

O USO DE TECNOLOGIA UBÍQUAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM CONJUNTO DE MÓDULOS PARA ANÁLISE DO TEMPO DE REAÇÃO

THE USE OF UBIQUITOUS TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF A SET OF MODULES FOR REACTION TIME ANALYSIS

Victor Inacio de OLIVEIRA

pro14724@cefsa.edu.br

Engenharia de Computação, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, FESA
Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, MACKENZIE

Allan Sueder RODRIGUES

082160030@ftt.cefsa.edu.br

Engenharia de Computação, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, FESA

Adriano Martins da SILVA

082160002@ftt.cefsa.edu.br

Engenharia de Computação, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, FESA

Rodrigo Maestro ALVES

082160006@ftt.cefsa.edu.br

Engenharia de Computação, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, FESA

Bruno Luis Soares de LIMA

bruno.lima@mackenzie.br

Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, MACKENZIE

Alex Paubel JUNGER

Pro15846@cefsa.edu.br

Bacharelado em Administração, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, FESA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi a validação de um conjunto de módulos para análise do tempo de reação. Para que isso fosse possível, o desenvolvimento contou com conceitos de tecnologias ubíquas, como IoT (*Internet of Things*) aplicações móveis e em nuvem, tecnologias de comunicação sem fio e de alta disponibilidade. Os dispositivos foram desenvolvidos com o intuito de registrar o valor do tempo entre um estímulo e uma resposta. Após esta integração, o equipamento foi validado sem intervenção humana, comparando as suas medidas com o valor resultante da equação de queda livre. Foi verificado que o método, utilizando os equipamentos deste projeto, propõe uma alta precisão e exatidão dos resultados, assim como maior versatilidade quando comparado com o método aplicado atualmente.

Palavras-Chave

Tempo de reação. Desempenho humano. IOT no esporte.

ABSTRACT

The objective of the study was the validation of a set of modules for reaction time analysis. In order to achieve this, the development relied on concepts of ubiquitous technologies, such as IoT (Internet of Things), mobile and cloud applications, wireless communication technologies, and high availability. The devices were developed with the intention of recording the time value between a stimulus and a response. After this integration, the equipment was validated without human intervention, comparing its measurements with the resultant value from the free fall equation. It was found that the method using the equipment from this project proposes high precision and accuracy of the results, as well as greater versatility when compared to the currently applied method.

Keywords

Reaction time. Human performance. IOT in sport.

1.INTRODUÇÃO

O Tempo de reação (TR) é uma medida do comportamento humano utilizada para medir o intervalo de tempo necessário para que um indivíduo perceba um estímulo, reconheça-o e faça uma escolha (DONDERS, 1969), esses estímulos podem ser visuais, como uma luz de alerta; sonoro, como um tiro de largada; ou cinestésico, como o calor na pele; entre outros.

O indivíduo, ao perceber um estímulo, precisa reagir com outra ação, um atleta ao ouvir o disparo da largada, precisa reagir ao estímulo largando do bloco o mais rápido possível, assim como o tripulante de uma aeronave precisa tomar uma decisão rápida ao visualizar um alerta em seu painel de controle.

No âmbito esportivo o TR se faz presente em quase todos os momentos em que um atleta precisa tomar uma decisão e realizar uma ação motora de forma rápida, a fim de atingir o objetivo e ou superar o seu adversário. O estudo do TR no esporte se mostra muito importante, uma vez que possibilita entender o comportamento neuromuscular dos indivíduos, mostrando que o tempo de reação pode ser o mais sensível para identificar prejuízos no desempenho esportivo, decorrente de sessões de treinos e competições exigentes (MATOS, *et al.*, 2013). Os estudos que utilizam a análise do TR não se limitam apenas em observar o desempenho motor afetado pela fadiga periférica, mas pesquisas comprovam uma correlação positiva do tempo de reação com a fadiga mental (CROCETTA, *et al.*, 2017).

Além de demonstrar possíveis prejuízos no desempenho esportivo, alguns estudos parecem demonstrar um processo de retroalimentação entre o esporte e o TR, mostrando que a prática do esporte proporciona melhores índices no TR. Em estudo, Bruzi *et al.* (2013), demonstraram em um comparativo entre atletas de basquetebol, atletas de ginástica artística e não atletas, que o tempo de resposta nos testes realizados foram maiores em não atletas.

Diante da importância apresentada sobre a análise do TR, se faz necessária a utilização de equipamento(s) com capacidade de mensurar com precisão o TR.

Atualmente, nota-se cada vez mais a tecnologia no cotidiano, no qual vislumbra-se o advento e a aplicação de dispositivos *IoT* em diversos contextos (PATRICIO, *et al.*, 2018), sejam eles para segurança, para geração de dados urbanos ou mesmo para atender as necessidades dos transientes. Para tornar possível essa realidade, foi necessário o desmembramento e a modularização dos dispositivos a prestarem tais serviços, viabilizados pela intercomunicação sugerida e fornecida pelas redes sem fio, sejam elas dados móveis, *Wi-Fi*, *bluetooth* ou outras.

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento e a validação de um conjunto de módulos interconectáveis para análise do TR e sua aplicação prática, uma vez que os dispositivos atuais possuem limitações quanto à mobilidade, transporte e à necessidade de recursos extras para realização dos testes, como estruturas metálicas, computadores e periféricos.

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizados no projeto conceitos da física aplicada em engenharia, *IoT*, computação em nuvem, protocolos de comunicação de rede, programação de aplicações móveis, eletroeletrônica e modelagem 3D. Para certificar a precisão destes dispositivos, foi necessário realizar testes automatizados sem interferência humana, para garantir que não houvesse o erro humano embutido nas medidas. Foram utilizados como referencial para a medida de tempo os conceitos da física inseridos na fórmula de queda livre, proposto por Galileu Galilei. A estrutura do dispositivo foi fabricada por meio de prototipagem de impressão 3D, os módulos possuem comunicação *Wi-Fi* e os dados são enviados para uma aplicação em nuvem, podendo ser verificados em tempo real em um dispositivo móvel.

Para validar o equipamento em campo, foi realizada a comparação com um método já utilizado na literatura, por meio da análise de vídeos filmados com câmera de alta velocidade.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Embasamento físico

O tempo de reação é uma medida do comportamento humano muito utilizada para aferir o tempo entre um estímulo até sua resposta cognitiva e a resposta motora de nosso corpo. Esta medida tem vasta aplicação no cenário esportivo, no qual um menor tempo de resposta poderá proporcionar ao atleta maior vantagem em uma competição.

O TR é uma importante fonte em psicologia experimental, ao estudar a escolha no ramo da percepção humana, o tempo de reação tem se mostrado uma variável muito importante, em que escolhas rápidas são consideradas as mais fáceis (YOUNG e CRUMER, 2018).

A velocidade é uma característica neuromuscular que está presente em diversos momentos do esporte. Ações motoras executadas de forma rápida e coordenadas podem proporcionar uma maior velocidade ao atleta e até mesmo influenciar diretamente no resultado. Segundo a literatura, velocidade é o menor tempo possível para a contração do músculo após um estímulo (BARBANTI, 1979).

Ao se tratar de mensurar o tempo de reação, alguns dispositivos se propõem a exercer essa função, como, por exemplo, o Vienna Test System (VTS) e o Batak pro, ambos com protocolos de teste e *design* próprio. O Vienna Test System (VTS) é um sistema computadorizado capaz de realizar uma variedade de testes, como atenção sustentada, tempo de reação, percepção periférica, reatividade ao estresse e antecipação de movimento, que são relevantes para a psicologia do esporte (ONG, 2015). Mediante a estímulos visuais e sonoros, e também por meio de botões, alavancas e pedais é possível realizar interação entre o VTS e os testes (SANTOS *et al.*, 2019).

No Batak Pro, o registro do tempo de reação é feito por meio de doze dispositivos, situados verticalmente, que acendem uma luz de cada vez de forma aleatória, sendo o objetivo da pessoa que está executando o teste acertar o dispositivo que acendeu a luz no menor tempo possível. (BATAK PRO, 2017). Além destes equipamentos de mercado, a literatura tem apresentado estudos nos quais são utilizadas câmeras de alta velocidade e posterior análise de vídeo para obter o TR (DA SILVA, *et al.*, 2020).

Para validar fisicamente o dispositivo criado, é possível utilizar o conceito de movimento de queda livre, ou lançamento vertical, que se baseia em um experimento realizado por Galileu Galilei, que verificou que ao deixar cair uma bala de canhão e uma de mosquete diversas vezes, ambas chegariam ao solo ao mesmo tempo, assim concluiu que dois corpos abandonados da mesma altura chegariam simultaneamente ao solo, independentemente de suas massas (JUNIOR; ANTONI, 2013). Uma das fórmulas propostas por Galileu foi uma expressão matemática utilizada para determinar o tempo de queda e a distância de um corpo. Ela pode ser expressa como:

$$D = \frac{G * t^2}{2} \tag{1}$$

Onde ‘D’, ‘G’ e ‘t’ são respectivamente a distância percorrida pelo corpo, a constante gravitacional e o tempo de queda.

Em 1644, Torricelli publica a obra “Opera Geometrica”, constituída de 3 partes, possuía em sua segunda parte ideias correlacionadas aos experimentos realizados anteriormente por Galileu, em uma delas, ele demonstra o princípio de Galileu, que pesos, tanto em queda livre quanto em plano inclinado de mesma altura, possuem a relação de que chegariam simultaneamente no solo, independentemente de sua massa (MACÊDO, 2010). A equação obtida foi a Equação 2.

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta s \quad (2)$$

Onde ‘V’ é a velocidade final, ‘V₀’ é a velocidade inicial, ‘a’ é a aceleração e ‘Δs’ é a variação de distância.

2.1 Tecnologias envolvidas

Segundo Fornasier (2019), o termo *IOT* (Internet das Coisas) se refere a uma tecnologia que permite que dispositivos de computação incorporados a outras interfaces (interface humana ou máquina) e ligados por meio de redes (com fio ou não) sejam capazes de capturar dados do ambiente exposto a fim de criar uma rede de informações, fornecendo dados e modelos de negócio digitais, assim como serviços e funcionalidades. Alguns consideram a IoT como sendo uma tecnologia ubíqua, ou seja, presente em todos os lugares sem ser notada (ASHTON, 2019).

Por conta do dispositivo a ser desenvolvido proporcionar envio de dados para monitoramento e análises, além de uma comunicação *Wi-Fi* entre microcontrolador e aplicação, ele pode ser considerado um dispositivo *IOT* (SANTOS *et al.*, 2020).

Wi-Fi é uma tecnologia que é representada pela norma IEEE 802.11, a qual possibilita a troca de dados sem a necessidade de cabos. O *Wi-Fi* possui grandes vantagens, como maior alcance, maior velocidade e o fato de suportar um número maior de usuários em comparação a outros meios de comunicação sem fio, como o bluetooth (STEFANUTO, *et al.*, 2016).

Alguns dispositivos podem ser utilizados para implementação dessa tecnologia, dentre eles se destacam o Arduino e o Esp32, eles são os controladores. Os controladores de processo são adventos da automação industrial e como o próprio nome diz são responsáveis por controlar processos industriais ou parte deles por meio de algoritmos programáveis de controles específicos.

Programação nada mais é que falar ao controlador quais decisões devem ser tomadas em cada circunstância. Para isso, escrevemos um código que segue uma sequência lógica de tomada de decisões que leva em conta as variáveis que serão lidas e/ou controladas (MOTA, 2017).

Para programar essas placas, ou seja, ensiná-las a desempenhar as funcionalidades que você deseja, basta utilizarmos a sua IDE (ambiente integrado de desenvolvimento), que por sua vez é um software no qual podemos escrever um código em uma linguagem semelhante a C/C++, o qual será traduzido, após a compilação, em um código compreensível pela placa (MOTA, 2017).

Existem hoje no mercado diversos tipos de placas integradas que podem ser programadas para diversas finalidades, como, por exemplo, a placa Arduino ou a placa ESP-32.

O ESP32 é uma placa programável, do tipo microcontrolada, utilizada em projetos eletrônicos, cuja principal característica é o seu poder de comunicação *wireless*, *WiFi* ou *Bluetooth*, já integrado

à placa. Com particularidades, como pinos responsáveis pela entrada e saída de sinais digitais (portas GPIO), sensores capacitivos (portas *Touch*), conversores de grandezas analógicas em grandezas digitais (ADC [*Analog Digital Converter*]), compatibilidade de até dois núcleos, dentre outras, o ESP32, que se mostra vantajoso, interessante e com ótima usabilidade, além de apresentar um ótimo custo-benefício custando em torno de US\$10.

O microcontrolador ESP32 conta com um chip *Wi-Fi* no padrão 802.11, que opera com frequências entre 2.4 e 2.5GHz. Seu microprocessador é um *dual core Tensilica Xtensa* com arquitetura 32 bits, que opera em uma frequência máxima de 240MHz. Também conta com uma memória ROM de 448Kb e SRAM de 512Kb. Um grande diferencial é que esse microcontrolador já acompanha um protocolo de comunicação *bluetooth* embutido.

Cada um dos protocolos de comunicação fornecidos/suportados pelo ESP32 possui vantagens e desvantagens, que variam de acordo com a aplicação almejada no projeto. Em termos de *Wi-Fi* o ESP32 pode ser configurado de três maneiras diferentes, *Access Point* (AP), *Wi-Fi Station* (STA) ou um modo “híbrido”, que faz uma mescla entre os outros dois citados (ESPRESSIF, 2023).

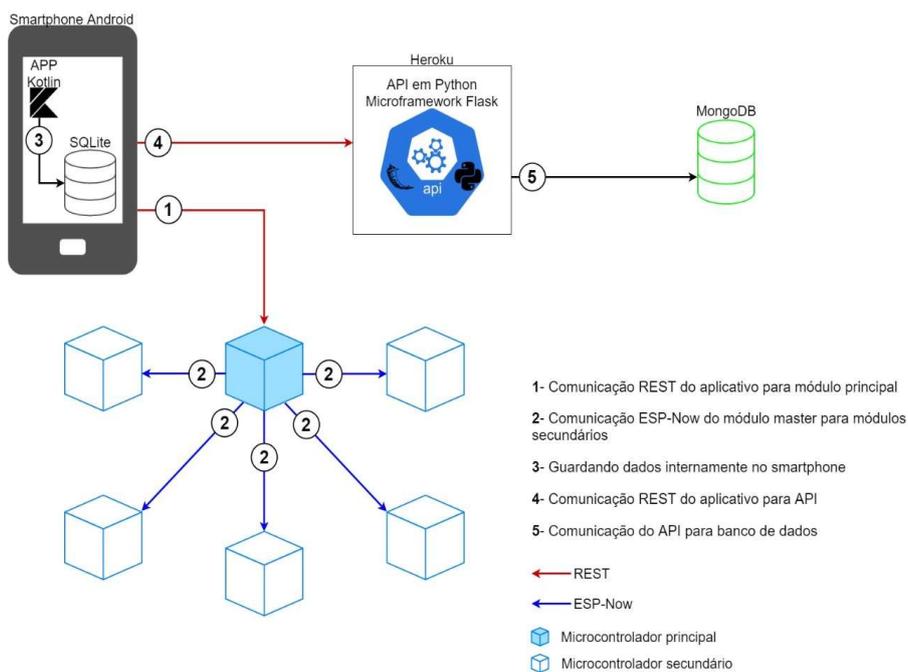
Quando configurado como *Access Point*, o microcontrolador funciona como roteador/servidor ao criar uma rede própria, pela qual outros dispositivos que possuem *Wi-Fi* conseguem se conectar. Para configurar o ESP32 como *Access Point*, basta definir o *Wifi Mode* da placa como AP, por meio do comando *WIFI_MODE_AP* (SANTOS, 2023).

A escolha do hardware deve acompanhar a necessidade do projeto, comparando os recursos fornecidos com os necessários para a execução do projeto. Analisando as possibilidades, a opção que melhor se encaixa é o ESP32. Esse microcontrolador é de baixo custo, necessita pouca energia e fornece uma conexão *Wi-Fi* (PRASAD, 2019).

3. METODOLOGIA

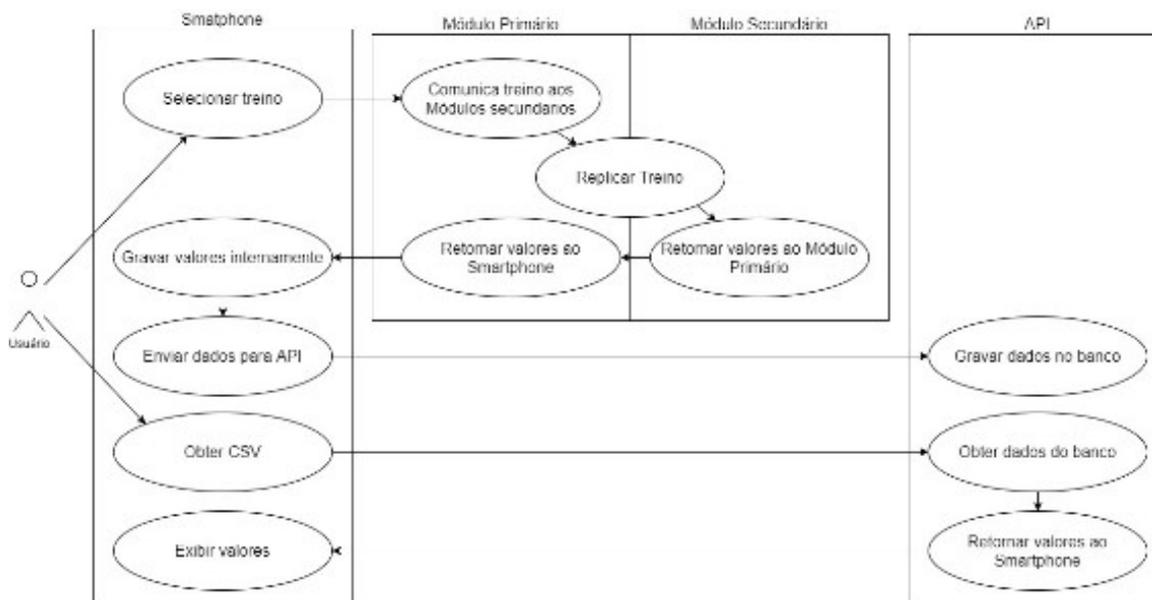
Ao longo desta pesquisa, foi projetado e confeccionado um conjunto de dispositivos para aferir o tempo de reação em diversas situações, desde a ciência do esporte e comportamento neuromuscular até os estudos da percepção humana. Também foram desenvolvidos, como suporte e complemento aos dispositivos, uma aplicação para telefone móvel *Android* e uma API desenvolvida em *Python*. A aplicação móvel é responsável pelo controle e o intercâmbio de dados entre os dispositivos e a API, que por sua vez tem como objetivo buscar e armazenar informações no banco de dados (*Mongo DB*) conforme solicitado pela aplicação, conforme Figura 1 e Figura 2.

Figura 1 – Arquitetura da Aplicação



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 2 – Caso de Uso



Fonte: Autoria própria (2023)

3.1 Recursos Utilizados

No decorrer da pesquisa, foram utilizados diversos recursos tangíveis e intangíveis, esses recursos se agrupam em 4 frentes do desenvolvimento.

3.1.1 Estrutura para testes de queda livre

Os recursos tangíveis e intangíveis relacionados à construção da estrutura para testes de queda livre estão representados no Quadro 1.

Quadro 1 – Recursos tangíveis e intangíveis relacionados para a construção da estrutura para testes de queda livre

	Descrição
Tangíveis	MDF 3mm para estrutura da torre, botão luminoso de 28mm <i>Aegir</i> , chave micro <i>switch Aegir</i> , plataforma de desenvolvimento <i>NodeMCU LoLin V4</i> com microcontrolador ESP8266-12E, placa de fenolite, módulo eletroímã, corpo de aço 20g utilizado em calibração de balanças, Display LCD 16×2 I2C <i>Backlight</i> Azul, fonte de alimentação Dc 5v, regulador de voltagem 3.3v.
Intangíveis	IDE Arduíno 1.8.13, AutoCAD 2018 licenciado para estudante, serviço de corte a laser.

Fonte: Autoria própria (2023)

3.1.2 Protótipos

Os recursos tangíveis e intangíveis relacionados à construção dos protótipos estão representados no Quadro 2.

Quadro 2 – Recursos tangíveis e intangíveis relacionados para a construção dos protótipos

	Descrição
Tangíveis	Botões luminosos de 45mm <i>Aegir</i> com baixa resistência e atrito, chave micro <i>switch Aegir</i> , módulos Lolin V3 com microcontrolador Esp8266-12E, placas de fenolite, baterias de lítio 18650 3.7v-9800mAh, Módulo carregador de baterias TP4056, <i>buzzer</i> 3.3v ativo, botão <i>push-button</i> , chave gangorra 2 terminais, Indicador de nível de carga para baterias 1S.
Intangíveis	IDE Arduíno 1.8.13, <i>software</i> para <i>design</i> de <i>hardware</i> eletrônico <i>Fritzing</i> 0.9.3, CATIA V5 R19, serviço de impressão 3D.

Fonte: Autoria própria (2023)

3.1.3 Aplicação móvel

Os recursos tangíveis e intangíveis relacionados à construção da aplicação móvel estão representados no Quadro 3.

Quadro 3 – Recursos tangíveis e intangíveis relacionados para a construção da aplicação móvel

	Descrição
Intangíveis	IDE <i>Android Studio</i> 4.1.3, <i>Kotlin</i> , <i>Android</i> , <i>SQLite</i> , <i>OKHTTP3</i> , <i>Git</i> , <i>XML</i> , <i>MVC</i> .

Fonte: Autoria própria (2023)

3.1.4 API

Os recursos tangíveis e intangíveis relacionados para a construção da API estão representados no Quadro 4.

Quadro 4 – Recursos tangíveis e intangíveis relacionados para a construção da API

	Descrição
Intangíveis	<i>Visual Studio Code</i> , <i>Postman</i> , <i>Heroku</i> , <i>MongoDB Atlas</i> , <i>MongoDB</i> , <i>Python</i> , <i>Git</i> , <i>Flask</i> , <i>PyJWT</i> , <i>Python</i> .

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2 Desenvolvimento

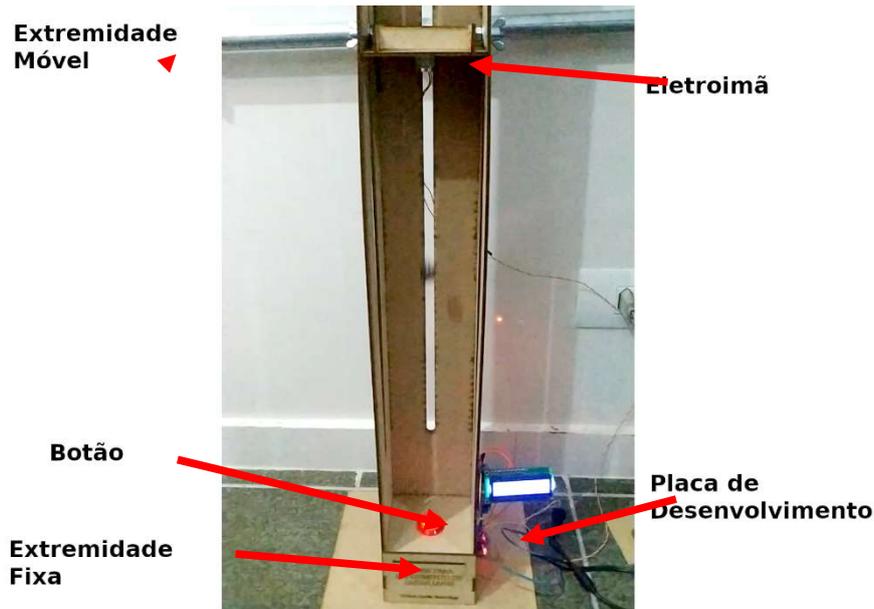
A seguir, foi detalhada a forma como cada recurso foi desenvolvido, assim como sua construção.

3.2.1 Estrutura para testes de queda livre

Com a finalidade de aferir a precisão do dispositivo, foram realizados testes de queda livre para verificação da precisão do sistema, utilizando um equipamento que põe em prática os conceitos de queda livre.

Esse equipamento consiste em uma estrutura com uma extremidade móvel que possibilita variar a altura da queda, essa extremidade permite escolher alturas entre 0,15m e 1m e nela há um eletroímã acoplado. O eletroímã tem a função de, quando acionado, segurar um corpo metálico e, quando desativado, soltar esse corpo, que parte em queda livre na direção de uma extremidade fixa. Nessa extremidade é posicionado o sistema com a função de registrar o valor em milissegundos do tempo entre o momento em que o corpo foi solto pelo eletroímã até o momento em que o corpo aciona o botão do sistema, no local do botão também poderia ter sido utilizado um sensor, como o de ultrassom (OLIVEIRA *et al*, 2012). A Figura 3 a seguir ilustra esta estrutura de testes.

Figura 3 – Estrutura de testes de queda livre



Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.2 Módulos

Uma parte importante deste projeto é o conjunto de módulos, composto por um sistema eletrônico específico, que abriga o algoritmo desenvolvido, e testado por meio da estrutura de testes de queda livre.

O conjunto é composto por cinco módulos, sendo um denominado master e quatro secundários. A especificação de master e secundário se dão somente pelo fato do módulo master, além de se comunicar com os outros módulos, se comunicar também com a aplicação móvel, recebendo os comandos e realizando em conjunto com os demais.

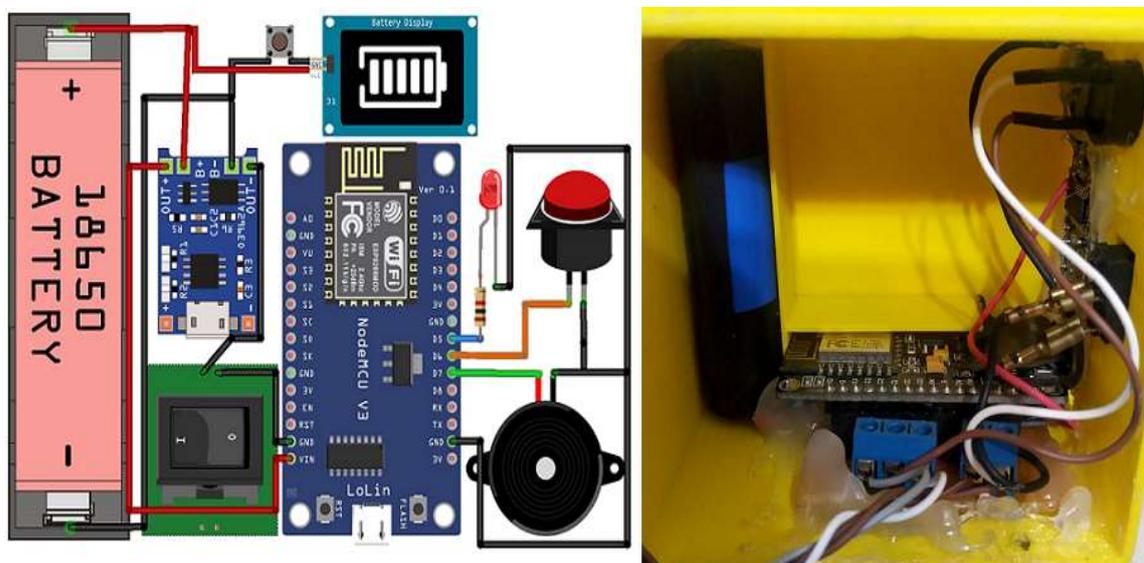
Em uma placa de fenolite perfurada, foi inserida a placa de *hardware* livre com o microcontrolador, o módulo carregador de bateria TP4056 e *bornes* para conexão.

O sistema de acionamento composto por um botão de 45mm, um LED acoplado e uma chave *micro-switch* foram ligados à placa principal utilizando 3 fios, sendo um de sinal do LED, um de sinal do botão e um terra compartilhado. Além do sistema de estímulo visual por meio do LED, foi inserido no sistema um *buzzer* para realizar um estímulo sonoro, conectado por um fio condutor de sinal e um fio terra (LUZ *et al*, 2020).

A alimentação do sistema é composta por uma bateria de lítio 18650 3.7v-9800mAh conectada em 3 partes distintas do sistema. A bateria é conectada primeiramente ao módulo TP4056, que faz o papel de carregamento da bateria, a energia proveniente da bateria é enviada à placa de desenvolvimento após passar pelo módulo TP4056 e a uma chave gangorra de duas posições, essa

chave é responsável por ligar e desligar o módulo. Para que o usuário consiga visualizar o nível da bateria, um indicador de nível de carga para baterias 1S foi ligado junto à bateria, passando por um *push button*, responsável por liberar o sinal proveniente da bateria para ser demonstrado no indicador. Figura 4.

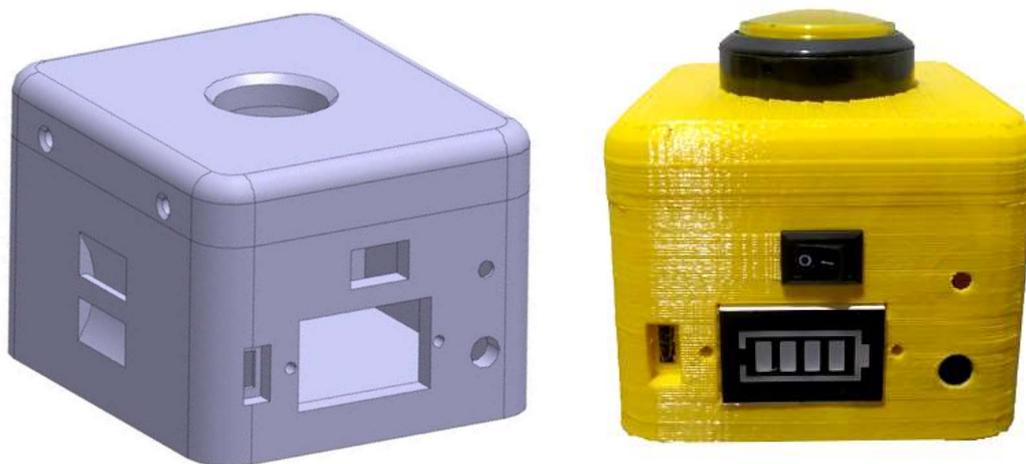
Figura 4 – Arquitetura dos módulos



Fonte: Autoria própria (2023)

Para comportar tudo isso de forma organizada, compacta e prática, foi necessário desenvolver um invólucro que fosse resistente e funcional. Por meio do software CATIA V5 R19, foi modelado um protótipo utilizando os conceitos de desenho técnico e modelagem 3D. Os protótipos foram impressos em um termoplástico chamado ABS, em uma impressora 3D, pelo processo FDM (Deposito de Material Fundido), conforme Figura 5.

Figura 5 – Modelo de prototipagem 3D



Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.3 Aplicação Móvel

Para controle dos módulos e registro dos testes realizados, foi desenvolvido um aplicativo móvel por meio da *Integrated Development Environment (IDE) Android Studio*, na versão 4.1.3. A aplicação foi programada dentro do padrão *Model View Controller (MVC)* na linguagem *Kotlin*, nativa ao sistema operacional *Android* e o *layout* foi desenvolvido no formato *Extended Markup Language (XML)*.

Com o intuito de prover maior compatibilidade à aplicação, foi adotado o nível 23 da API do sistema operacional *Android*, que garante compatibilidade desde a versão 6 até a versão atual, *Android 11*, permitindo assim compatibilidade com 83% dos dispositivos *Android* móveis ativos, segundo a própria IDE.

Para a navegação da aplicação, foi adotado o método de múltiplas atividades, na qual cada atividade específica pode operar independentemente das outras, podendo assim iniciar telas apenas no momento do seu uso, otimizando a utilização da memória do dispositivo.

Os dados armazenados são registrados no aplicativo utilizando a biblioteca *SQLite*, que permite armazenamento em um banco de dados estruturados, sem a execução de um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados), separadamente.

A comunicação com os módulos e com a API ocorre por meio da utilização da biblioteca *OKHTTP3*, que permite que as mensagens de troca de dados possam utilizar o mesmo *socket*, bem como contempla os métodos de comunicação *POST* e *GET*, entre outros, possibilitando também configurações de cabeçalho que permitem os atuais protocolos de segurança.

Como complemento à biblioteca *OKHTTP3*, foi utilizado o protocolo *Wi-Fi Manager*, interno ao *Kotlin*, como meio para identificação do estado da conexão, impedindo diversas exceções na aplicação.

Com este cenário, as chamadas HTTP foram realizadas em *threads* secundárias, possibilitando a tratativa da resposta e impondo ao programa a utilização de *listeners*, que aguardam pelo resultado de cada requisição. Deixando também a necessidade de explicitar que as alterações de tela resultantes de cada requisição fossem executadas no *thread* da *User Interface (UI)* e não na *thread* da própria requisição HTTP.

A aplicação conta em sua tela inicial, por padrão denominada "*Splash*", com uma tela para cadastro e seleção de usuários, conexão e sincronia com os módulos e atualização dos dados na nuvem; uma tela para controle principal dos treinos, com a seleção da categoria de treino a ser executado; uma tela que complementa essa supracitada (tela inicial), permitindo o livre controle dos módulos, para que um treinador possa direcionar o teste do atleta e, por fim, a tela de resultados, que

permite a visualização instantânea do teste realizado, bem como a visualização de todo o histórico de testes, com a possibilidade de filtrá-los por tipo. Essa última tela também permite a obtenção de um *link* para consulta do histórico em formato *Comma Separated Values* (CSV).

3.2.4 API

A API desenvolvida tem as funções de garantir o controle de usuários, persistir os dados em nuvem e processar esses dados. O controle de usuário se dá no ponto em que cada módulo *master* do conjunto terá direito a um login no sistema. Logado no sistema, o usuário pode persistir os dados, para consultá-los conforme a sua necessidade (MARIN *et al*, 2019).

Essa aplicação se encontra na plataforma em nuvem *Heroku* e utiliza a arquitetura *REST* para ser acessada. A linguagem utilizada na programação foi o *Python*, com o *microframework Flask*, enquanto o banco de dados foi o *MongoDB*. A escolha dessas ferramentas e tecnologias se deu, principalmente, pela velocidade e produtividade no desenvolvimento, assim como a configuração de um ambiente de desenvolvimento em *Python*, a implantação do código *Python* com *Flask* no *Heroku*, a comunicação com o banco de dados *Mongo* – que se encontra no *MongoDB Atlas* – e a segurança para o usuário, em que foi utilizada a biblioteca *PyJWT*.

O código foi desenvolvido pelo editor *Visual Studio Code*, utilizando a extensão do *Python* para poder executar; enquanto testes, inserções de dados e consultas pelos *endpoints* da API foram realizadas pelo *Postman*.

A visualização e configuração do banco de dados se deu pelo *MongoDB Atlas*, enquanto o *Heroku* proporcionou o versionamento de código e acesso às configurações, como por exemplo as variáveis de ambiente no código, necessárias para manter a segurança, evitando assim que a chave de acesso ao banco de dados fique exposta.

O desenvolvimento ocorreu em um computador com sistema operacional *Windows 10*, configurando o *Heroku* e o ambiente de desenvolvimento para o *Python*. Posteriormente, já em código, foram adicionados o *Flask* e a conexão com o *MongoDB*. Foram desenvolvidos os *endpoints* para inserir, editar e obter os dados. Após isso, foi adicionada segurança na API com o padrão *Json Web Token* (JWT). Em todas essas fases, o código foi constantemente testado e devidamente versionado conforme as suas atualizações pelo próprio *Heroku*.

3.3 Método de Teste

Os testes contaram com dois objetivos, sendo a validação da medida em estrutura de queda livre e uma validação em campo.

3.3.1 Validação da medida em estrutura de queda livre

Para realizar a validação da medida foi necessário comparar o tempo obtido com um método já comprovado, o método escolhido foi baseado no movimento de queda livre. Para evitar a incidência do erro humano na medida obtida, todo o processo de testes foi automatizado.

Os testes foram realizados com peso e alturas conhecidos e pré-determinados, registrando os tempos de queda no dispositivo e comparando-os a Equação 1, com a aproximação da gravidade igual a $9,80665 \text{ m/s}^2$. Neste molde, foram realizadas 50 coletas para cada uma das três alturas, sendo elas: 0,5m, 0,6m e 0,75m, pois se mostram as distâncias mais próximas do movimento humano em aplicações reais. Não se viu a necessidade de realizar um número maior de amostras, uma vez que a variação em torno das amostras era constante.

Os testes seguiram o seguinte formato: a altura de queda foi determinada com base na parte superior do botão, que por sua vez estava fixo na base da estrutura. O sistema era interligado com a estrutura de queda livre e quando acionado via *WiFi*, o eletroímã da estrutura soltava o corpo em direção ao botão, registrando o tempo de queda.

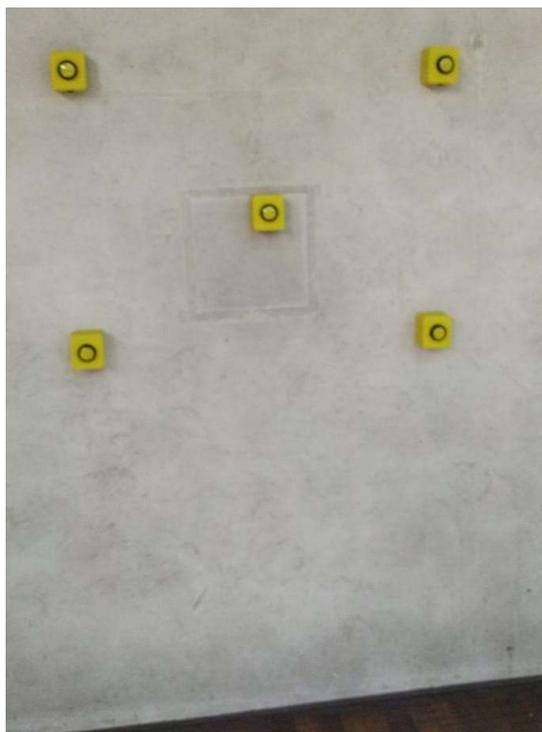
3.3.2 Validação em campo

Além da validação da medida, é de grande importância validar o sistema em campo, com ações o mais próximo possível da especificidade. Na literatura existem trabalhos que analisam o tempo de reação por meio de análises de vídeos gravados com câmera de alta velocidade.

O protocolo adotado de coleta direciona o trabalho para um foco maior nas medidas obtidas por meio do sistema e comparando com um método existente. Para essa comparação, a pesquisa contou com 17 atletas profissionais do sexo masculino (idade = 26.8 ± 7.5 anos; altura = $1.77 \pm 0,06$ m, peso = 80.2 ± 13.3 kg), integrantes de uma equipe de futsal de alto rendimento, durante pré-temporada.

A validação foi dividida em dois encontros, um encontro para garantir a familiarização dos atletas com o sistema e um segundo encontro para a coleta das amostras. O protocolo utilizado na familiarização e na coleta tinha o seguinte formato: 5 módulos foram fixos em uma parede, onde um módulo central estava posicionado a uma altura de 1,5m do solo e os demais módulos mantinham uma distância de 0,6m do módulo central, como mostra a Figura 6.

Figura 6 –Disposição dos módulos em protocolo



Fonte: Autoria própria (2023)

O protocolo consistia em 15 acionamentos aleatórios, garantindo que todos os módulos fossem acionados o mesmo número de vezes (3 acionamentos por módulo), além de garantir que não houvesse acionamento do mesmo módulo de forma seguida. Este protocolo faz parte dos protocolos propostos e inseridos no sistema.

O atleta se posicionava em frente à parede onde estavam dispostos os módulos, de maneira que conseguisse enxergar de forma confortável e com acesso a todos os módulos. Todos os atletas passaram pelo protocolo, com intervalo mínimo de 1min entre tentativas.

Foi considerado êxito na familiarização quando as médias obtidas entre testes apresentavam uma diferença menor ou igual a 5%. Para a coleta, foi utilizado o mesmo protocolo da familiarização, no qual todas as execuções foram filmadas para uma posterior análise de vídeo.

As filmagens foram registradas com o auxílio de uma câmera digital (*iPhone 11* com frequência de 240Hz) registrando o vídeo em câmera lenta para que posteriormente fosse analisado pelo *software KINOVEA software 0.8.1.5*.

A análise dos vídeos foi realizada a fim de medir o tempo entre o estímulo e a resposta de todos os acionamentos, levando em consideração o frame onde o dispositivo acende o LED, como tempo inicial, e o toque no botão (LED apagado) como tempo final.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise realizada teve como objetivo a validade da precisão do sistema, utilizando uma estrutura que põe em prática os conceitos físicos de queda livre. Nesta análise, foram comparados os valores esperados pela fórmula de queda livre (Equação 1) com os valores obtidos a partir do uso da estrutura de testes.

Fazendo uma análise geral de todos os dados coletados, chegou-se ao resultado apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados coletados na estrutura de queda livre

	Altura 0.5m	Altura 0.6m	Altura 0.75m
Qtde. de Amostras (n)	50	50	50
Desvio Padrão (ms)	0,478	0,303	0,462
Valor Mínimo (ms)	323	355	396
Valor Máximo (ms)	325	356	397
Valor Equação (ms)	319	350	391
Coefficiente de variação (%)	0,1	0,08	0,1

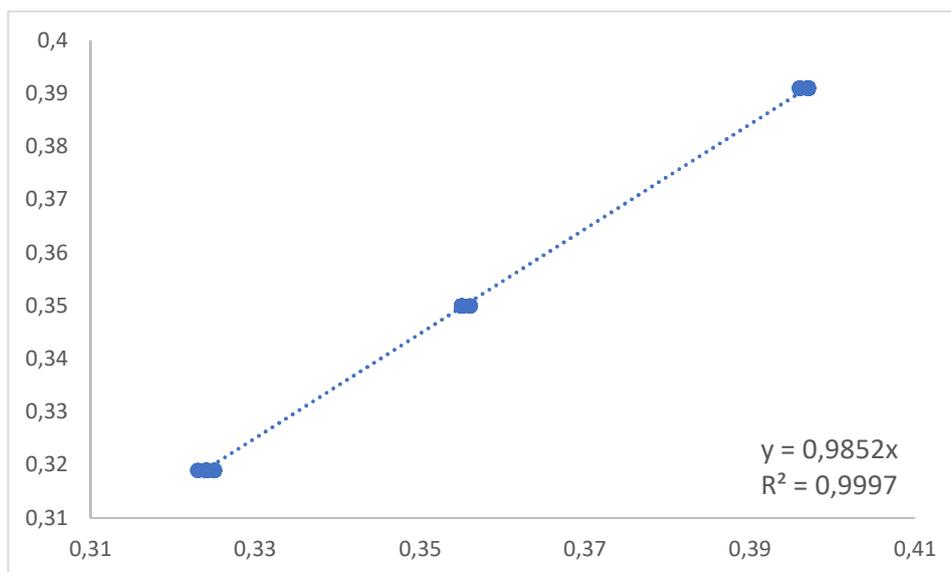
Fonte: Autoria própria (2023)

Por se tratar de uma variável quantitativa (numérica) analisada por duas amostras independentes, foi utilizado o teste-t não pareado para análise da hipótese nula, hipótese essa de que as amostras não apresentam diferença estatisticamente significativa entre elas. Foi considerado como nível de significância: $\alpha= 0,05$ e o resultado do teste-t foi de 0,123, sendo este maior do que 0,05, demonstrando a não rejeição da hipótese.

Na Figura 7, podemos notar que a inclinação da linha de tendência se mantém positiva, indicando que as variáveis estão correlacionadas positivamente.

O R^2 , também conhecido como coeficiente de determinação, é uma medida de ajuste de um modelo estatístico linear generalizado, O R^2 varia entre 0 e 1, sendo assim, quanto maior o R^2 mais explicativo é o modelo linear, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra. No gráfico apresentado, podemos notar um R^2 de 0,9997.

Figura 7 – Gráfico de dispersão para amostras no teste de queda livre



Fonte: Autoria própria (2023)

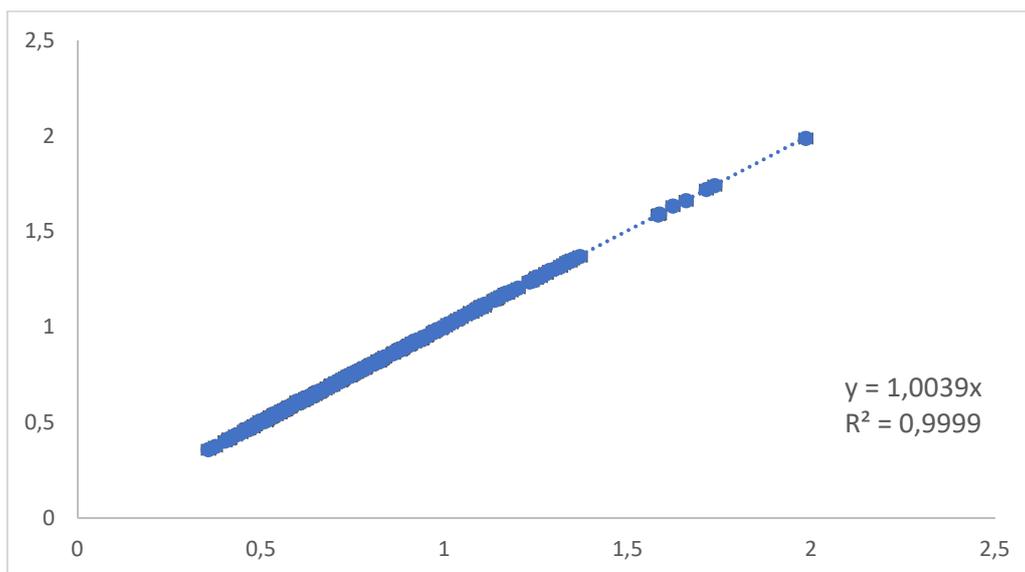
Os dados apresentados acima mostram precisão de ± 5 ms ao comparar a Equação 1 com as amostras coletadas na estrutura de queda livre. As análises estatísticas demonstram que a variação apresentada não se mostra estatisticamente significativa. Sendo assim, é possível inferir que a medida obtida por meio do experimento de queda livre é uma medida precisa e válida quando comparada à Equação 1, reforçando que, além de preciso, o equipamento apresentou uma alta exatidão.

Tendo em vista que o objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento e validação de um conjunto de módulos para análise do tempo de reação, e que a validação da medida já havia sido demonstrada, foi realizada uma segunda coleta para descrever o desempenho do sistema quando utilizado em aplicações práticas, comparando as medidas coletadas com uma metodologia já utilizada em trabalhos anteriores, que visavam à mesma medida.

Assim como na coleta anterior, foi realizado um teste-t para análise da hipótese, no qual o resultado apresentado foi de 0,895 para o nível de significância: $\alpha = 0,05$. O coeficiente de variação apresentado foi de 0,358 e o coeficiente de correlação intraclass ICC foi de 0,99995.

Assim como no gráfico anterior, podemos notar na Figura 8 que a inclinação da linha de tendência se mantém positiva, indicando que as variáveis estão correlacionadas positivamente, além disso, podemos notar um R^2 de 0,9999.

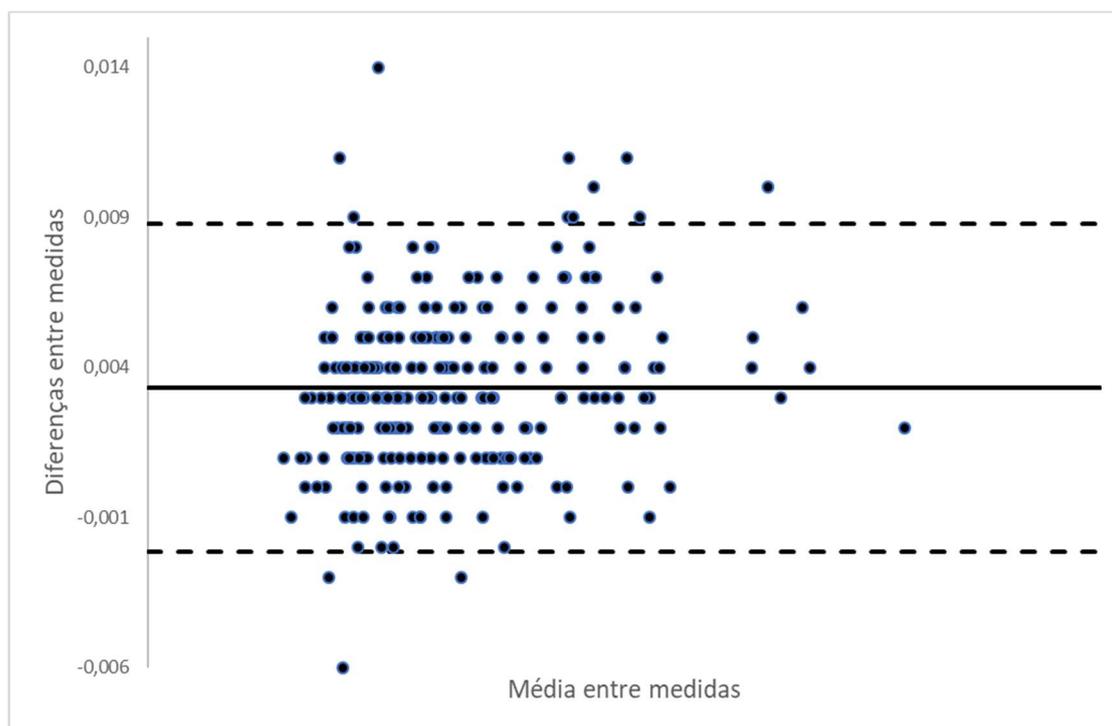
Figura 8 – Gráfico de dispersão: dispositivo x análise de vídeo



Fonte: Autoria própria (2023)

Mesmo o teste-t apresentando um bom nível de correlação, foi utilizado também o teste *Bland Altman* para identificar a concordância entre os dois métodos analisados. As análises estatísticas demonstram que a variação apresentada não se mostra estatisticamente significativa. Sendo assim, é possível inferir que a medida obtida pelo sistema por meio do experimento comparada à obtida com a análise de vídeo pode ser considerada precisa e válida, além disso é possível identificar que existe uma grande concordância entre os métodos testados, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Gráfico Bland Altman nível de concordância dispositivo x análise de vídeo



Fonte: Autoria própria (2023)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa, em desenvolver um conjunto de módulos capaz de registrar o tempo de reação de forma precisa e confiável, pode ser considerado alcançado, uma vez que o protótipo construído e testado foi capaz de apresentar uma solução versátil para análises de tempo de reação com tecnologias e ferramentas confiáveis, tanto em uso experimental quanto em ambiente de aplicação prática.

A segunda meta proposta, de validar as medidas do sistema, também pode ser considerada alcançada, pois conforme demonstrado nos resultados e estatísticas, as medidas apresentadas pelo sistema, quando comparadas a um método tradicional e já validado, não demonstrou diferenças estatisticamente significantes.

Para complementar a validade da medida, ao comparar método de avaliação do sistema com um método de análise de vídeos, o sistema demonstrou uma grande correlação e concordância.

O desenvolvimento e validação de um sistema de análise de tempo de reação se mostra possível no presente trabalho, além disso, pode-se afirmar que esse possui concordância com um método já utilizado, porém o sistema desenvolvido demonstra maior versatilidade, praticidade e mobilidade, quando comparado a equipamentos já existentes.

Quanto à facilidade de uso e tempo na obtenção das medidas, o sistema desenvolvido se mostra superior à análise de vídeos, uma vez que as análises dependem de câmeras de alta velocidade (acima de 120Hz) com alto investimento monetário, dependem de interpretação humana, possuem pontos cegos e análises que demandam tempo; outra vantagem identificada é a capacidade de armazenamento imediato dos testes realizados, tanto localmente no celular, quanto em nuvem, vantagens essas proporcionadas pela escolha e aplicação das tecnologias.

Para trabalhos futuros, pode ser feita melhoria da infraestrutura dos módulos, assim como adição de mais protocolos de treino em parceria com profissionais das ciências do movimento humano, melhorias no aplicativo, tais como, melhor visualização e disposição de resultados e realização de análise de dados; melhorias no sistema de energia, garantindo o envio de nível de carga direto pela aplicação móvel; melhoria nas placas de circuito impresso; testes de bancada para mensurar a autonomia das baterias; e, também, propor uma forma eficaz de realizar a carga de todos os módulos simultaneamente.

REFERÊNCIAS

BARBANTI, V. J. **Teoria e Prática do Treinamento Desportivo**. 2ª edição - São Paulo – SP. Editora Edgard Blucher. 1979.

BATAK PRO. *BATAK*. 2017. Disponível em: <https://www.batak.com/batakpro.htm>. Acesso em 18 mar. 2021

BRUZI, Alessandro Teodoro, *et al.* Comparação do Tempo de Reação entre atletas de basquetebol, ginástica artística e não atletas. **Rev. Bras. Ciênc. Esporte**, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 469-480, abr./jun. 2013.

CROCETTA, Tânia Brusque, *et al.* Investigando a correlação entre a fadiga mental e o tempo de reação total: Estudo piloto. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo. v.11. n.65. p.143-155. Mar./abril. 2017.

DA SILVA, S. L., *et al.* *The anticipatory and reaction time behaviors of the futsal goalkeeper*. **Journal of Physical Education**, v. 32, n. 1, p. e-3218, 16 Nov. 2020.

DANTAS, Jhonatan Gonçalves A. *et al.* Plataforma de hardware livre para auxílio ao ensino da programação. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 6802-6825, feb. 2020.

DE OLIVEIRA, Levy A., MATOS, Matheus V., FERNANDES, Iohanna G. S., NASCIMENTO, Diêgo A., GRIGOLETTO, Marzo E. da Silva. (2021) *Test-Retest Reliability of a Visual-Cognitive Technology (BlazePod™) to Measure Response Time*. **Journal of Sports Science and Medicine** (20), 179 - 180. <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.179>

DONDERS, Franciscus. *Over de snelheid van psychische processen*. Utrecht: Psysiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoolgeschool, 1969.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Espressif*, 2023. ESP-Now Overview. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ESPRESSIF. Application Protocols. 2023. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/api-reference/protocols/index.html>. Acesso em: 28 mar. 2023.

JACOBSON, D., *et al.* *APIs: A Strategy Guide*. 1 ed. Gravenstrein Highway North, Sebastopol, USA: O'Reilly, 2012.

JUNIOR, Pedro Belchior da Silveira; ARNONI, Maria Eliza Brefere. Física dos anos iniciais: estudo sobre a queda livre dos corpos através da metodologia da mediação dialética. **Rev. Bras. Ensino Fís.** [online]. 2013, vol.35, n.3, pp.1-8. ISSN 1806-1117.

LUZ, J.O.C.; SANTOS, M.E.K.; JUNGER, A. P. Educação financeira: um estudo de caso com jovens do ensino médio na cidade de São Paulo. **Revista Rencima**, v. 11, n.3, p. 199-211, 2020.

MACÊDO, Marcos Antonio Rodrigues. *A equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)*. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.32 no.4 São Paulo out./dez. 2010.

MARIN, A. C.; JUNGER, A. P.; ASSAYAG, R. M.; AMARAL, L. H. Cursos superiores tecnológicos no Brasil: o crescimento da modalidade de ensino superior nos últimos anos. **Revista Humanidades e Inovação**, v.6, n. 2 – 2019.

MATOS, Felipe de Oliveira, *et al.* Cargas elevadas de treinamento alteram funções cognitivas em jogadores de futebol. **Rev Bras Med Esporte** vol. 20n. 5. 2013.

MOTA, A. O que é arduino e como funciona? Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/oque-e-arduino-e-como-funciona/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

PRASAD, Ch. Rajendra. *Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using Esp32*. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rajendra-Prasad-Ch/publication/334226986_Internet_of_Things_Based_Home_Monitoring_and_Device_Control_Using_Esp32/links/5d1de7fe458515c11c0ff074/Internet-of-Things-Based-Home-Monitoring-and-Device-Control-Using-Esp32.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022

OLIVEIRA, V. I., MARTINS H. M., NASTARI R. F., SANTOS J. P., Morais, D. M. G., JUNGER A. P., *Teaching using the arduino platform applied to the concept of IoT as support to microcontroller class*, **South American Development Society Journal**, Vol. 07, N. 20, 2021

OLIVEIRA, V. I. ; IBRAHIM, R.; BARROS, E.; MENDONÇA, L.; LIMA, B.; PIAZZETA, H.; GOBBI, A. *MEMS-based ultrasound transducer: CMUT modeling and fabrication process*. **ECS Trans.** 2012, 49, 431–438.

PATRICIO, Thiago Seti, TEIXEIRA, Matheus, MAGNONI, Maria da Graça Mello, BELDA, Francisco Rolfsen. **Internet das coisas (iot): as consequências da computação ubíqua na sociedade** Colloquium Humanarum, Presidente Prudente, v. 15, n. 1, p.83-93jan/mar 2018.

SANTOS, J.P.; JUNGER, A.P.; AMARAL, L.H. ANDRADE, A.A., Metodologias ativas – estudo de caso: retenção e avaliação de resultados. **Revista Educação** V. 14. N.2. 2019.

SANTOS, J.P.; ANDRADE, A. A; FACÓ, J.F.B.; GASI, F.; JUNGER, A.P. Analysis Regarding the Approach of the aspects of Resilience in the Implementation of Industry 4.0, for Employees who have had technological Unemployment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**, Vol-7, Issue-6, Jun- 2020.

SANTOS, Rui; SANTOS, Sara. How to Set an ESP32 Access Point (AP) for Web Server. 2022. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-access-point-ap-web-server/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

STEFANUTO, Iago Muriel, DOS SANTOS, José Aluizio Melquiades, TORRES, Claudines Taveira. *Evolução das Redes Sem Fio: Comparativo Entre Wi-Fi e Bluetooth*. Curso de Tecnologia em Redes de Computadores - Faculdade de Tecnologia de Bauru (FATEC). 2016

YOUNG, M. E.; CRUMER, Angela. **Reaction time**. Manhattan: Kansas State University, 2018.

UDAYASHANKARA, V.; MALLIKARJUNASWAMY, M. S. *8051 MICROCONTROLLER: Hardware, Software and Applications*. 1ª edição. Índia. 2009.