaram-se as alternativas de placas para prototipagem detalhadas a seguir.

O Arduino é uma das placas mais presentes em projetos de prototipagem e sua versão reduzida, o Arduino Nano, pode ser uma alternativa para projetos de pequeno porte, visto que seu tamanho é de 17,6mm x 43,2mm. Em termos de memória flash, a placa possui 32kb, sendo baseada no microcontrolador ATmega328. Quanto à comunicação a rede, essa placa não possui suporte ou antena para conexão com a internet, assim é dependente de um módulo auxiliar para realizar a transferência de informações.

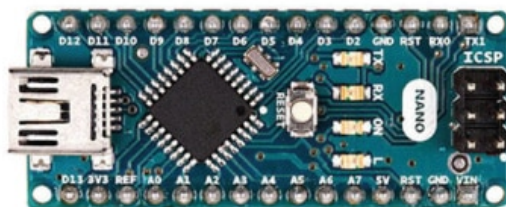


Figura 7 – Placa Arduino Nano por [Arduino \(2008\)](#)

Outra placa muito utilizada é o ESP-32 DEVKIT, por possuir uma antena embutida, podendo se comunicar tanto por Wifi, quanto Bluetooth (*low energy* 4.2). A respeito de outras características, o tamanho dela é 25,5mm x 48,2mm e possui memória flash de 4Mb, usando o microcontrolador ESP-32. Esse chip, como mencionado por [Eletrogate \(2018\)](#), é "um super chip! Ele possui dois Microprocessadores Xtensa® 32-bit LX6 com até 600 DMIPS (velocidade de processamento)".

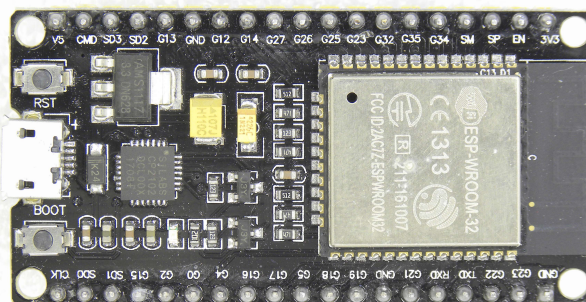


Figura 8 – Placa ESP-32 DEVKIT [Eletrogate \(2018\)](#)

Além das tecnologias já citadas, vale destacar o módulo Digi XBee3: ele possui capacidade de comunicação pelo protocolo da fabricante, o ZigBee 3.0 e o Bluetooth (*low energy*), com

antena embutida. Possui uma memória flash de 1Mb e um tamanho de 22,0mm x 33,8mm e, apesar de outros módulos XBee dependerem de um microcontrolador para trabalhar, esse possui um próprio, o qual é programável em MicroPython.



Figura 9 – Módulo Digi XBee3 [Vikacontrols \(2018\)](#)

A partir de uma análise comparativa, temos as seguintes características destacadas em cada solução de *hardware* apresentada:

HARDWARE	ARDUINO NANO	ESP-32 DEVKIT	MÓDULO DIGI XBEE3
Custo estimado	R\$ 65,99	R\$ 58,85	R\$ 250,74
Memória Flash	35kb	4Mb	1Mb
Dimensões (mm)	17,6mm x 43,2mm	25,5mm x 48,2mm	22,0mm x 33,8mm
Comunicação com a Rede	Dependente de módulo externo	Bluetooth, Wifi	Bluetooth, Wifi , Zigbee
Programação	Arduino – C++	C++ e Lua	MicroPython

Figura 10 – Quadro comparativo das alternativas de *hardware*

Vale ressaltar que as informações técnicas de cada componente foram extraídas das páginas dos fabricantes, enquanto os valores de custo foram obtidos na loja <https://www.wjcomponentes.com.br>.

2.2.2 Sensores relevantes para dispositivos de WBAN

Outros elementos fundamentais para sistemas de WBAN são sensores, responsáveis por coletar as informações necessárias e monitorar o corpo. Em um trabalho realizado por [Sattaburuth et al. \(2021\)](#) estudando o sensoriamento das coisas, foram destacados os atributos que podem ser coletados do corpo nesse tipo de sistema, sendo alguns eles: temperatura corporal, pressão e fluxo sanguíneo, batimento cardíaco, suor, oxigenação do sangue, peso, movimento, aceleração, rotação, atividade física e mental.

Para coletar estas informações são precisos diversos sensores diferentes, os quais podem ser separados em duas categorias principais, os de monitoramento da atividade corporal e de movimento.

O sensor de pulso é um sensor de atividade corporal utilizado em diversos dispositivos de mercado, visto que monitorar o batimento cardíaco é fundamental para entender a saúde e cansaço. Como destacado por [Hall \(2022\)](#), existem dois tipos de sensor, o óptico usa luz para

detectar a frequência cardíaca através da pele, enquanto o elétrico detecta sinais elétricos dos batimentos cardíacos.

Outro sensor muito presente nos dispositivos de mercado é o GPS, ele é um sensor de movimento através do qual é possível obter a posição no espaço, a partir disso mais informações podem ser obtidas, como velocidade, altura, distância percorrida e outros. O GPS funciona realizando a triangulação da informação coletada a partir de diversos satélites, os modelos mais sofisticados conseguem uma precisão de até 30cm, como o modelo da Broadcom.

2.3 *Internet of Things - IoT*

As tecnologias relacionadas a IoT (Internet das Coisas) possibilitam que máquinas, dispositivos e utensílios, enfim, objetos do nosso cotidiano, se comuniquem entre si e troquem informações, de modo que esses objetos executem operações automaticamente, sem a intervenção dos seus usuários.

O termo "Internet das Coisas" foi empregado originalmente em 1999 por Kevin Ashton, um pesquisador britânico que implementou um sistema de sensores que se conectavam a Internet para o envio de informações de identificação de dispositivos, realizada por rádio frequência (RFID). Com o avanço da tecnologia aplicada à comunicação de dados, aos sistemas embarcados e dispositivos de sensoramento, a IoT evoluiu e se tornou imprescindível para a concepção da Indústria 4.0.

O conceito de Indústria 4.0 foi apresentado pela primeira vez em 2012 na Feira de Hannover, na Alemanha, caracterizando uma nova era para os processos de produção industriais, com foco na automação e a utilização integrada de tecnologias relacionadas à robótica, internet das coisas e inteligência artificial, entre outras, para a melhoria dos padrões de produção, da produtividade e dos modelos de negócios.

Mesmo que esses conceitos sejam recentes, [Tesla \(1926\)](#) já antecipava essa realidade de comunicação em tempo real por dispositivos portáteis, em 1926, quando comentou em uma entrevista que, "quando as redes de comunicação sem fio forem aplicadas perfeitamente, toda a Terra será convertida em um enorme cérebro, o que de fato é, com todas as coisas sendo partículas de um todo real e sincronizado. Seremos capazes de nos comunicar uns com os outros instantaneamente, independentemente da distância [...] e os instrumentos através dos quais poderemos fazê-lo serão surpreendentemente simples em comparação com os aparelhos atuais, que um homem poderá carregar um no bolso do colete".

Em síntese, no contexto da IoT, é possível afirmar que um dispositivo é dotado de recursos para conexão com uma rede de comunicação, via Wi-Fi, Bluetooth ou dados móveis, por exemplo, viabilizando a recepção e transferência de dados. Dessa forma, os serviços e as informações resultantes da automação desses dispositivos podem ser consumidas pelo usuário final, de modo *online*, para propósitos específicos ou mesmo retroalimentar processos que estejam sendo executados automaticamente por outros dispositivos. Segundo aponta [Marginean et al. \(2016\)](#), "no mundo da IoT, não definimos apenas o objetivo no nível do usuário (ou seja, por aplicativo), mas as próprias coisas podem funcionar para atingir determinados objetivos sem

incluir ativamente o usuário. No final, os dispositivos ainda atendem ao usuário, mas agem de forma autônoma em segundo plano".

Para que seja possível estabelecer o papel de cada dispositivo na operação de um sistema de Internet das Coisas, a forma como serão controlados e como será realizada a comunicação entre tais dispositivos, o banco de dados e os sistemas que consumirão esses dados, [Marginean et al. \(2016\)](#) propõe que a implementação desse sistema seja planejada em camadas, considerando o nível de aplicação, de dados, de hardware e de integração.

A grande disponibilidade de dispositivos com capacidade de conexão a redes de comunicação de dados e a infinidade de aplicações disponíveis para consumo de dados via Internet, oferecem várias alternativas de solução, com características comuns a todos os dispositivos de IoT em cada camada, e outras específicas, que devem ser consideradas para o suporte às necessidades deste projeto.

2.3.1 Alternativas de protocolo de aplicação

Com a inclusão das tecnologias de internet das coisas em diversos meios, desde a indústria a medicina, sendo aplicada tanto para monitoramento quanto atuação, surgiram diversos protocolos de aplicação, para padronizar a estrutura de envio e recebimento das informações. Cada um possui aspectos diferentes, conforme as aplicações para qual podem ser usados e os tipos de dados transmitidos. A seguir serão detalhados dois dos principais protocolos de IoT.

Protocolo mais utilizado na internet, o qual também pode ser usado também para a IoT, o HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), como dito no documento de especificação do protocolo na versão 1.1, "é um protocolo orientado a objeto, o qual pode ser usado para diversas atribuições como *name servers* e objetos de gerenciamento de sistemas, através dos seus métodos de *request*", [Fielding et al. \(1997\)](#).

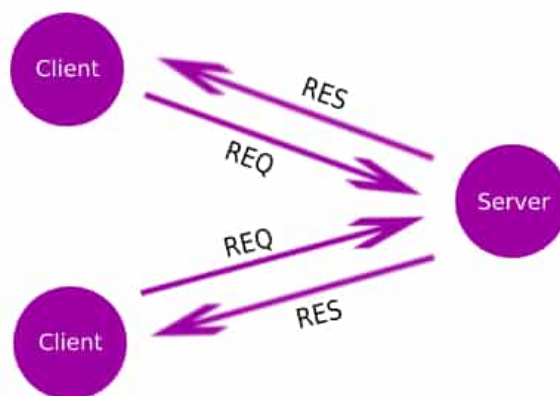


Figura 11 – Esquema de funcionamento do HTTP por [Palarmini \(2020\)](#)

A estrutura de trabalho do protocolo é baseada em solicitações e respostas, onde um

cliente envia informações, a partir de uma requisição realizada pelo servidor, conforme apresentado na figura 11. Cada mensagem contém um cabeçalho, método, tipo de dado e a informação da mensagem em si, como explica [Palarmini \(2020\)](#).

Outro protocolo, este direcionado principalmente a aplicações de IoT, o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo especialmente desenvolvido para comunicação M2M (*machine to machine*). O protocolo opera com TCP/IP e possui um pacote de dados para transporte com tamanho mínimo (menor que 2 bytes), "para que o consumo de energia seja pequeno o bastante", [Atmoko et al. \(2017\)](#).

O funcionamento desse protocolo é baseado em dois elementos principais, o *broker* que atua como um concentrador e distribuidor das informações e o cliente, o qual está inscrito para escrever ou ler dados. O cliente, após inscrito, escolhe com qual tópico quer interagir e define se vai publicar algo naquele tópico ou ler uma informação publicada por outro cliente. Vale ressaltar que o mesmo *broker* pode ter vários tópicos operando.

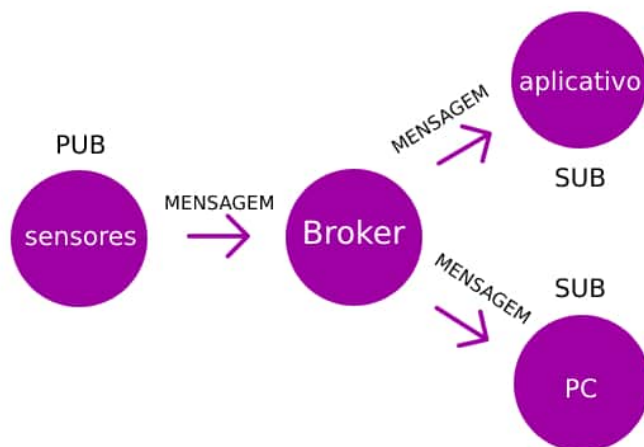


Figura 12 – Esquema de funcionamento do MQTT por [Palarmini \(2020\)](#)

2.3.2 Ferramentas de *middleware* para IoT

Para trabalhar com internet das coisas, normalmente é utilizada uma ferramenta que atua como um *middleware*, ou seja, recebendo as informações enviadas pelo dispositivo IoT e organizando para serem enviadas a aplicação final ou ao banco de dados da solução. Como dito por [Pinto \(2022\)](#), ele atua "como uma camada oculta de tradução que abstrai as heterogeneidades existentes na comunicação distribuída".

Uma das principais plataformas para realizar essa conexão entre dispositivos e partes de um projeto IoT é o Node-RED, desenvolvido pela IBM. Descrito como: "ferramenta visual de ambiente de código aberto, que inicialmente foi desenvolvida para implementar, criar e/ou conectar dispositivos de IoT, tendo sido estendida posteriormente para hardwares, APIs e web services", por [Basílio \(2021\)](#).

Como salientado, o Node-RED é bastante versátil e os programas ou fluxos na ferramenta são elaborados conectando blocos que realizam ações, do tipo receber dados via MQTT, escrever em HTML em uma página, fazer operações e outros.

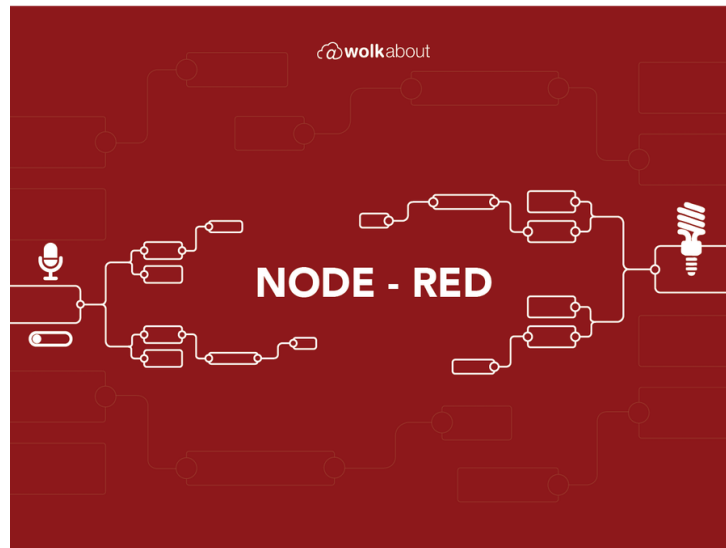


Figura 13 – Node-RED

Uma alternativa ao Node-RED é o IoBroker, uma ferramenta para conectar dispositivos em projetos de automação residencial, com 450 *adapters* (módulos para usar protocolos ou dispositivos), conforme salientado na página do programa.



Figura 14 – IoBroker

2.4 Base de dados e painéis de visualização

No escopo do projeto, 2 *softwares* se destacam para que sejam alcançados os objetivos de coleta e análise de informações pré-estabelecidos: uma solução de *Data Warehouse* e outra de *Business Intelligence*.

2.4.1 Repositório de Dados

Para que seja possível a análise do desempenho físico e tático de atletas de futebol durante treinos e jogos, será necessária a coleta e o armazenamento de grande quantidade de dados do corpo e do movimento dos jogadores, de forma padronizada e estruturada. A massa de dados proveniente dos sensores deve ser continuamente armazenada em um banco de dados, especialmente configurado para possibilitar a extração futura das informações, formando um *Data Warehouse* (DW).

Um DW, conforme nos ensina Barbieri (2001), "pode ser definido como um banco de dados, destinado a sistemas de apoio à tomada de decisão e cujos dados foram armazenados em estruturas lógicas dimensionais, possibilitando o seu processamento analítico por ferramentas especiais". Nada mais é do que uma "área de armazenamento de dados históricos e integrados destinados a sistemas de suporte à decisão", segundo Singh (2011). Basicamente o DW executará operações de carga de dados para um modelo relacional, ou seja, um modelo estruturado de tabela com dados relacionados entre si, e operações de leitura para a geração de análises e relatórios.

Neste sentido, é possível dizer que o DW servirá para criar uma visão concentrada dos dados provenientes do dispositivo projetado, a qual será objeto de ferramentas de *Business Intelligence* (BI), para obtenção das informações de análise requisitadas pelos usuários.

No mercado encontramos inúmeras soluções de banco de dados relacionais, que podem ser utilizados como repositório de dados do presente projeto. Oracle, IBM e Microsoft despontam com poderosos gerenciadores de bancos de dados, mas que, por serem ferramentas destinadas a aplicações corporativas, não se adequariam à solução ora proposta, pelas exigências de desenvolvimentos adicionais para a integração com outras ferramentas e pelo alto custo da infraestrutura necessária a sua operação.

Assim sendo, nosso estudo se concentrou em ferramentas mais ágeis, com a capacidade de estruturação de tabelas, com recursos avançados de manipulação de dados e integração com outras plataformas, para análise e exibição de informações.

Verificando-se as ferramentas destacadas no quadrante identificado pelo Gartner Group (Figura 15), identificamos o AirTable³ como umas das principais em termos de capacidade. O Gartner Group realiza pesquisas em diversas áreas e seus relatórios, denominados "Quadrantes Mágicos", permitem acompanhar a avaliação das principais empresas de tecnologia e seu posicionamento no mercado, com base em duas dimensões: o eixo horizontal indica a amplitude da visão da organização no tocante à tecnologia e o eixo vertical destaca a capacidade da solução de executar o que se propõem.

³ Referência do produto em <https://airtable.com/>

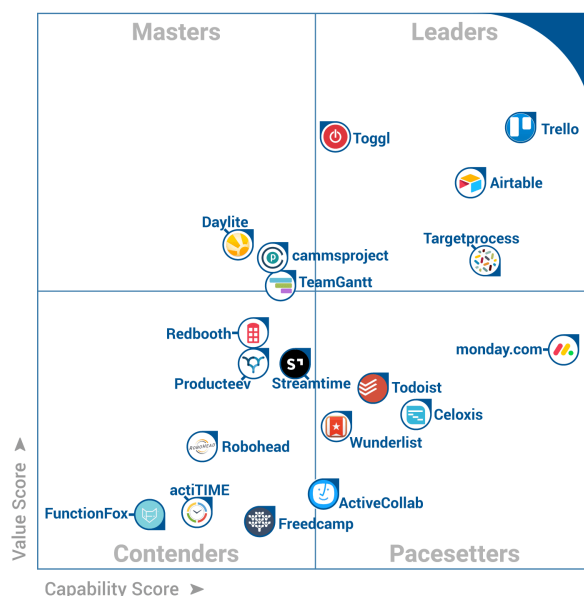


Figura 15 – Quadrante Mágico do Gartner para Ferramentas de Suporte a Projetos

O AirTable é uma plataforma de gerenciamento de dados em tabelas estruturadas, de alta performance e com alto grau de integração nativa com outras plataformas. Além disso destaca-se, em relação aos seus concorrentes diretos (Figura 16), pela interface intuitiva e pelo baixo custo de manutenção em operação, figurando entre as ferramentas de suporte a dados mais utilizadas para desenvolvimento visual.

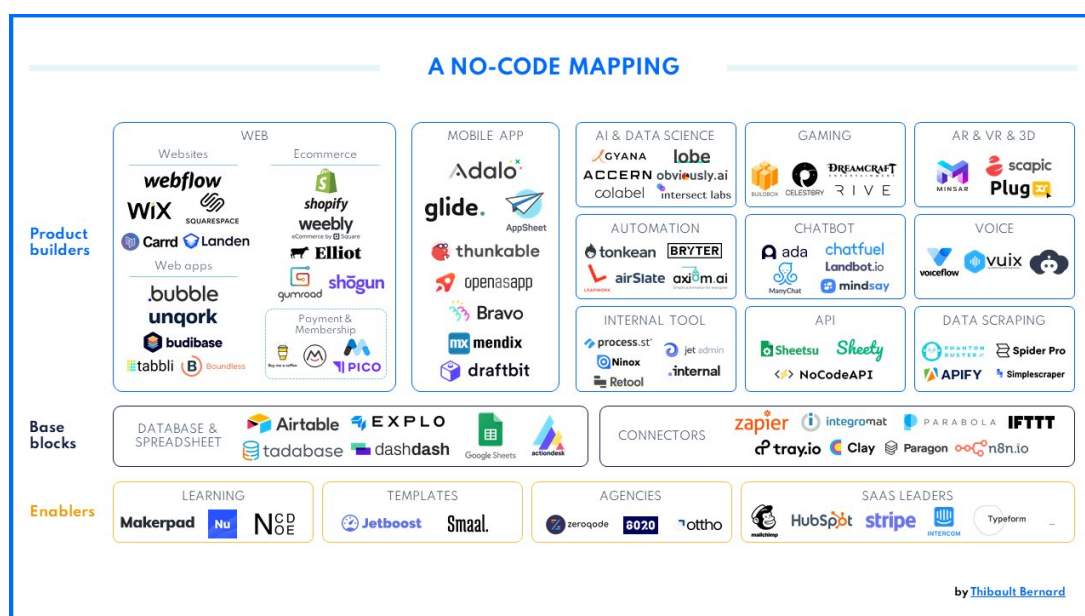


Figura 16 – Ferramentas de Desenvolvimento Visuais

Os dados armazenados no Airtable podem ser apresentados em formato de tabela, kanban, mapa de Gantt, calendário e várias outras formas de visualização. Além disso, no que diz respeito a integração, a ferramenta possui uma *metadata* API gerada automaticamente para cada base de dados criada, possibilitando a conexão com outras ferramentas para enviar ou receber dados.

Para complementar, é possível adicionar extensões e automações de forma gratuita, como gerar gráficos e enviar e-mails de forma automática. Na figura 17 é mostrada uma tabela com diversos tipos de campo e possibilidades de ferramentas para conexão.

	Title	Priority	Source	Create Jira Issue	Open in Jira
1	App freezes on my iPad after extended use	High	Zendesk	✓	Open in Jira
1	App is slow to load some workouts	High	Zendesk		
1	App restarts during my workout	High	Zendesk	✓	Open in Jira
1	I want to be able to increase promo codes to friends and family	Medium	Feedback Form		
2	I want to get credits for referring friends and family	Medium	Feedback Form	✓	Open in Jira
3	I want to be able to challenge friends and have a realtime leaderboard	Medium	Feedback Form		
4	I want to see my performance vs. my best during my workout	Low	Feedback Form		
5	I want to show my stats on my community forum profile	None	Community Forum	✓	Open in Jira

Figura 17 – Exemplo de tabela no AirTable

2.4.2 Business Intelligence

Além da definição de um repositório de dados adequado, é de igual importância a escolha de uma ferramenta de BI adequada para a realização das análises de performance requeridas e a exibição de informações para o usuário.

De acordo com Barbieri (2001), podemos definir BI como sendo “a utilização de variadas fontes de informação para se definir estratégias de competitividade nos negócios”, nesse caso, especificamente, vantagem competitiva para os times de futebol no melhor aproveitamento das capacidades e competências de seus atletas.

As ferramentas de BI vem se transformando, ao longo de décadas de evolução tecnológica, de simples geradores de relatórios gerenciais em poderosas plataformas de pesquisa, cruzamento, comparação e análise de dados.

Para Turban et al. (2009), uma solução de BI envolve investimentos em “[...] arquiteturas, ferramentas, bancos de dados, aplicações e metodologias”. Contudo, no escopo do presente projeto, o estudo e desenvolvimento será concentrado nas soluções tecnológicas que possibilitarão a análise dos dados coletados pelos dispositivos acoplados aos atletas.

Segundo análise do Gartner Group (figura 18), as ferramentas de BI que se destacam no mercado são o Power BI da Microsoft e Tableau, da Salesforce. São ferramentas de uso corporativo, que se assemelham em características técnicas, de utilização e de licenciamento.



Figura 18 – Quadrante Mágico do Gartner para Ferramentas de BI

O Power BI e o Tableau se apresentam como ferramentas poderosas, no entanto de um custo mais elevado para desenvolvimento e manutenção de solução complexas. Nesse sentido, uma alternativa de uso aberto e simples é o Google Data Studio, uma solução bem avaliada no mercado (Figura 19) e não menos poderosa que suas concorrentes, especialmente no que diz respeito às possibilidades de apresentação dos resultados e na capacidade de integração com outras plataformas.



Figura 19 – Avaliação do Gartner do Google Data Studio

Em uma análise comparativa, temos as seguintes características destacadas de cada solução:

FERRAMENTA	GOOGLE DATA STUDIO	TABLEAU	POWER BI
Aplicação principal	Dashboards e visualizações	Análise de dados	Dashboards e visualizações
Acesso a recursos e funções	Visual	Por Comandos	Visual
Escalabilidade em volume de dados	Muito boa	Muito boa	Boa
Infraestrutura	SaaS (nuvem)	Flexível	SaaS (nuvem)
Integração com outras ferramentas	Alto, nativo Google Sheets e Analytics	Médio	Alto, nativo Excel e SQL Query
Preparação de dados	Simples	Complexa, mas assistida	Simples
Exibição de resultados	Muitos Recursos	Muitos recursos	Muitos recursos
Exploração de dados para análise	Normal	Avançado	Normal
Configuração da Interface	Alta	Normal	Simples
Qualidade do Suporte	Simples	Elevada	Simples
Custo para utilização da solução	Gratuito	Alto (750 euros/ano)	Baixo (100 euros/ano)

Figura 20 – Análise comparativa de ferramentas de BI

Além do acesso direto aos dados do Google Sheets, o Data Studio possui integração nativa com outras ferramentas da mesma empresa, como o Google Analytics, o Google Ads (Adwords), o Google Search, entre outras. Também é possível importar dados de outros serviços e repositórios de dados como do Facebook, do Twitter e do MySQL, apenas para mencionar alguns. Com os dados concentrados na ferramenta, é possível correlacionar informações, gerar gráficos e personalizar os painéis de visualização, simplesmente arrastando e soltando os objetos disponíveis na tela (Figura 21).

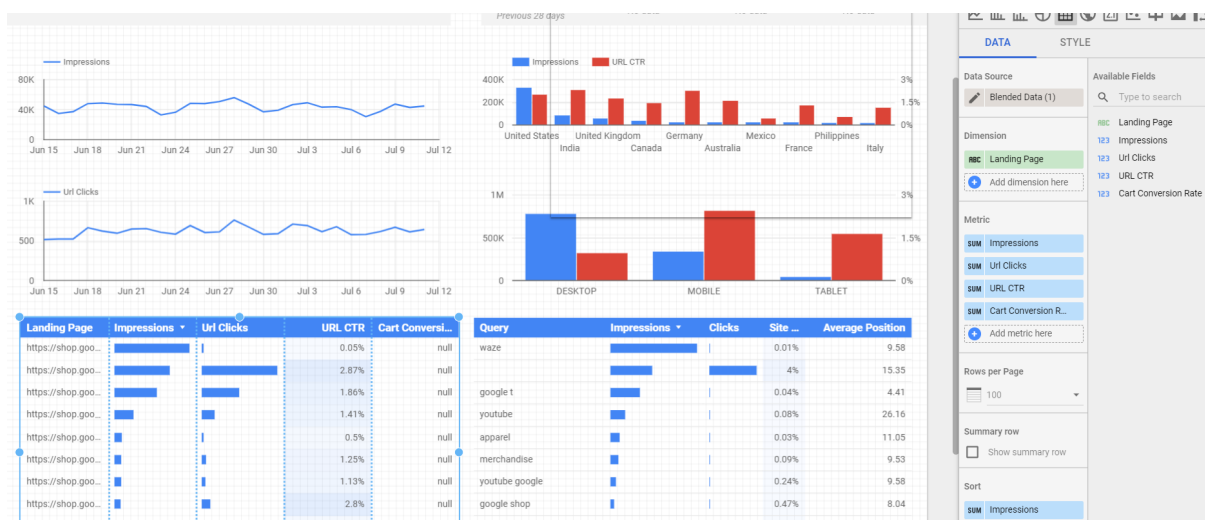


Figura 21 – Exemplo de tela do Google Data Studio

Para ter acesso a todo esse ferramental disponibilizado pelo Google Data Studio, basta ter uma conta de usuário do Google e acessar, gratuitamente, os recursos da plataforma.

3 SITUAÇÃO PROBLEMA

A presente proposta de trabalho está inserida no contexto da avaliação de desempenho de atletas através do uso de dispositivos vestíveis (*wearables*). Ou seja, aqueles que os atletas podem utilizar durante a prática de atividades esportivas, coletando informação no momento de esforço físico.

Os indicadores de desempenho físico podem ser divididos nas seguintes categorias de dados que podem ser extraídos do atleta ao longo da prática de atividades:

1. Sinais vitais: informações como oxigenação do sangue, frequência de batimento cardíaco e pressão sanguínea.
2. Movimentação: informações como distância percorrida, aceleração, força realizada, desaceleração por colisão, velocidade, posição ocupada a partir da delimitação pré estabelecida do campo.

Já existem diversos dispositivos que realizam o monitoramento de sinais vitais de atletas com grande precisão, como o *Samsung Watch*¹ da empresa da Samsung e os relógios *trackers* da Fitbit². Esses dispositivos foram projetados para serem utilizados no pulso e são bastante populares entre atletas amadores, pois enviam as informações coletadas do corpo para os *smartphones*, facilitando o acompanhamento de indicadores.

No contexto de esportes de alto rendimento, tem-se também o já citado *Polar Team Pro*, o qual é um dispositivo pequeno, projetado pela empresa Polar³. O *Team Pro* envolve as duas categorias de indicadores, coletando o batimento cardíaco, através de um sensor de frequência integrado e a posição por GPS. Após coletar as informações, ele utiliza o protocolo *Bluetooth* para enviá-las ao *IPad* da comissão técnica.

O aperfeiçoamento das tecnologias de detecção que fornecem fluxos de dados, extraídos dos jogos de futebol, ocasionou uma incrível evolução das estatísticas. Esta evolução permite uma melhora nas estratégias das equipes e proporciona uma vantagem competitiva, o que gera interesse entre clubes de futebol, ligas e treinadores, que veem no uso da tecnologia uma forma de potencializar suas estratégias. Atualmente, empresas profissionais de análise estatística como a Prozone Sports⁴ e a Stats Perform⁵ fornecem análises desse tipo.

Como observado em pesquisas de mercado, os indicadores de movimentação ainda são pouco explorados, não estando presentes de forma ampla entre as soluções disponíveis, principalmente os dispositivos *in shoe*, ou seja, aqueles que estão posicionados nos pés dos

¹ Referência do Samsung Galaxy Watch4 Classic BT 46mm em <https://www.samsung.com/br/watches/galaxy-watch/galaxy-watch4-classic-black-bluetooth-sm-r890nzkpzt0/>

² Referência da empresa em <https://www.fitbit.com/global/us/products/trackers>

³ Referência da empresa em <https://www.polar.com/br/produtos/2b/team-pro>

⁴ Referência da empresa em <https://issuu.com/prozone>

⁵ Referência da empresa em <https://www.statsperform.com/opta/>

jogadores. Esse posicionamento é importante pois, conforme detalhado por [Vieira \(2018\)](#), "Esse tipo de sistema fornece liberdade nas coletas de dados, para que possam ser realizadas em ambiente externo e em condições do cotidiano da pessoa em questão; além de condições específicas, como em corridas em pistas, saltos e aterrissagens". Nesse sentido, considerando as perspectivas de utilização e as lacunas de mercado, o projeto explorará especialmente essa categoria de informações.

Contudo, existem diversos tipos de esporte e muitos indicadores de movimentação podem ser coletados e utilizados. Assim, para delimitar o que é preciso coletar, deve-se definir inicialmente o esporte de aplicação. O futebol, como apurado pela [FIFA \(2007\)](#), "com mais de 270 milhões de praticantes ao redor do mundo, é um dos esportes mais populares do mundo". Além disso, conforme afirma [Blanchard et al. \(2018\)](#), "ele é um esporte cuja a prática evoluiu significativamente em termos de intensidade e tenacidade". [Blanchard et al. \(2018\)](#) complementa que: "essa expansão está relacionada com o aumento das lesões, na média 8 para cada 1.000 horas de prática, com uma média geral de 2 lesões por jogador por temporada entre os atletas profissionais. Isso representa custos significativos com a saúde; estima-se que 1,6 bilhões de dólares são gastos todo ano". Dessa forma, existe também um amplo mercado dentro do futebol para aplicações que colem informações e auxiliem na prevenção de lesões.

No âmbito do futebol, pode-se extrair vários dados referentes ao movimento dos atletas. Assim para selecionar quais aspectos precisam ser capturados de cada jogador durante o jogo, pelo dispositivo *in shoe* a ser desenvolvido, deve-se observar os seguintes critérios:

- Limitações financeiras de desenvolvimento: tratando-se de dispositivo que deverá obter informações diversas e, conforme mencionado, sujeito a quebras por estar operando em condições extremas, os custos dos componentes da solução não podem ser elevados, privilegiando a modularidade da solução com dispositivos de mercado, e sua composição deve possibilitar fácil manutenção.
- Relevância do dado para prevenção de lesões: Como já dito, em referência a [Silva et al. \(2007\)](#), 39% das lesões do futebol são musculares, sendo principalmente originadas por fadiga e sobrecarga. Para identificar essas duas situações, podem ser coletados e analisados dados que demonstrem que fibras musculares relacionadas ao movimento não possuem o mesmo desempenho do início da atividade física.
- Importância para tomada de decisão de técnicos e preparadores: as informações coletadas devem servir para a elevação do desempenho do jogador que integra um esquema tático ou uma estratégia de jogo. Segundo [Okazaki et al. \(2012\)](#), "Informações sobre os desempenhos técnico, tático e físico dos atletas e da equipe são essenciais para a fase de planejamento e durante as sessões de treino [...] também são subsídios para as tomadas de decisão antes, durante e após as partidas ou provas de competição". Nesse sentido, deve ser possível, a partir das informações obtidas, ajustar a posição de jogadores em campo, reforçar treinamentos específicos para destacar alguma característica física/técnica, ou até mesmo substituir aqueles que não produzem o rendimento esperado.

- Limitações técnicas e físicas de implementação: [Silva \(2013\)](#) destaca que "a monitoração contínua dos movimentos de uma pessoa deve ser feita mantendo a liberdade e conforto para que não ocorram interferências na execução das atividades", com a "fixação do sensor em um local do corpo onde esses requisitos sejam atingidos". Nesse sentido, deve ser possível coletar as informações provenientes do corpo do atleta sem que o dispositivo lhe cause qualquer desconforto ou dificuldade técnica no seu desempenho. Assim, importante considerar-se aspectos como o tamanho, formato e simplicidade de fixação do dispositivo nos acessórios do atleta. Além disso, por ser exigida a operação do dispositivo de coleta durante longos períodos e em condições de operação sujeitas a fatores externos, deve-se considerar características técnicas que representem um boa autonomia de funcionamento, ótimo alcance e a facilidade de substituição em caso de quebra.

Nesse contexto, em atenção aos critérios apresentados, os indicadores de movimento escolhidos para serem avaliados foram a posição do atleta, potencia nas ações de jogo, velocidade e aceleração do deslocamento. Comparados com valores médios do time e históricos do próprio atleta, tais indicadores são muito relevantes na antecipação de possíveis lesões, auxiliam os técnicos na tomada de decisão e são possíveis de serem implementados dentro das limitações do projeto.

Outro ponto relevante da informação no futebol é a velocidade com que ela chega. Hoje as estatísticas de jogos são muito acessíveis para torcedores e técnicos, através de dispositivos móveis como os aplicativos de celulares, porém nem sempre com a velocidade suficiente para a tomada de decisões em tempo real. Com os dispositivos de sensoriamento esportivo não pode ser diferente, é importante que eles atuem com *biofeedback*, ou seja, o "ato de fornecer informações em tempo real sobre um ou mais dados fisiológicos do sistema motor enquanto ele está em atividade", conforme indica [Okazaki et al. \(2012\)](#).

Para que as informações possam ser passadas dessa forma, o *hardware* a ser desenvolvido deve envolver a tecnologia de internet das coisas (IoT - *internet of things*), mais especificamente, do tipo de WBAN (*wireless body area network*), conceito definido por [Hasan et al. \(2019a\)](#) como "uma coleção de múltiplos sensores ligados ao corpo ou dentro dele, os quais são usados para receber diferentes parâmetros físicos".

Outro ponto relevante do projeto é o consumo de energia, por ser um dispositivo portátil. A comunicação *wireless* é um dos processos que mais consome energia nas baterias de dispositivos, conforme [Rault et al. \(2014\)](#), dessa forma a escolha pelo protocolo de comunicação sem fio é muito relevante para a durabilidade da bateria no projeto de IoT.

A tecnologia WBAN é a que mais se encaixa no problema em questão, por ser pensada para projetos de baixo consumo de energia, envolvendo três partes: o dispositivo de coleta, o servidor ou ferramenta concentradora das informações e uma interface para apresentar os dados ao treinador, conforme detalhado por [Asif et al. \(2017\)](#).

Tais características da tecnologia WBAN determinam o escopo principal do projeto, direcionando os esforços principalmente para o protótipo de dispositivo de coleta de informações, o qual poderá ser testado por jogadores, para a coleta e análise dos indicadores citados anteriormente.

Sendo assim, a construção da base de dados e do *dashboard* estarão presentes no projeto como um todo, para tornar aplicável o protótipo, porém de forma complementar.

Destaca-se que não fazem parte do escopo do projeto a elaboração de produto final para comercialização, a integração com outros dispositivos de sensoriamento esportivo e o desenvolvimento de uma aplicação complexa para a apresentação dos resultados.

4 SOLUÇÃO PROPOSTA

Retomando o problema proposto, será preciso um dispositivo que possa coletar as informações do atleta, no momento em que ele está praticando o esporte. Para essa situação, como apresentado por [Vieira \(2018\)](#), "Os equipamentos miniaturizados são cada vez mais aplicados para sistemas de medições dinâmicas, sendo leves e com comunicação sem fio para transmissão dos dados. Esse avanço proporcionou que soluções para cuidados da saúde, esportes, medicina e fisioterapia se desenvolvessem, e dentre elas, surgiram soluções para o monitoramento da pressão plantar de indivíduos".

Para coletar as informações de posição do atleta, potencia nas ações de jogo, velocidade e aceleração do deslocamento, foram selecionados o dois sensores: o GPS e o acelerômetro. Através do GPS é possível saber a posição do atleta, obter a velocidade média em um determinado tempo e compor um mapa de calor no campo. Já, com o acelerômetro é possível saber o numero de arrancadas (piques ou *sprints*) dados pelo jogador, potencia dos chutes e dos choque com outros atletas. Além destes, a solução também conta com sensor de batimento cardíaco para complementar e dar mais aplicabilidade ao protótipo.

Outro elemento relevante para a solução é o uso de um microcontrolador adequado para IoT. Essa composição de componentes físicos precisa se adequar ao padrão de produtos de WBAN, ou seja, "não podem pesar muito visto que eles precisam ser vestíveis, como uma camiseta" ([Ikram et al. \(2015\)](#)). No caso do protótipo fim desse projeto, ele terá caráter *in shoe*, sendo posicionado próximo ao pé do atleta.

Além desses elementos a solução ainda conta com componentes digitais, como banco de dados para armazenamento das informações extraídas do atleta e painel para apresentação de análises aos preparadores e treinadores.

Nas próximas sessões serão abordados os aspectos da estrutura da solução, passando pela arquitetura, projeto eletrônico, *firmware*, base de dados e painel. Os principais arquivos que compõem a solução, como código e o projeto da placa, estão em um repositório no *github*, que pode ser acessado pelo link: <https://github.com/henrique-tm/Dispositivo_IoT_futebol>

4.1 Arquitetura da solução

Na arquitetura dos projetos de dispositivos WBAN, como relatado por [Asif et al. \(2017\)](#) em sua análise da tecnologia, as soluções possuem a princípio três camadas. A primeira é composta pelos sensores que coletam dados do atleta, a segunda pelo servidor ou banco de dados que concentra e organiza as informações e a terceira é a interface vista pelo usuário, com o painel de estatísticas do atleta para tomadas de decisão.

A figura [22](#), elaborada utilizando a ferramenta de projeto visual Miro¹, mostra o esque-

¹ Referência do produto em https://miro.com/app/board/uXjVOykfHO4=

mático com os componentes de *hardware* e *software* de projeto, além da forma de comunicação entre eles.

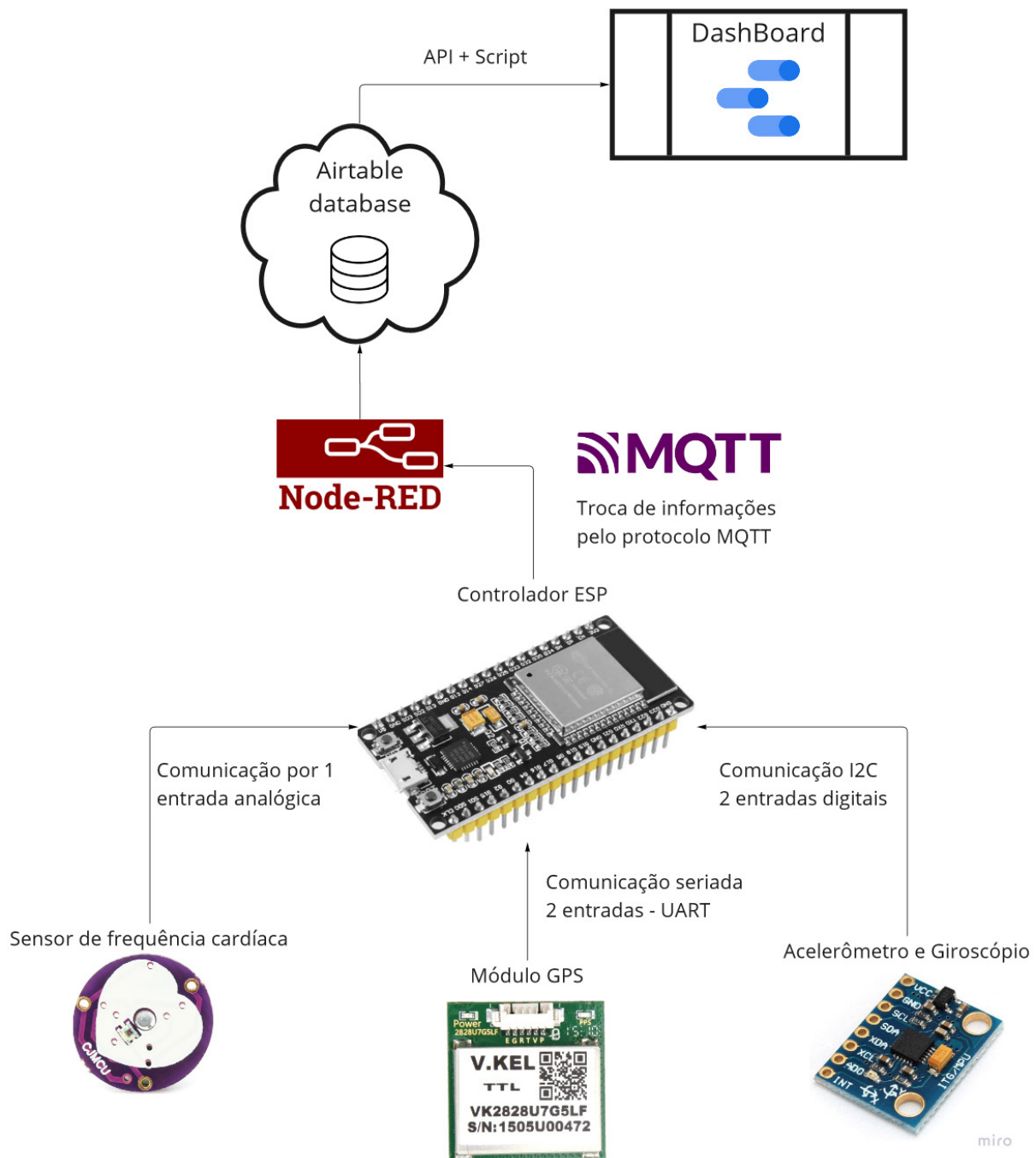


Figura 22 – Arquitetura do projeto

Na parte inferior da figura 22 temos os três sensores envolvidos na coleta de informações do atleta:

- Módulo GPS VK2828U7G5LF: placa com tecnologia GPS para coleta de posição com precisão de até 3.5m e baixo consumo de energia, enviando dados por comunicação serial usando um pino digital.

- Acelerômetro e Giroscópio mpu-6050: sensor com 3 eixos e 6 graus de liberdade, possuindo conversor AD 16 bits e se comunicando com o controlador por dois pinos digitais.
- Sensor de pulso CJMCU: medidor de frequência cardíaca de forma óptica, enviando dados através de um pino analógico.

Completando o primeiro nível da arquitetura, temos o micro controlador ESP-32 DEVKIT com módulo Wifi e Bluetooth integrado, responsável por receber as informações e enviar internet usando comunicação Wifi. A escolha desse controlador se dá principalmente pelo custo acessível, aliado à facilidade de uso para projetos de WBAN, por já ter integrado antena e possibilidade de trabalho com diferentes protocolos de comunicação sem fio. Além disso, o módulo pode ser programado utilizando a Arduino IDE, com uma configuração adicional para reconhecimento da placa.

Para o transporte das informações foi utilizado o protocolo de IoT MQTT, enviando os dados através do broker público e de software livre para uma estrutura no Node-RED². O uso do protocolo MQTT, por trabalhar com pouco consumo de energia e, usando o sistema de tópicos, permite a separação da informação de diferentes atletas da equipe que utiliza o dispositivo.

Os dados recebidos por MQTT no Node-RED são ajustados e encaminhados para a base de dados. Após essa transição, os valores coletados chegam ao segundo nível, a base de dados em nuvem alocada no AirTable, uma das ferramentas destacadas no quadrante do Gartner Group, mostrado na 15. Nesse ambiente os dados ficam armazenados para que possam ser estudados pelo elemento do terceiro nível, o *dashboard* desenvolvido usando a ferramenta *Data Studio*³ do Google, o qual recebe as informações com o auxílio de um *script* para se conectar com a ferramenta de base de dados escolhida, usando a API dela.

O uso do *Data Studio* se dá pela facilidade de operação e o baixo custo de implantação e manutenção da solução. A interface desenvolvida nele, por sua vez, organiza as informações do atleta mostrando mapa de posições, velocidade máxima, dados de batimento cardíaco e variação da aceleração angular em 3 eixos.

4.2 Projeto Eletrônico

Para a elaboração do projeto eletrônico foi preciso levar em consideração que o protótipo precisa consumir pouca energia e estar adequado a arquitetura elaborada no tópico anterior, incluindo os componentes previamente definidos e formas de comunicação.

Além disso, em termos de tamanho, o dispositivo precisa ser pequeno para que o atleta possa utilizar durante os treinos ou jogos. Como parâmetro, podemos considerar que a panturrilha do ser humano, conforme Peixoto et al. (2016), tem uma circunferência de 34,3 cm em média, dessa forma o dispositivo deve ter até 8,6 cm, pois está posicionado em uma das laterais da panturrilha.

² Node-RED é uma plataforma de desenvolvimento de integrações, que utiliza programação visual para estabelecer fluxos de dados na conexão de dispositivos de hardware, serviços online e APIs em projetos de Internet das Coisas. Disponível <https://nodered.org/>

³ Referência do produto em <https://datastudio.google.com>

Os componentes da placa de circuito do protótipo estão detalhados na figura 23, assim como a tensão padrão de operação usada no projeto, a corrente estimada de consumo durante plena operação e a descrição resumida do componente.

A Componente ▾	Ab Descrição ▾	# Tensão (V) ▾	# Corrente (mA) ▾
ESP-32 DEVKIT	Controlador ESP32 com antena embutida, módulo WiFi, Bluetooth e conexão micro-USB	3.3	80.0
MPU-6050	Acelerômetro e giroscópio com 3 eixos e 6 graus de liberdade e comunicação I2C	3.3	4.0
Módulo GPS VK2828U7G5LF	Placa com tecnologia GPS para coleta de posição com precisão de até 3.5m e comunicação serial/TTL	3.3	25.0
Sensor de pulso CJMCU	Sensor infravermelho de pulso, para monitoramento de frequência cardíaca	3.0	4.0
Bateria de Lítio 2032	Pilha CR 2032 do tipo de longa duração do tipo moeda	3.0	

Figura 23 – Lista de componentes do projeto

Vale destacar que os componentes selecionados foram pensados para baixo consumo de energia. No entanto posteriormente, na sessão 4.3, é detalhado o estudo de alternativas de alimentação portáteis.

Utilizando o software para projetos eletrônicos Proteus, foi elaborado o circuito esquemático e também a placa na qual os sensores foram soldados. Antes da exposição desses elementos, para a compreensão do circuito, será explicado nos tópicos abaixo as conexões relacionadas à transferência de dados entre os sensores e o controlador.

- Conexão do módulo GPS com o ESP: Os dados do GPS são enviados pela porta TxD e RxD da comunicação serial, para as portas G16 e G17 respectivamente do controlador ESP.
- Conexão do acelerômetro MPU com o ESP: Os dados do sensor são enviados pelas portas SDA e SDL, para os pinos G21 e G22, respectivamente.
- Conexão do medidor de pulso com o ESP: As informações do sensor são enviadas pela porta analógica para o pino G36.

A seguir, na figura 24 está a pinagem do controlador, mostrando as entradas presentes na placa ESP-32 DEVKIT e as propriedades de trabalho de cada uma.

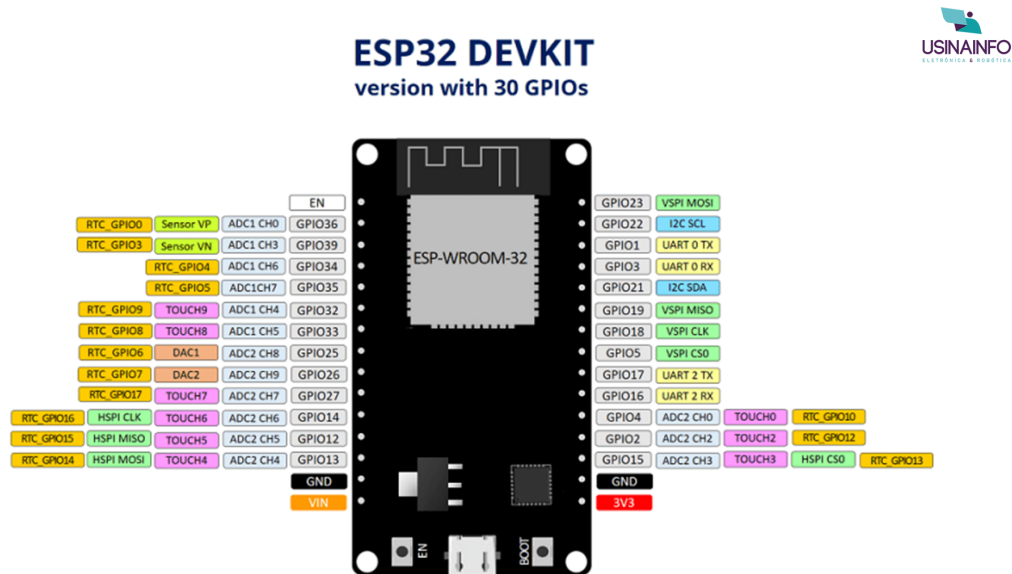


Figura 24 – Pinagem ESP-32 DEVKIT por [UsinaInfo](#) (2019)

Com as ligações mais relevantes já detalhadas, segue na figura 25 o esquemático ilustrando todas as conexões presentes na placa de coleta de dados. Estão presentes tanto as linhas de alimentação, quanto as de sinal.

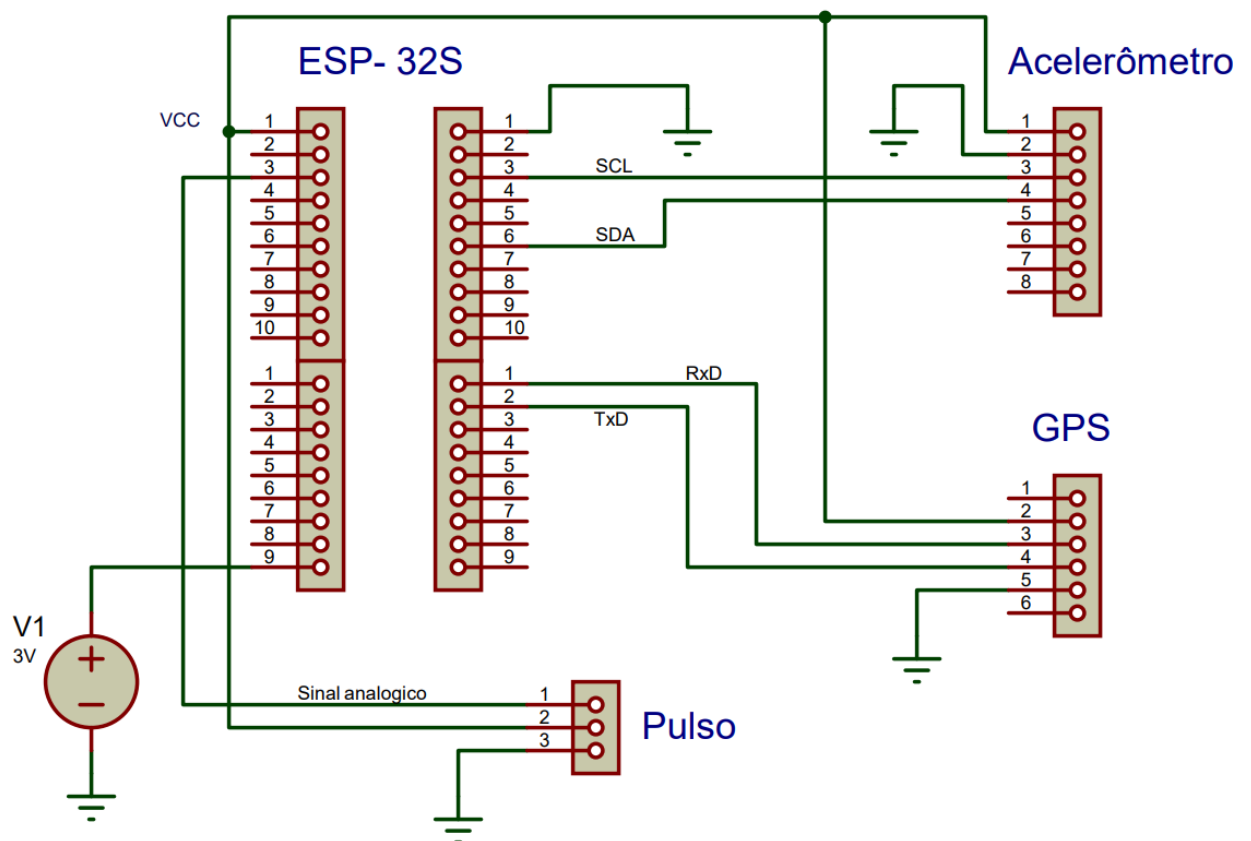


Figura 25 – Circuito esquemático da placa

A partir do esquemático, foi elaborado o projeto da placa de circuito impresso (ou na abreviatura em inglês PCB) para fabricação, apresentado na figura 26. Na placa estão, além das conexões, uma representação física dos componentes para o real dimensionamento do tamanho da placa. Seguem as especificações da PCB:

- Dimensões totais: 89mm X 71mm.
- Dimensões dos furos: 30th (controlador e sensores), 60th (bateria).
- Dimensões das ilhas: 70th (controlador e sensores), 100th (bateria).
- Espessura das trilhas: T30 potência e sinal.
- Face da tilha: Face inferior.

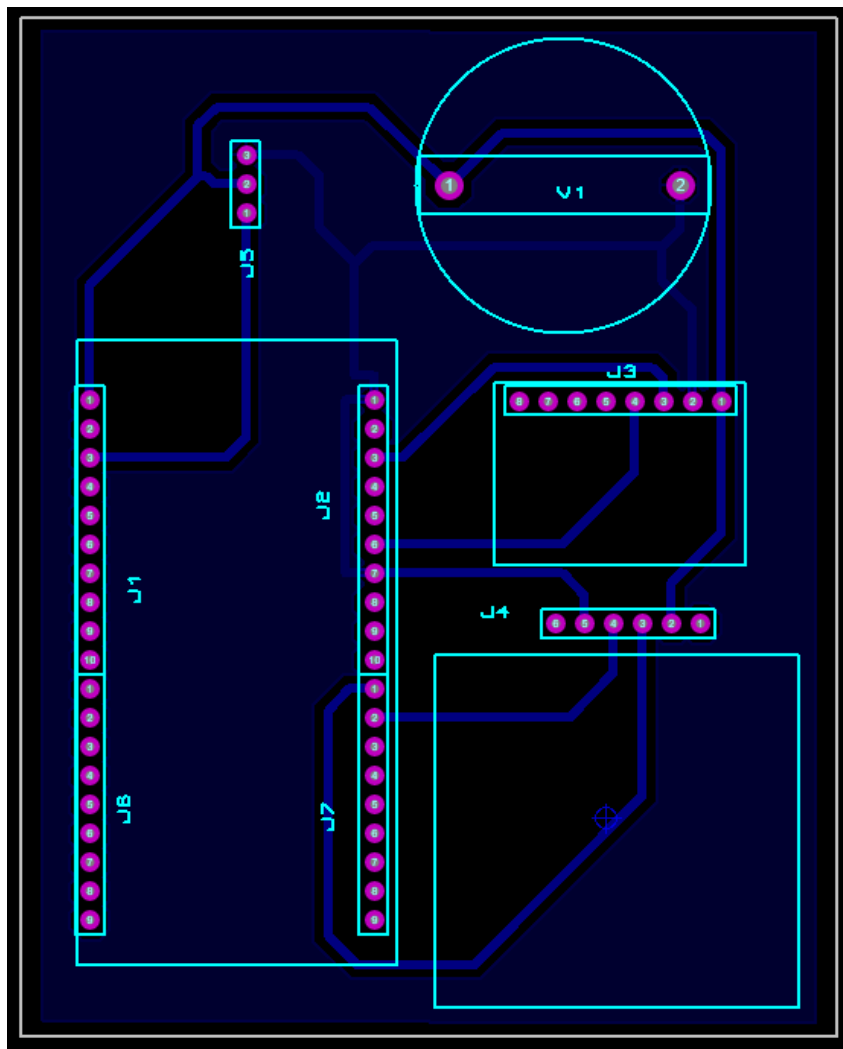


Figura 26 – Projeto da PCB

4.3 Alimentação e consumo de energia

Por ser o projeto de um dispositivo *wearable*, é importante que ele possa ser alimentado por uma fonte portátil e que tenha baixo consumo de energia durante a operação. Dessa forma

pode ser usado por um período longo sem precisar recarregar, além de seu peso não prejudicar a mobilidade do atleta.

4.3.1 Alternativas de baterias

Inicialmente para alimentação foi selecionada uma pilha CR-2032, no entanto, durante os experimentos de acionamento da placa, ela mostrou ser incapaz de manter a placa funcionando por mais de 1 minuto, mesmo com ações para economia de energia. Isso ocorreu porque, com a carga, a pilha não teve potência para manter a tensão mínima para operar a ESP.



Figura 27 – Pilha CR-2032

Para solucionar este problema, em um projeto de produto final pode ser adotada uma bateria de polímero de lítio recarregável de 3,7V, de longa duração. Dessa forma, pode ser mantido o projeto esquemático previamente apresentado apenas adicionando um componente elevador de tensão (para 5V), porém com muito mais duração da bateria, que possui uma capacidade de até 850mah, como a da marca Rontek. Além da possibilidade de recarregar a bateria do dispositivo entre um treino e outro.



Figura 28 – Bateria recarregável de 3,7V

Como o escopo desse projeto está limitado a um protótipo, foi substituída a bateria de lítio recarregável por um componente com uma premissa similar e já disponível para a aplicação, um carregador portátil para celular. O carregador utilizado conta com uma entrada USB, botão de ativação e tensão de trabalho de 5V. Ao longo dos testes ele foi capaz de manter o dispositivo operando por mais de 30 minutos, sem qualquer problema. Estima-se que, na carga máxima, o carregador portátil utilizado pode manter o sistema funcionando por 4 horas.



Figura 29 – Carregador portátil para celular

4.3.2 Eficiência energética

Como já abordado na situação problema, capítulo 3, a escolha do protocolo de comunicação é fundamental para reduzir o consumo de energia. Dentre as diversas alternativas existentes, como Zigbee e RFID, as duas avaliadas foram *Bluetooth* e o WiFi, visto que a ESP-32 é adequada a esses protocolos *wireless* de forma nativa.

O *Bluetooth* em sua versão clássica usada em celulares possui um alcance de aproximadamente 15m, já o WiFi pode trabalhar com distâncias de até 92m em ambientes abertos. No entanto, para aplicações de IoT o mais indicado é usar o BLE (*Bluetooth low energy* ou *Bluetooth Smart*) no lugar do clássico, pois ele tem um alcance de até 400m, segundo [Geevarghese \(2018\)](#) em uma análise comparativa das alternativas de *wireless*. Assim, tanto o BLE, quanto o WiFi podem ser utilizados em aplicações no futebol, pois o campo tem em média 105m de comprimento.

Na comparação de consumo de energia realizada por [Geevarghese \(2018\)](#), o BLE é até 10 vezes mais econômico em relação ao WiFi, isso porque o Wifi pode transmitir informações maiores e mais complexas. Dessa forma, a utilização do BLE, possibilitaria uma duração do uso do sistema ainda maior que as 4 horas na versão atual.

Entretanto, por se tratar de um dispositivo protótipo, com o intuito de testar a funcionalidade dos sensores e uma arquitetura de WBAN no futebol, foi utilizada a comunicação WiFi, afinal esta é de mais fácil programação na ESP e conexão a internet, permitindo Podendo assim ser usado o celular como roteador de rede na etapa de testes e validação.

Além da questão do protocolo de comunicação, outro ponto relevante é a forma de uso dos sensores, assim tanto o acelerômetro quanto o GPS ficam aguardando um comando do controlador para enviarem informações. Vale ressaltar ainda que o acelerômetro entra em modo *sleep* quando não utilizado, como será detalhado posteriormente.

4.4 Firmware

Para a programação do microcontrolador ESP-32 foi utilizada a linguagem de programação C++ e o código foi desenvolvido e implementado na ESP através a Arduino IDE. Nos tópicos a seguir serão apresentados, através de fluxogramas os principais aspectos do *firmware*, destacando

a forma de extração dos dados de cada sensor e, além disso, a comunicação com a rede.

4.4.1 Logica de *Setup*

A primeira função acionada é a *setup*, a qual é executada somente na inicialização do dispositivo. Sendo assim, ela realiza todo o processo de ativação das comunicações seriais e I2C, iniciando a comunicação com os sensores conectados, além das definições necessárias para operação. Essa função está apresentada na figura 30

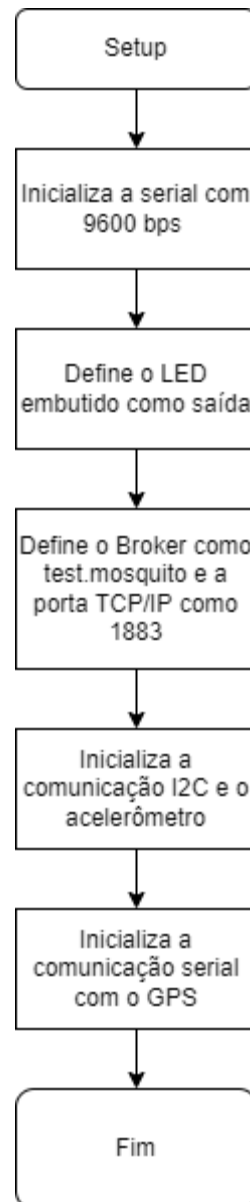


Figura 30 – Rotina de *setup* ou inicialização

4.4.2 Logica de *Loop*

A função *loop* é executada após o *setup*, sendo repetida interruptamente até que o dispositivo tenha seu funcionamento interrompido por algum corte de alimentação ou problema no sistema. Nessa lógica são executadas as funções auxiliares para coletar as informações dos

sensores, as quais serão apresentadas nas próximas sub-sessões, e publicá-las no tópico MQTT "PlayerData", além da escrita de um arquivo .json que contém todas as informações enviadas a cada atualização.

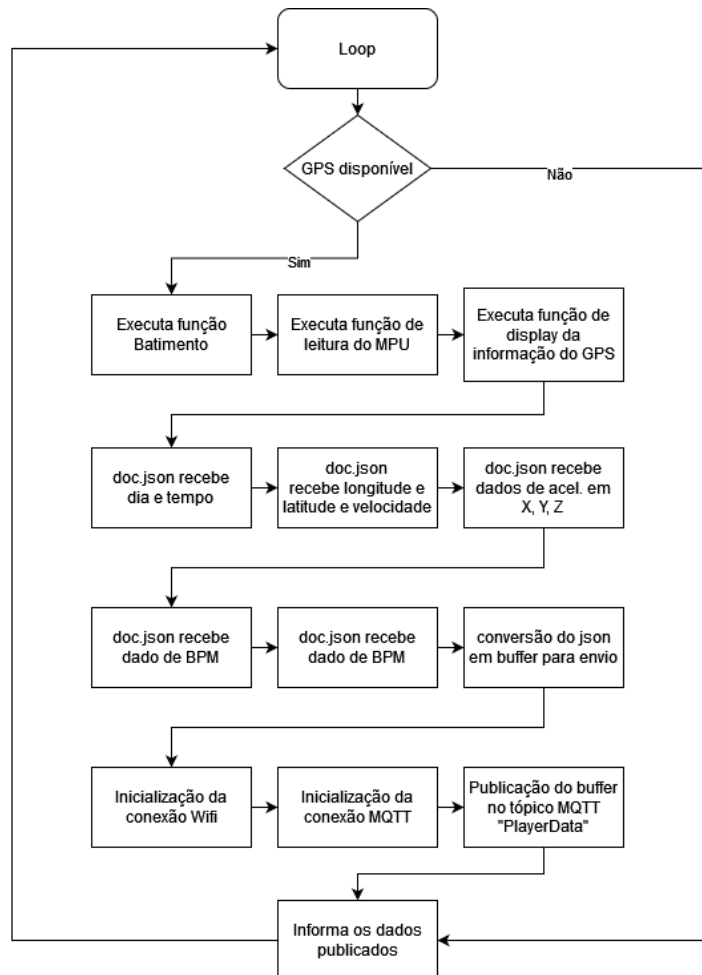


Figura 31 – Rotina de *loop* ou repetição

4.4.3 Comunicação com a rede e MQTT

Para envio das informações coletadas pelos sensores, o dispositivo se conecta com a internet por Wifi. Após isso, o sistema acessa o *broker* MQTT Eclipse Mosquitto⁴ e escreve as informações no tópico "PlayerData".

Para uso do Wifi e MQTT, foram utilizadas as bibliotecas WifiClient e PubSubClient, respectivamente. O fluxo de acesso a internet e conexão ao *broker* está ilustrado na figura 32, através das funções reconectar() e setupWIFI().

⁴ broker disponível em test.mosquitto.org

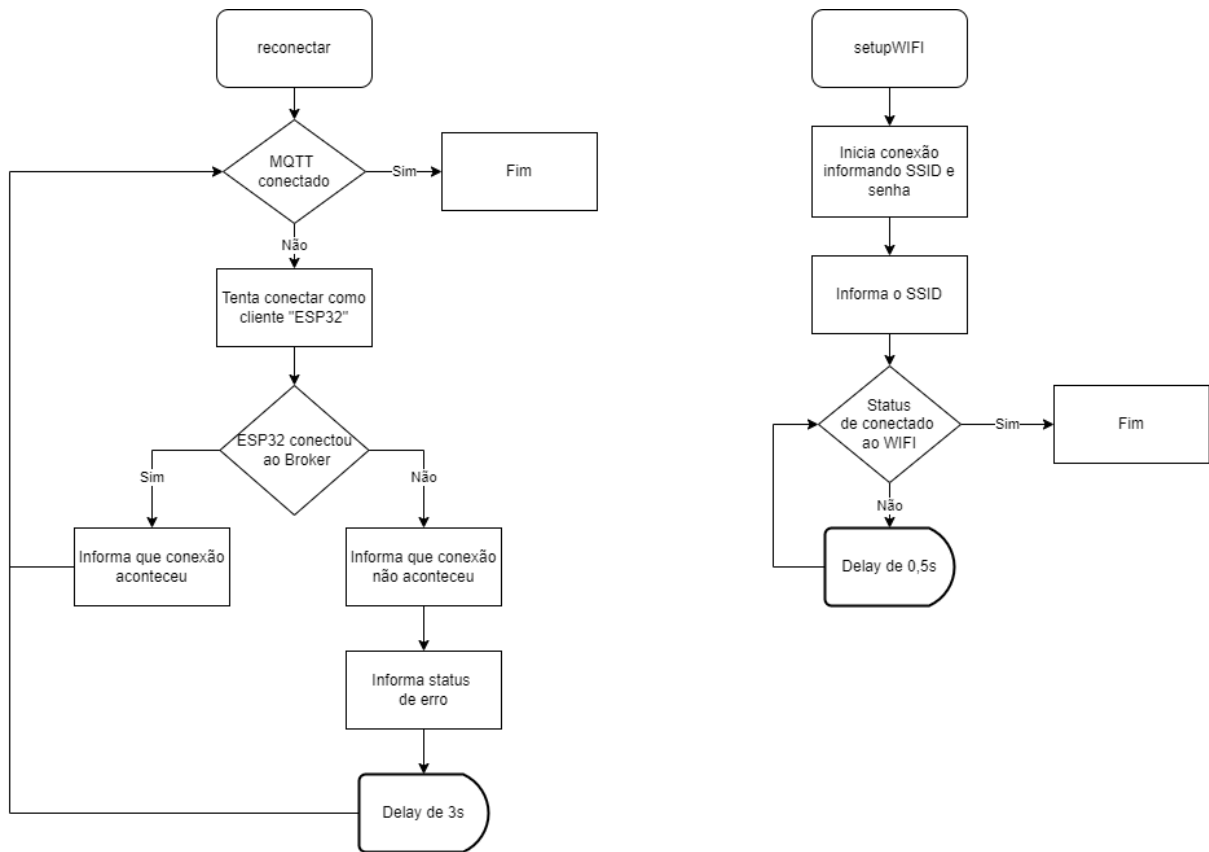


Figura 32 – Funções de conexão WIFI e MQTT

4.4.4 Coleta de pulso cardíaco

O sensor de pulso envia valores analógicos, os quais variam conforme a leitura óptica realizada. Dentro do código, a função `batimento()` realiza leitura do sensor, identifica as variações que indicam um batimento e registra o tempo entre as mudanças de estado da variável para cálculo do pulso do atleta.

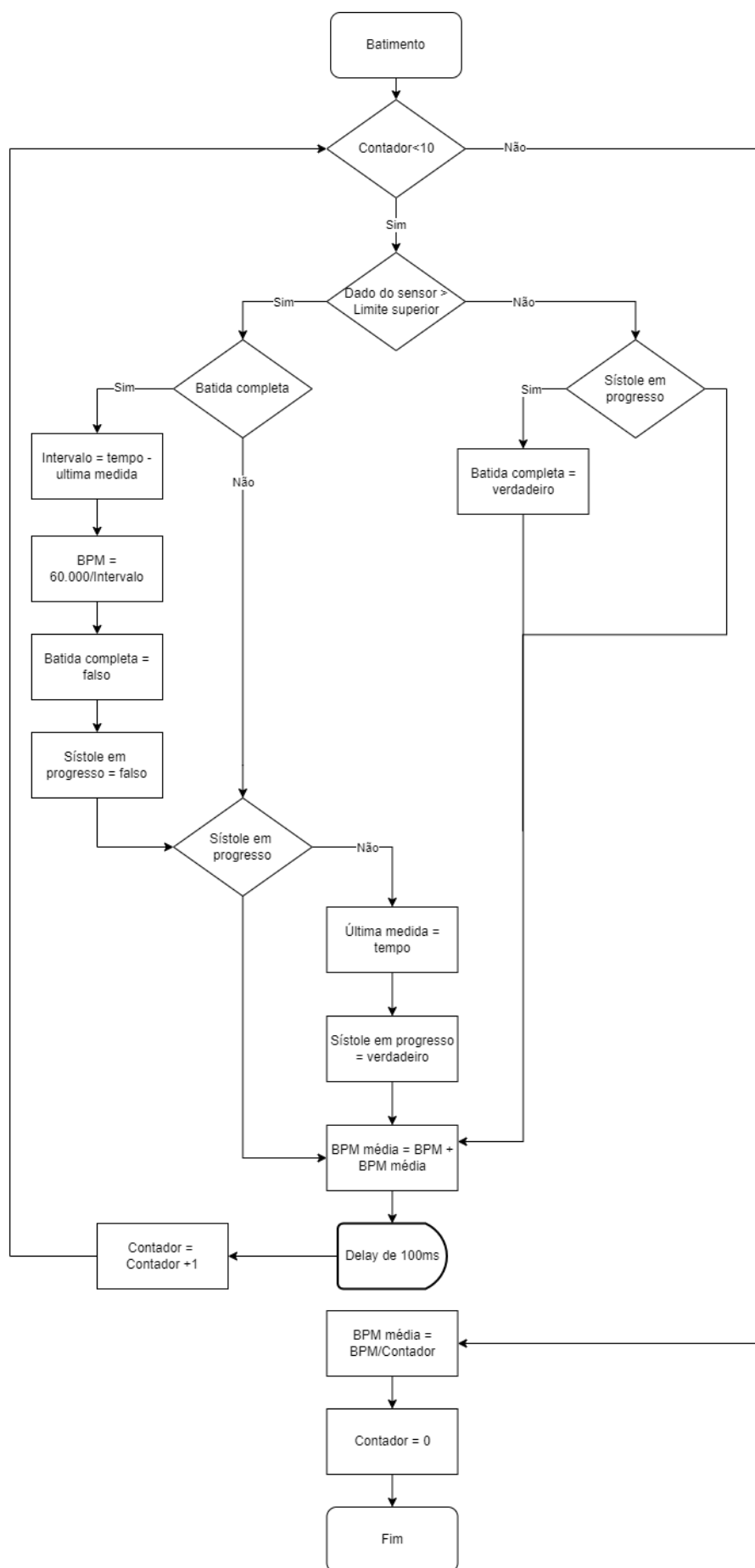


Figura 33 – Lógica do código de leitura do batimento cardíaco

A figura 33 mostra o fluxograma da função de leitura do sensor, nele é verificada a leitura do sensor, se indica uma sístole ou uma diástole, com essa informação compara-se em que estado o sensor estava anteriormente, assim é possível monitorar o ciclo do batimento cardíaco. Após identificado o fim de um ciclo, é calculada a duração usando o *clock* do microcontrolador, esse processo é repetido 10 vezes para tirar uma média e calcular o resultado em batimentos por minuto.

4.4.5 Coleta do GPS

O módulo GPS envia as informações por uma porta serial, utilizando a configuração NMEA, padrão para comunicação de dispositivos de navegação. Para fazer a leitura dos dados coletados pelo sensor, foi utilizada a biblioteca *TinyGPSPlus* de Hart (2022) que, como declarado pelo próprio desenvolvedor, fornece métodos compactos e fáceis de usar para a extração da posição, data, hora, altitude e velocidade.

Na inicialização da conexão serial, que ocorre no *Setup*, todas as operações ligadas ao GPS acontecem dentro da função `displayInfo()`. Na figura 34 está detalhado o fluxograma de coleta da latitude, longitude, data, hora e velocidade.

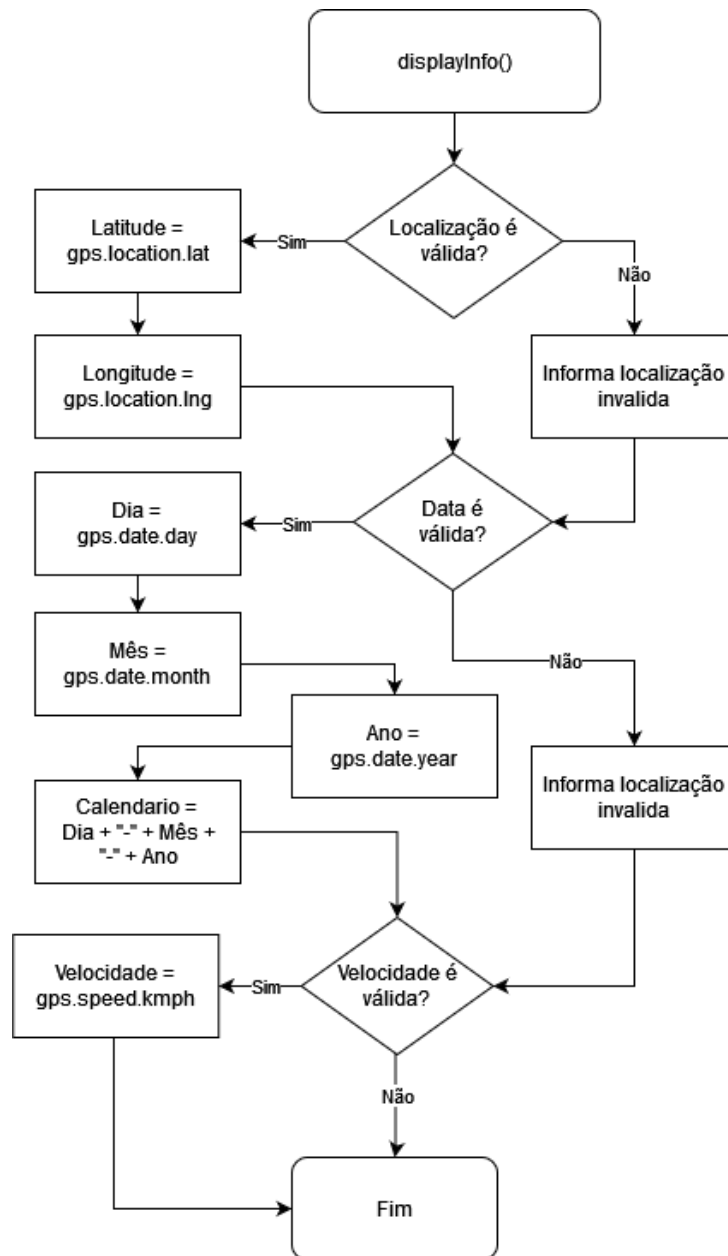


Figura 34 – Lógica do código de leitura do GPS

4.4.6 Coleta do acelerômetro

O sensor MPU-6050 funciona com a comunicação I2C, em que o microcontrolador Esp atua como mestre e o sensor funciona com escravo. Nesse contexto é utilizada a biblioteca Wire para realizar essa comunicação, além de funções auxiliares de leitura e escrita. A partir dessas funções auxiliares, podem ser realizadas as ações de inicializar o sensor e ler os valores de aceleração nos 3 eixos.

Na figura 35 estão destacadas duas rotinas ligadas ao sensor. A primeira delas é a de verificação do funcionamento da comunicação I2C com o sensor, onde são recebidos os valores de dois registros que caracterizam se o sensor é reconhecido e está ativo. Na outra rotina é feita a solicitação dos dados e armazenadas as leituras de X,Y e Z, piscando um LED na placa após o processo.

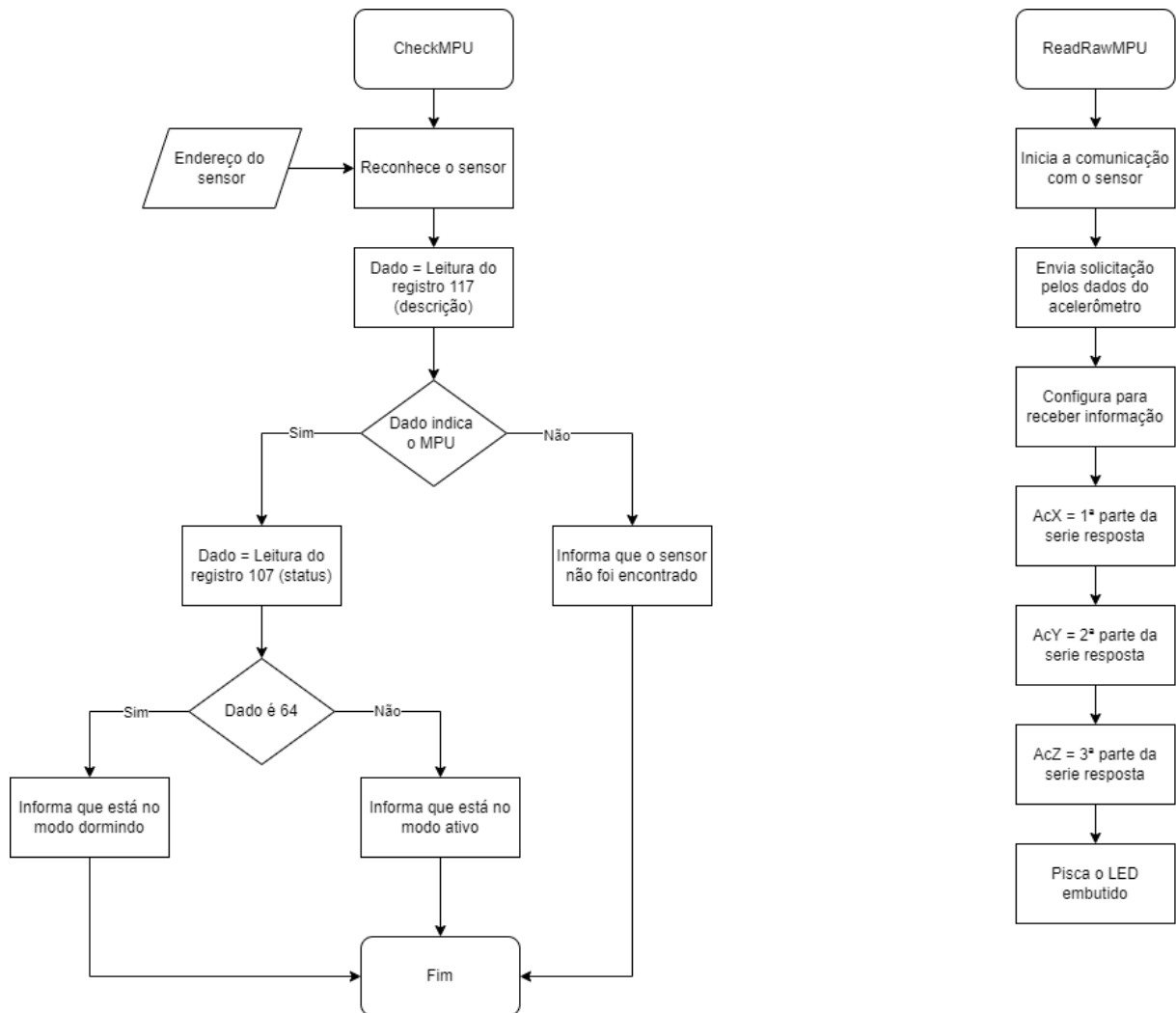


Figura 35 – Lógica do código das rotinas de operação do acelerômetro

4.4.7 Economia de energia

Para redução do consumo de energia, além da escolha dos componentes visando alternativas com menor gasto energético. É preciso adotar no código uma estratégia de ativação da conexão a internet apenas no momento do envio dos dados, reduzindo assim o consumo ao longo da coleta de informações pelos sensores.

Para isso, duas estratégias foram adotadas, a primeira delas foi a ativação da conexão Wifi apenas no momento de envio dos dados e a segunda o uso de métodos econômicos dentro dos códigos de cada sensor, fazendo com que as medidas fossem coletadas somente quando requisitado.

Referente aos métodos econômicos dos sensores, no caso do MPU, criou-se a função `setSleep()` e `setSleepOff()` que escrevem no registro de gerenciamento de energia do sensor para que ele entre em modo desativado e ativado, no modo *sleep* o consumo cai para até 8% do normal. Em relação ao GPS, é usada a função já apresentada `displayInfo()`, a qual solicita as informações somente uma vez por *loop*.

4.5 Integração e base de dados

As informações enviadas pelo dispositivo, via MQTT, são recebidas por um fluxo no Node-RED que realiza o envio, através de uma API, para um banco de dados online, desenvolvido no AirTable. A estrutura montada pode ser replicada para que cada jogador tenha uma base de dados com o histórico de amostras dos seus movimentos durante as atividades de treino ou jogo.

Dentro desse sistema, os dados armazenados pela base em online são:

- Pulso: contador de registros;
- Dia: data da coleta;
- Tempo: hora da coleta;
- Latitude local;
- Longitude local;
- Velocidade estimada;
- Aceleração no eixo X;
- Aceleração no eixo Y;
- Aceleração no eixo Z;
- BPM: Batimentos por minuto;

4.5.1 Fluxo no Node-RED

O Node-RED, conforme afirma a própria plataforma, é uma ferramenta de programação visual para conectar dispositivos de *hardware*, APIs e serviços em nuvem. Dessa forma, foi desenvolvido um fluxo composto por três blocos e operando em um servidor que atua como um concentrador de informações, para envio ao banco de dados.

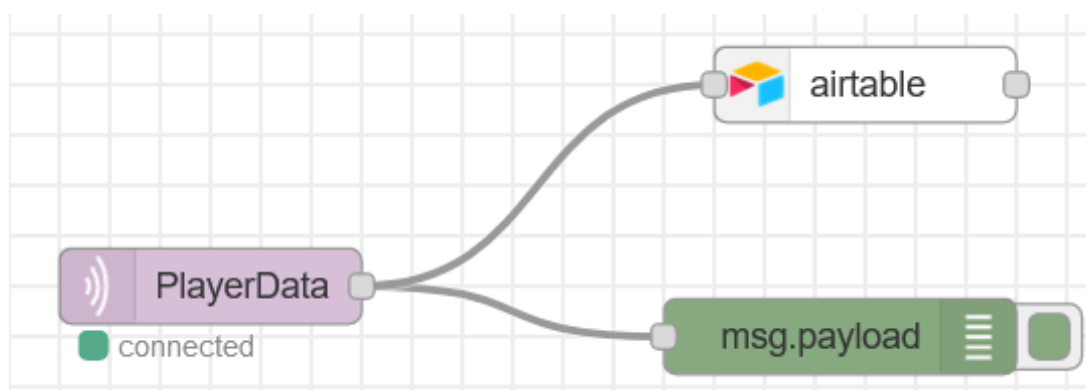


Figura 36 – Fluxo no Node-RED

O bloco "PlayerData" é cliente do *broker* MQTT Eclipse Mosquitto⁵, hospedado em test.mosquitto.org e está inscrito no tópico "PlayerData". Através desse tópico, o bloco faz a leitura dos dados enviados pelo microcontrolador através da *string* JSON, conforme descrito na sub-sessão 4.4.3.

As informações recebidas são enviadas para dois blocos, os quais tem as seguintes atribuições dentro do sistema:

- AirTable: envia as informações do atleta para uma nova linha na tabela "Player1". Para executar essa operação, o bloco tem como parâmetros a chave da API do espaço de trabalho no AirTable onde está a base de dados, a ID da base e o código referente ao nome da tabela para qual vai enviar as informações.
- msg.payload: apresenta as informações recebidas em uma janela de *debug* do próprio Node-RED para identificação de possíveis erros.

Para utilizar os blocos ligados ao MQTT e o Airtable, foram instalados os *paletes* node-red-contrib-mqtt-broker <<https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-mqtt-broker>> e node-red-contrib-airtable <<https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-airtable>>.

4.5.2 Base de dados

A base de dados com todo o registro de informações dos sensores está alocada em uma tabela dentro da ferramenta AirTable. As informações são recebidas usando a API nativa e gratuita disponível para a base criada, a qual, como relatado pelo desenvolvedor, "segue a arquitetura REST, usando JSON para codificar os objetos e conta com códigos HTTP padrão para sinalizar os resultados das operações". Assim, bastou programar a comunicação no Node-RED, conforme já detalhado.

Na imagem 37 é apresentada a estrutura da base de dados "Player1" desenvolvida. Os campos de dia, tempo e pulso atuam como referências para diferenciar os dados de movimento e de desempenho do jogador, que são a latitude, longitude, velocidade, aceleração nos 3 eixos e pulso cardíaco.

☐	Pulso ▾	Dia ▾	Tempo ▾	Latitude ▾	Longitude ▾	Velocidade M ▾	Acel. X ▾	Acel. Y ▾	Acel. Z ▾	BPM aj ▾
316	316	10/7/2022	5:52	-27.61504936	-48.58597565	0.56	9.249	-1.755	-0.668	92.33
317	317	10/7/2022	5:53	-27.61504555	-48.58597565	1.09	10.036	-1.575	-1.060	93.85
318	318	10/7/2022	5:54	-27.61504555	-48.58597565	1.09	10.226	-1.812	-0.538	78.11

Figura 37 – Base de dados

Para acessar a base online, basta acessar este link:

<<https://airtable.com/shrmezK1Es9kdXLRA>>

⁵ Referência do broker em <https://mosquitto.org/>

4.6 Pagina de análise de informações

Para a análise das informações organizadas no banco de dados, foi utilizado a ferramenta Google Data Studio. Essa ferramenta é de uso gratuito e pode receber informações também usando API, desde que tenha o Google Sheets, ferramenta de planilhas online, como intermediário para transferência dos dados. Além de ter a possibilidade de atribuir diferentes permissões aos usuários para acesso e manipulação de dados, pela facilidade de uso e pela ausência de custo.

Assim como o banco de dados do AirTable, o painel do Data Studio está alocado online em uma pagina, o que é muito relevante para a sua aplicação, pois assim o preparador ou técnico pode simplesmente acessar os resultados em tempo real do jogador, através do navegador do seu celular ou *tablet*, à beira do gramado.

A planilha do Google Sheets executa um código que extrai a informação do banco de dados "Player1" no AirTable a cada 5 minutos, salvando os dados em uma tabela com estrutura espelho à do banco, tomando como base a operação de trabalho desenvolvida por [Optimi \(2019\)](#). Já o painel, que extrai as informações da tabela, é atualizado sob demanda, conforme o usuário clica no botão de atualizar na parte superior da interface.

O painel desenvolvido apresenta as seguintes informações:

- Batimento cardíaco médio: Média dos resultados de frequência cardíaca coletados naquele treino.
- Batimento cardíaco máximo: Maior frequência cardíaca coletada naquele treino.
- Velocidade máxima: Medidor indicando a maior velocidade registrada no treino.
- Acelerômetro em X: Gráfico mostrando o evolutivo da aceleração angular em X conforme o tempo.
- Acelerômetro em Y: Gráfico mostrando o evolutivo da aceleração angular em Y conforme o tempo.
- Acelerômetro em Z: Gráfico mostrando o evolutivo da aceleração angular em Z conforme o tempo.
- Tempos de registro: Filtro para limitação dos dados analisados, segundos os instantes desejados da atividade.
- Mapa de coordenadas: Gráfico de dispersão, mostrando as posições geográficas ocupadas durante o treino dentro do campo.

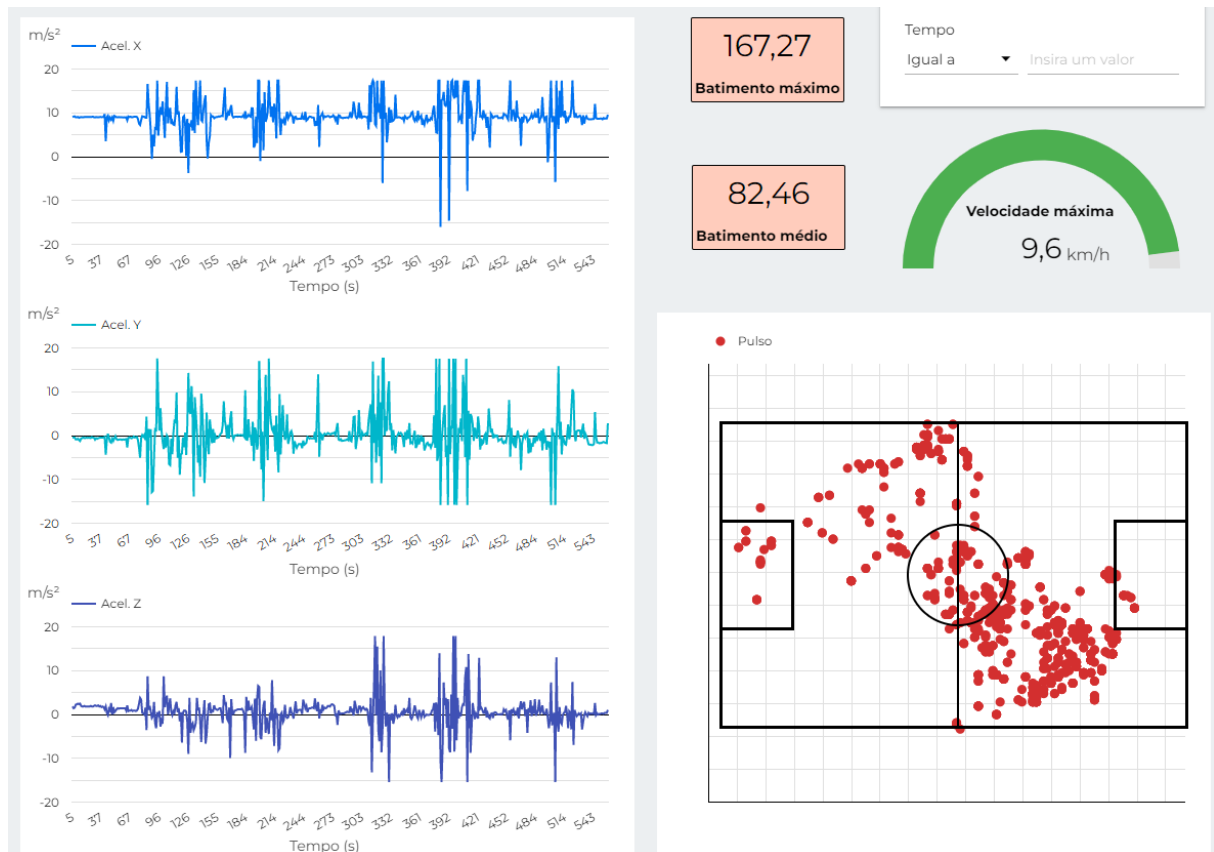


Figura 38 – *Dashboard* para análise de desempenho

Na figura 38 está o *dashboard* com as informações definidas, para acessá-lo, basta usar este link: <<https://datastudio.google.com/reporting/9fca506a-1b86-4ad3-96da-c4e30b0778e9>>

4.7 Calibração de sensores

Antes da montagem completa do sistema foi realizado o teste individual de cada sensor presente no protótipo, com a finalidade de entender os erros que os valores coletados podem apresentar. Os principais parâmetros de análise foram o erro quadrático médio e o desvio padrão, validando a acurácia dos sensores.

4.7.1 Acelerômetro

Para testar o acelerômetro, sensor MPU-6050, foi realizada uma montagem na matriz de contato, usando as mesmas conexões descritas no esquemático apresentado na sessão 4.2. Ou seja, ligou-se a saída SDA no sensor no pino G21 do microcontrolador ESP e SCL no pino G22 do controlador ESP. A figura 39 mostra essa montagem teste.

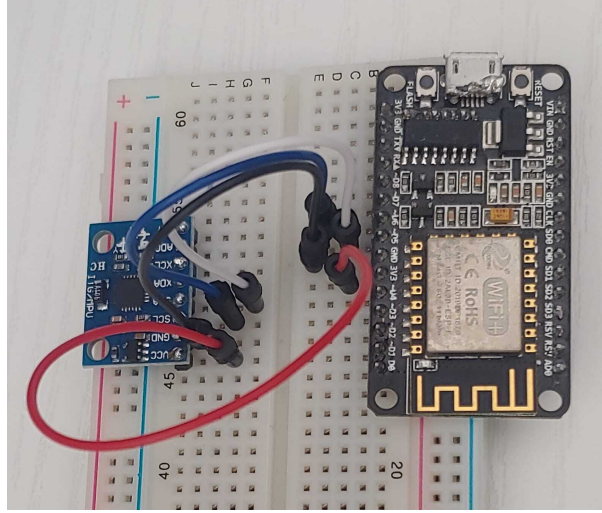


Figura 39 – teste do sensor MPU-6050

Foi utilizado o *firmware* para coleta dos dados de aceleração nos eixos X, Y e Z, além do envio por MQTT para o Node-RED, o qual já foi detalhado anteriormente. Esses dados foram recebidos na base de dados do AirTable, assim, foi possível extraí-los e comparar com os gerados pelo acelerômetro do celular. Foram registrados 300 valores pra as 3 grandezas, durante o intervalo de 1 minuto.

Para obter os dados do celular foi usado o aplicativo Motion Export, uma aplicação gratuita que monitora os dados do acelerômetro e giroscópio do celular, exportando em um arquivo .csv. Vale ressaltar que o celular movimentou-se junto ao circuito para que os movimentos angulares fossem idênticos.

A unidade do acelerômetro configurada é de 0,02 g, ou seja, para converter a leitura para m/s^2 foi preciso dividir os valores enviados pelo sensor por 1961. Com os valores parametrizados, foi feito o levantamento do erro médio e desvio padrão por eixo, geral.

Fazendo os cálculos do erro médio quadrático e do desvio padrão da população de valores coletados em cada eixo, tem-se o seguinte resultado:

$$E_{mqx} = 1,8m/s^2 | E_{mqy} = 3,9m/s^2 | E_{mqz} = 3,7m/s^2$$

$$E_{mqg} = 3,1m/s^2$$

$$D_x = 0,33m/s^2 | D_y = 0,77m/s^2 | D_z = 0,69m/s^2$$

$$D_g = 0,60m/s^2$$

Os valores de erro médio foram aproveitados para corrigir por software as coletas do sensor, aprimorando os resultados obtidos.

4.7.2 Sensor de Pulso

Para testar o sensor de batimento cardíaco, sensor CJMCU, foi realizada uma montagem na matriz de contato, usando as mesmas conexões descritas no esquemático apresentado na sessão

4.2. Ou seja, ligou-se a saída de dados analógicos do sensor no pino AD0 do microcontrolador ESP. A figura 41 mostra essa montagem teste.

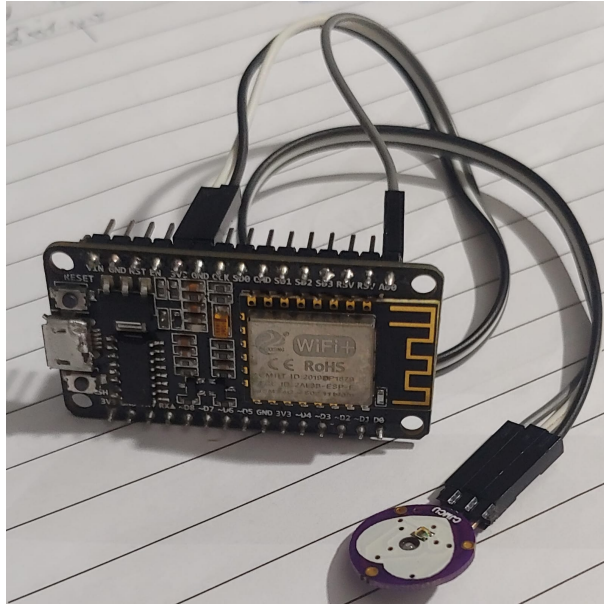


Figura 40 – teste do sensor de pulso CJMCU

Assim como no outro sensor, foi utilizado o *firmware* para coleta dos dados de frequência cardíaca, além do envio por MQTT para o Node-RED, o qual já foi detalhado anteriormente.

O sensor utilizado identifica a variação da reflexão da onda enviada, dessa forma, antes de identificar o erro, é preciso definir os valores de transição, definindo a troca de sístole e diástole.

Esses dados coletados foram recebidos na base de dados do AirTable e comparados com os gerados pelo aparelho medidor de frequência cardíaca e oxímetro. Foram registrados 10 valores, os quais são obtidos pelo aparelho após 20 segundos de coleta. Vale ressaltar que foi feita a média dos dados recebidos pelo sensor em 20 segundos para comparar os registrados pelo medidor comercial.

Fazendo os cálculos doo valor médio, do erro médio quadrático e do desvio padrão da população de valores coletados, tem-se o seguinte resultado:

$$Oxi_m = 78,0BPM | Sen_m = 77,9BPM$$

$$E_{mq} = 2,3BPM$$

$$D_p = 1,4BPM$$

Os valores de erro médio foram aproveitados para corrigir por software as coletas do sensor, aprimorando os resultados obtidos.

4.7.3 GPS

Seguindo o mesmo método realizado nos testes anteriores, o sensor foi fixado à matriz de contatos e foi utilizado o código desenvolvido anteriormente, retornando apenas os valores do

GPS. Para determinar a precisão, a estratégia foi parecida com a do acelerômetro, comparando os valores de latitude e longitude coletadas pelo GPS do celular, com os do sensor.

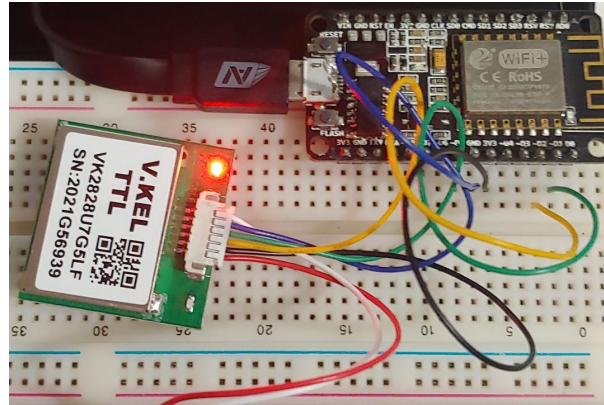


Figura 41 – teste do módulo GPS

Para coleta com o celular foi utilizado o aplicativo Minhas Coordenadas GPS, o qual mostra a latitude e longitude, permitindo exportar as informações. Foram retiradas 15 amostras em diferentes pontos espaciais, em um raio de aproximadamente 150 metros. A cada amostra o dispositivo com o sensor foi colocado ao lado do celular.

Fazendo os cálculos do erro médio quadrático e do desvio padrão da população de valores coletados, tem-se o seguinte resultado:

$$Elat_{mq} = 7,7 \cdot 10^{-5} \circ | Elng_{mq} = 1,1 \cdot 10^{-4} \circ$$

$$D_{plat} = 5,1 \cdot 10^{-5} \circ | D_{plng} = 6,1 \cdot 10^{-5} \circ$$

passando o erro para centímetros:

$$Elat_{mq} = 14,3cm | Elng_{mq} = 20,6cm$$

Os valores de erro foram considerados irrelevantes para o sistema, mostrando uma precisão bastante grande para o GPS, assim não foram aplicados como correção de código.

5 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo do dispositivo é composto pela placa de circuito descrita no capítulo anterior e o *case* que envolve ela, para ser utilizada pelo atleta. Como já mencionado anteriormente, o parâmetro balizador do tamanho sendo considerado é a dimensão da panturrilha do ser humano, que conforme [Peixoto et al. \(2016\)](#), tem uma circunferência de 34,3 cm em média, dessa forma o dispositivo deve ter até 8,6 cm, pois está posicionado em uma das laterais da panturrilha.

O projeto eletrônico foi fabricado na máquina LPKF ProtoMat, no laboratório de projeto do DAMM. Após isso, foram soldados soquetes e, então, instalados os componentes do projeto, deixando a placa com o aspecto apresentado na figura 42.

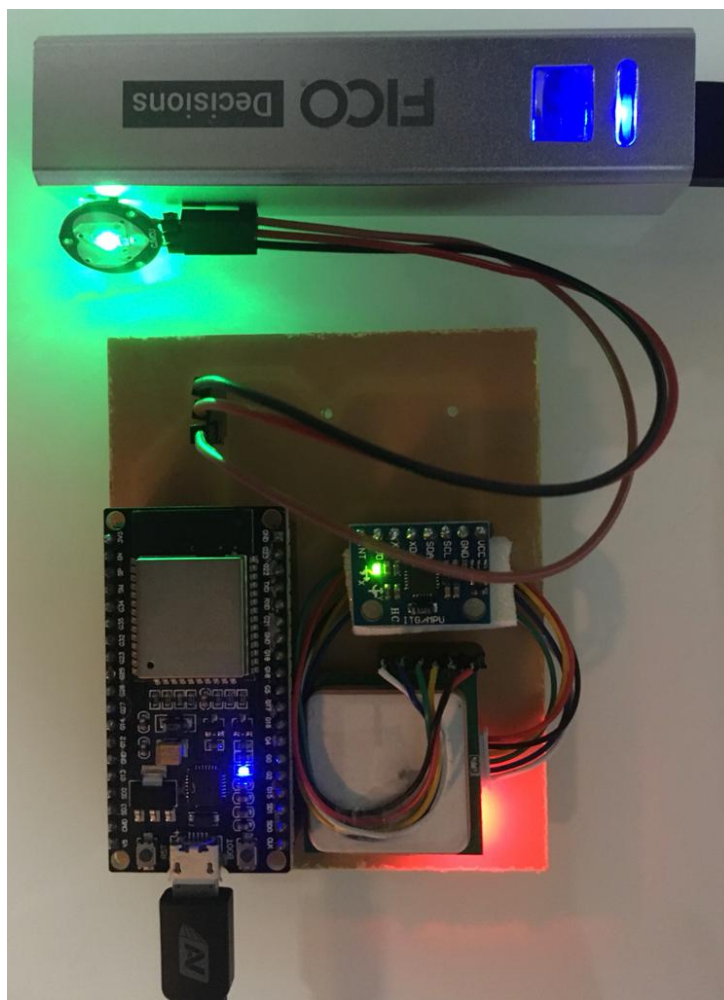


Figura 42 – Placa do projeto fabricada

Nas sessões a seguir serão detalhados os aspectos ergonômicos, mostrando como o dispositivo *wearable* se acopla ao corpo, além da finalidade de uso e limitações do protótipo.

5.1 Ergonomia

No quesito de ergonomia do dispositivo, três pontos merecem maior atenção: o volume do protótipo, a forma de fixação e o local onde o dispositivo deverá ser instalado no corpo do atleta, para que não sejam criados obstáculos para os movimentos e o desempenho deste.

A placa do dispositivo foi projetada para ser compacta, integrando todos os sensores. Nesta primeira versão, contudo, foi utilizada uma placa ESP32 de mercado, que exigiu a soldagem de um soquete para encaixe dessa placa, ampliando o volume final do protótipo. Outro ponto a ser observado é a necessidade de utilização de uma bateria maior do que aquela projetada inicialmente, de modo a aumentar a autonomia do dispositivo.

De qualquer forma, mesmo com a possibilidade de redução do tamanho da placa e do conjunto de dispositivos do protótipo em uma versão mais "enxuta", utilizando-se somente o chip da ESP32, por exemplo, o modelo atualmente obtido permite a instalação na lateral da perna do atleta, sem prejuízo aos seus movimentos.

Para a instalação no local indicado, na altura da panturrilha, foi preparada uma *case* para acomodação do dispositivo, de modo a protegê-lo de impactos e intempéries, a qual deve ser amarrada na perna do atleta. O sensor de batimentos cardíacos deve ser fixado próximo ao tornozelo, fora da *case*, para que consiga operar adequadamente. Da mesma forma, a bateria que alimenta o dispositivo via micro USB é ajustada com um cabo mais longo para ser instalada na cintura do atleta, de modo a não aumentar o peso do conjunto que fica acoplado à perna do jogador.



Figura 43 – Placa colocada na capa de proteção e uso

Tratando-se de um protótipo para testes, não espera-se que o dispositivo construído possua de imediato as melhores características ergonômicas de um produto *wearable*. Este é um

aspecto que, após a validação de sua funcionalidade, pode ser aperfeiçoado para que se ajuste melhor ao corpo do atleta, tornando-se imperceptível ou mesmo permitindo que seja acoplado a outro equipamento já utilizado por jogadores de futebol, como uma caneleira. No entanto, o peso do dispositivo protótipo e a instalação com 3 tiras elásticas amarradas, não tornou ele uma limitação grande ao movimento de jogo.

5.2 Uso do protótipo

A instalação do dispositivo é bastante simples e envolve somente a placa de circuito, case de proteção e a bateria portátil de alimentação. A seguir está descrito o processo de colocação do dispositivo para treinamentos:

1. Colocação da placa inteiramente dentro do case, passando o fio do sensor de batimento cardíaco por dentro do furo lateral.
2. Posicionamento do sensor de pulso na parte superior do pé, por dentro da meia.
3. Amarração dos elásticos no lado contrário da perna, para prender o dispositivo.
4. Conexão e ativação da bateria portátil, a qual pode ficar no calção do atleta, na altura da cintura.

Depois de colocado, o protótipo ficará conforme a figura 44.



Figura 44 – Dispositivo colocado no atleta

O dispositivo IoT desenvolvido tem como principal finalidade o uso por jogadores no campo de futebol, sendo mais indicado para momentos de treinamento, visto que no jogo os choques entre atletas tendem a ser mais fortes e exigiriam um maior reforço na proteção do dispositivo. Devido a utilização do sensor de GPS, a aplicação do projeto limita-se a ambientes abertos, caso contrário o sensor terá dificuldade em localizar um satélite para fazer comunicação.

6 RESULTADOS

A coleta de informações do protótipo em operação leva a análise da validade dos dados e das premissas definidas para o uso do dispositivo no capítulo anterior. A seguir será abordada a estratégia de validação em campo e análise dos resultados finais obtidos depois do uso do protótipo.

6.1 Validação de campo

O protótipo pronto foi levado para teste em campo, onde foram simuladas jogadas de futebol que um atleta poderia executar em um treinamento ou jogo, como chutes, conduções de bola, passes e arrancadas. A seguir, na figura 45 é mostrada a configuração completa do teste.



Figura 45 – Montagem de validação

O dispositivo foi colocado dentro da *case* própria, a qual foi fixada na perna do atleta. O sensor de batimento cardíaco foi colocado por dentro da meia, para obter os registros na parte superior do pé, como descrito na sessão 5.2. A bateria que alimenta todo o circuito do dispositivo foi instalada na cintura do atleta, de modo a não gerar maior volume/peso na perna do jogador e não prejudicar o desempenho.

Um celular foi configurado como roteador Wifi para recepcionar os sinais emitidos pelo dispositivo durante a simulação de treino, possibilitando a comunicação dele com a rede. Durante o teste, o dispositivo chegou a ficar até 25m distante do roteador, sem prejuízo no envio de dados. Em tempo real, os valores obtidos pelos sensores eram enviados para o banco de dados

configurado no AirTable, ficando disponíveis para consulta nos painéis de visualização (Figura 46).



Figura 46 – Servidor na lateral do campo

Durante 16 minutos e 45 segundos, foram feitos movimentos de corrida, chute, domínio, condução, drible e passes com bola, em um campo de futebol a céu aberto, conforme imagens apresentadas na sessão de 6.2, simulando um treino. Em todo o período não foram verificadas intercorrências e o dispositivo operou sem interrupções, efetuando 910 registros de localização por GPS, movimento da perna, velocidade do atleta e seus batimentos cardíacos, no banco de dados online.

6.2 Análise de resultados

Para estudar os resultados do teste de campo, foram comparados trechos de vídeos e imagens retiradas da atividade, com os dados coletados pelo dispositivo e tratados pelo painel.

O primeiro teste foi uma condução de bola de uma lateral a outra do campo, retornando então ao ponto inicial (Figura 47). Nesse movimento é interessante observar a variação de posição

durante o trajeto, o qual ocorreu no período de 58 a 176 segundos de treino.

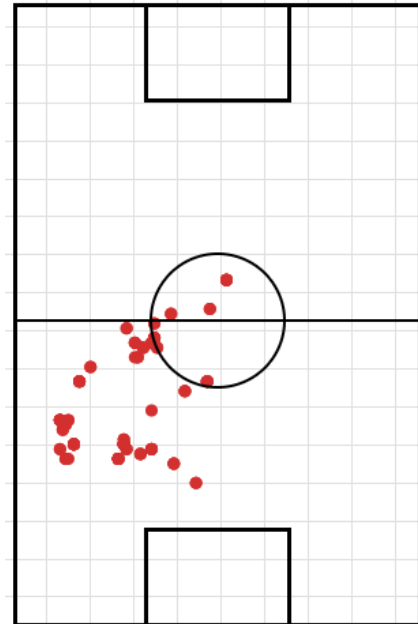


Figura 47 – Teste de deslocamento com bola

Em seguida foi realizada uma sessão de chutes, para comparar o comportamento dos dados do acelerômetro quando é feito um chute com o bico do pé com quando é feito um chute com a lateral do pé. No chute de bico o pé não rotaciona, assim a variação angular em Z é pequena, enquanto as nos outros 2 eixos mudam completamente (Figura 48).



Figura 48 – Teste de posição angular do pé no chute de bico

Já no chute com a lateral do pé realiza uma grande rotação no eixo Z, assim é percebido no gráfico que ele cresce o valor em Z, enquanto os outros eixos sofrem mudanças menores (Figura 49).



Figura 49 – Teste de posição angular do pé no chute de lado

Depois disso, foi realizada uma troca de passes rápida, com a bola chegando a diferentes alturas e posições. Esses testes tiveram o objetivo de avaliar a variação registrada no acelerômetro ao longo de uma situação comum de jogo. Observando os dados apresentados, pode se concluir que o valor em X retorna diversas vezes valores entre 9 e 10, o que está relacionado à posição de descanso do pé sobre o chão quando a jogador não está com a bola (Figura 50). Além disso, os vales e picos em Y indicam momentos de levantamento da perna para dominar a bola.

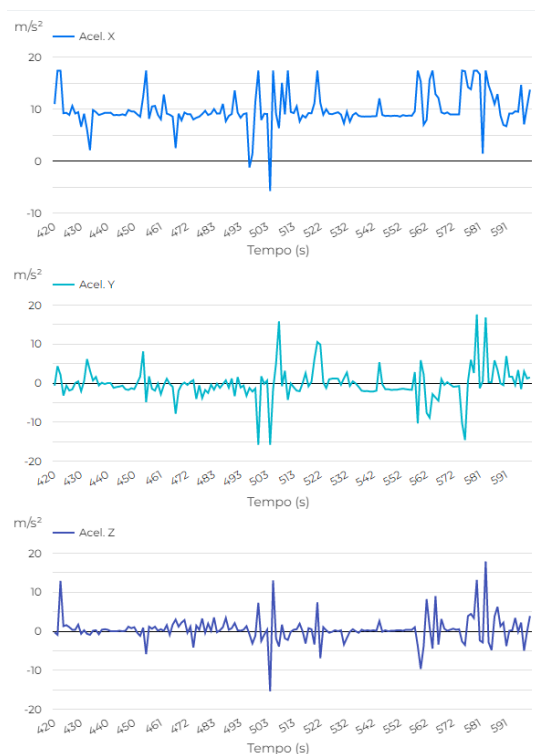


Figura 50 – Teste de movimentação em domínio de bola e troca de passes

O jogador também realizou uma arrancada, combinada com finalização a gol, ao final do movimento (Figura 52). Esse treinamento foi feito para observar a variação de posição e velocidade, ao longo deste movimento foi identificada a velocidade máxima do treinamento. Sendo assim, a seta sobre o gráfico indica o sentido dos *sprints* feitos pelo jogador e o velocímetro mostra a velocidade máxima atingida em km/h.

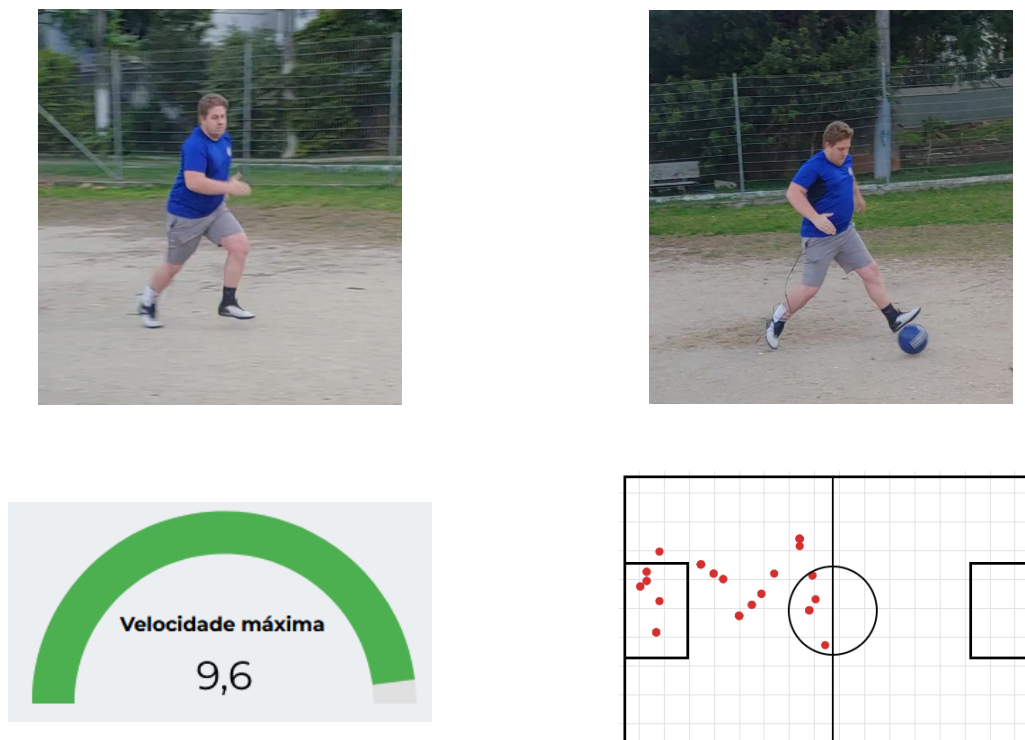


Figura 52 – Teste de arrancada

Com isso, foram realizados mais alguns movimentos e então foi encerrado o treinamento. Vale destacar que o batimento cardíaco médio do atleta ficou em 82,5 BPM e o pico de pulso foi de 167,3 BPM. Além disso, o mapa de posição completo, combinando todos os movimentos, ficou como destacado na figura 53.

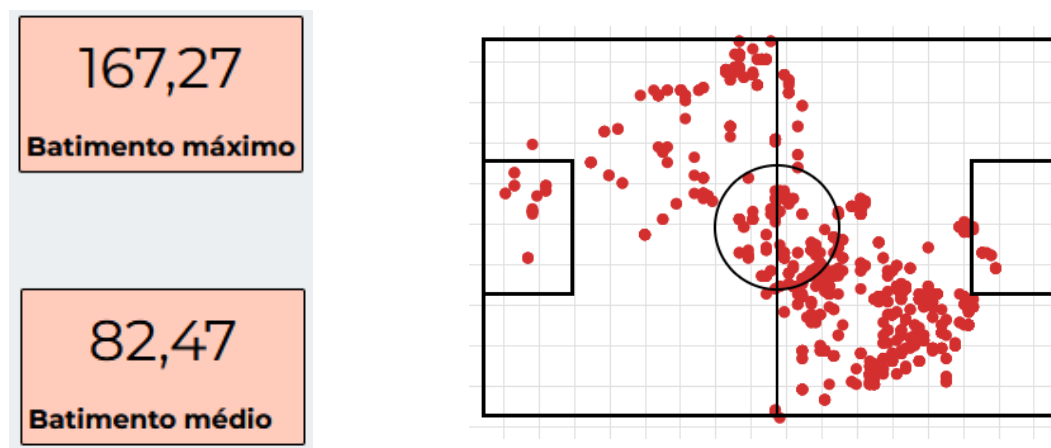


Figura 53 – Registro de batimentos cardíacos e posições

7 CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho foi elaborada uma pesquisa ampla a respeito das tecnologias que envolvem do desenvolvimento de um produto para uso no monitoramento de atletas em situações de jogo e treino, tomando como base os princípios de projetos WBAN, como a comunicação sem fio, dispositivo pequeno e acoplável, sensoriamento do movimento e sinais vitais. Vale destacar que o projeto em questão envolveu a grande maioria dos segmentos de trabalho da engenharia mecatrônica, incluindo eletroeletrônica na parte de projeto e fabricação da placa de circuito, informática industrial e programação, sensoriamento, física e matemática aplicada nos resultados.

Observando o trabalho elaborado, um dos pontos de desenvolvimento mais completo foi o estudo de tecnologias e ferramentas que envolvem o WBAN, passando pela IoT, alternativas de placas controladores, aspectos de IoT e protocolos, além de ferramentas para trabalho com os dados e apresentação.

Para a resolução do desafio de avaliação de desempenho de atletas através de um dispositivo *wearable*, foi entregue um protótipo capaz de coletar informações do atleta em tempo real usando acelerômetro, GPS e sensor de pulso. Esses três sensores mostraram-se suficientes para gerar análises importantes a respeito do movimento do jogador durante a atividade. Através do sistema desenvolvido, utilizando um painel, foi possível estudar diversos aspectos do jogo do atleta, tais quais:

- Condicionamento físico: a partir dos dados de batimento cardíaco é possível verificar a condição física e cansaço do jogador.
- Movimento realizado com a bola: usando os gráficos com os dados do acelerômetro pode-se identificar qual movimento o jogador fez com o pé e como fez.
- Posição ocupada no campo: com o mapa de localização do atleta, o treinador pode analisar qual posição foi ocupada pelo jogador durante o jogo ou treino.
- Arrancadas: considerando as informações do GPS, pode-se saber qual a velocidade máxima do atleta no processo e, combinando as informações dos outros sensores, é possível saber se ele fez esse movimento com a bola ou não e o quanto isso o cansou.
- Colisões: identificação de choques e quedas ocorridas durante o jogo, a partir das mudanças bruscas no acelerômetro, junto a redução na velocidade.

Além disso, pelo fato do dispositivo registrar o tempo de coleta de cada amostra, pode-se buscar o diagnóstico da causa de situações que aconteceram na partida, como, por exemplo, a condição física do atleta no momento em que ele foi substituído. Dessa forma, o sistema se mostrou bastante interessante, por conseguir extrair informações relevantes dos atletas e enviar de forma quase instantânea.

Ao longo do projeto, diversos desafios foram enfrentados, um deles foi a calibração dos sensores utilizado dispositivos de comparação, exigindo, no caso do batimento cardíaco por exemplo, diversos testes em partes diferentes do pé e uso de médias para melhorar a precisão do resultado. Fora isso, a seleção de uma ferramenta para banco de dados que fosse gratuita e de fácil integração, mas atendesse os requisitos do projeto, exigiu o teste de diferentes alternativas, até a escolha do AirTable.

Outra dificuldade do projeto foi na alimentação do sistema, a qual inicialmente estava prevista para ser realizada por uma pilha, mas precisou ser adaptada para o uso de um carregador portátil pela necessidade de mais capacidade de alimentação.

O dispositivo e sistema desenvolvidos, como já constatado, cumprem o objetivo de solução para o problema proposto. No entanto, por se tratar de um protótipo, ainda existem aspectos que podem ser melhorados para que ele vire um produto de melhor performance.

Entre os principais pontos de evolução, pode se destacar a implementação de uma comunicação *low energy* entre o microcontrolador e a ferramenta de *middleware*, que nesse caso foi o Node-RED. Outras melhorias poderiam estar ligadas a estrutura do *hardware*, como uma placa menor e uma alimentação diferente para o dispositivo.

7.1 Trabalhos Futuros

Conectando com os pontos de evolução, um dos trabalhos futuros pode envolver a utilização da comunicação Bluetooth, mais especificamente o BLE (Bluetooth *low energy*). A ESP poderia comunicar-se com um celular ou servidor, com o fluxo Node-RED operando, por Bluetooth, assim reduzindo o consumo de energia do dispositivo sem prejudicar suas funcionalidades.

Um outro projeto futuro que poderia ser feito é a elaboração de um dispositivo mais compacto para uso do atleta, com uma capa feita em impressora 3D por exemplo. Fora isso, este projeto poderia envolver a alimentação por uma bateria mais compacta e que ficasse junto a placa, como a de polímero de lítio apresentada anteriormente.

Finalmente, um trabalho futuro bastante interessante, este mais focado na última camada da arquitetura do projeto, seria a análise dos resultados extraídos dos sensores utilizando inteligência artificial, isso possibilitaria o desenvolvimento de *dashboards* que trouxessem *insights* para treinadores e preparadores físicos.

A primeira função acionada é a *setup*, a qual é executada somente na inicialização do dispositivo. Sendo assim, ela realiza todo o processo de ativação das comunicações seriais e I2C, iniciando a comunicação com os sensores conectados, além das definições necessárias para operação. Essa função está apresentada na figura 30

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Arduino Nano . <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> acessado em: 6 de junho de 2022., 2008. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 26.

ASIF, A. et al. Applications of Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey. Engineering Science and Technology International Research Journal, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 15, 25, 39 e 41.

ATMOKO, R. A. et al. IoT real time data acquisition using MQTT protocol. Journal of Physics: Conference Series, 2017. Citado na página 30.

BARBIERI, C. BI - Business Intelligence - Modelagem e Tecnologia . Axcel Books, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

BASÍLIO, S. O que é Node-RED? Conhecendo e instalando . <https://blogmasterwalkershop.com.br/outros/o-que-e-node-red-conhecendo-e-instalando> acessado em 10 de julho de 2022., 2021. Citado na página 30.

BLANCHARD, S. et al. Current Soccer Footwear, Its Role in Injuries and Potential for Improvement. Sports Medicine International Open, 2018. Citado na página 38.

ELETROGATE. Conhecendo o ESP32 – Introdução . <https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/> acessado em: 5 de junho de 2022., 2018. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 26.

FIELDING, R. et al. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. MIT/LCS, 1997. Citado na página 29.

FIFA. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. FIFA Communications Division, Information Services, 2007. Citado na página 38.

FOX, J. L. et al. Validity of the Polar Team Pro Sensor for measuring speed and distance indoors . Journal of Science and Medicine in Sport, 2019. Citado na página 24.

GEEVARGHESE, D. LE vs Wi-Fi: Which is Better for IoT Product Development? . <https://www.cabotsolutions.com/ble-vs-wi-fi-which-is-better-for-iot-product-development> acessado em 16 de junho de 2022., 2018. Citado na página 48.

HALL, C. Monitores de frequência cardíaca e treinamento de frequência cardíaca explicados: tudo o que você precisa saber . <https://www.pocket-lint.com/pt-br/rastreadores-de-fitness/noticias/155738-monitores-de-frequencia-cardiaca-e-treinamento-de-frequencia-cardiaca-tudo-o-que-voce-precisa-saber> acessado em 12 de julho de 2022., 2022. Citado na página 27.

HART, M. TinyGPSPlus . <https://github.com/mikalhart/TinyGPSPlus> acessado em: 20 de junho de 2022., 2022. Citado na página 53.

HASAN, K. et al. A comprehensive review of wireless body area network. Journal of Network and Computer Applications 143, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 15, 20, 26 e 39.

HASAN, K. et al. A comprehensive review of wireless body area network . Journal of Network and Computer Applications, 2019. Citado na página 25.

- IKRAM, M. et al. Architecture of an IoT-based system for football supervision (IoT Football). 2015. Citado 5 vezes nas páginas 15, 19, 20, 21 e 41.
- KHUSHHAL, A. et al. Validity and Reliability of the Apple Watch for Measuring Heart Rate During Exercise . Sports Medicine International Open, 2017. Citado na página 24.
- MARGINEAN, H. et al. Uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas - Parte 1 . <https://www.infoq.com/br/articles/internet-of-things-reference-architecture/> acessado em 7 de julho de 2022., 2016. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- MOVASSAGHI, S. et al. Wireless Body Area Networks: A Survey . IEEE, 2014. Citado na página 25.
- OKAZAKI, V. H. A. et al. Ciência e Tecnologia Aplicada à Melhoria do Desempenho Esportivo. Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 19, 38 e 39.
- OPTIMI. You too can make dashboards: How to visualise your Airtable data in Google Data Studio . <https://medium.com/@optimi/you-too-can-make-dashboards-how-to-visualise-your-airtable-data-in-google-data-studio-d376bf4ccfaf> acessado em: 2 de julho de 2022., 2019. Citado na página 58.
- PALARMINI, L. F. Conheça os principais protocolos para IoT . <https://www.filipeflop.com/blog/conheca-os-principais-protocolos-para-iot/>, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 15, 29 e 30.
- PEIXOTO, L. G. et al. A circunferência da panturrilha está associada com a massa muscular de indivíduos hospitalizados. Universidade Federal de Uberlândia, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 63.
- PINTO, G. Middleware de IoT: a ponte para a digitalização . <https://v2com.com/2022/03/22/middleware-de-iot-a-ponte-para-a-digitalizacao/> acessado em 10 de julho de 2022., 2022. Citado na página 30.
- RAULT, T. et al. Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey . Computer Networks, Volume 67, 2014. Citado na página 39.
- SANTOS, N. dos. Uma plataforma de larga escala utilizando a tecnologia WBAN para monitoração de pacientes. . Faculdade Campo Limpo Paulista – FACCAMP, 2016. Citado na página 25.
- SATTABURUTH, C. et al. Sensorization of Things Intelligent Technology for Sport Science to Develop an Athlete's Physical Potential . Canadian center of Science and Education, 2021. Citado na página 27.
- SILVA, D. A. et al. Incidência de Lesões no Futebol Profissional do Brasil. XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 38.
- SILVA, F. G. da. Reconhecimento de movimentos humanos utilizando acelerômetro de inteligência computacional. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 39.
- SINGH, H. Interactive Data Warehousing . Prentice Hall, 2011. Citado na página 32.
- TESLA, N. An interview with Nikola Tesla by John B. Kennedy . Colliers Magazine em <http://www.tfcbooks.com/tesla/1926-01-30.htm>, acessado em 5 de julho de 2022., 1926. Citado na página 28.

TURBAN, E. et al. Business Intelligence: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio . Bookman, 2009. Citado na página 34.

USATODAY. Alabama's use of Apple watches to track football players sets off rules debate . <https://www.usatoday.com/story/sports/ncaaf/2020/04/03/college-football-alabamas-use-apple-watches-sets-off-rules-debate/2944538001/> Acessado em: 15 de junho de 2022., 2020. Citado na página 23.

USINAINFO. Programar ESP32 com a IDE Arduino – Tutorial Completo . <https://www.usinainfo.com.br/blog/programar-esp32-com-a-ide-arduino-tutorial-completo/> acessado em: 1 de julho de 2022., 2019. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 45.

VIEIRA, M. E. M. Protótipo para Auxílio de Identificação do tipo de Pisada Baseada em Sensores Piezoelétricos e Redes Neurais Artificiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Citado 5 vezes nas páginas 15, 19, 20, 38 e 41.

VIKACONTROLS. Módulo Digi XBee3 ZigBee 3.0 . <https://www.vikacontrols.com.br/produto/modulo-digi-xbee-3-zigbee-zb/> acessado em: 3 de julho de 2022., 2018. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 27.

WEN, C. Telemedicina e Telessaúde – Um panorama no Brasil . Informatica Pública, 2008. Citado na página 25.