



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

EDIVAN DOS SANTOS NEVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO DE
UMA PALMILHA ELETRÔNICA PARA DETECÇÃO DO TIPO DE
PISADA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICOS**

Manaus
2022

EDIVAN DOS SANTOS NEVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO DE
UMA PALMILHA ELETRÔNICA PARA DETECÇÃO DO TIPO DE
PISADA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICOS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de conclusão de curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro em Eletrônica.

Orientador: Cláudio Gonçalves, Dr.

Manaus
2022

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia – EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa, Dr.

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal, Me.

Diretora da Escola Superior de Tecnologia Eletrônica:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo, Me.

Coordenador do Curso de Engenharia:

Bruno da Gama Monteiro Me.

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 21/01/2022

Prof. Cláudio Gonçalves, Dr (Orientador)

Prof. Bruno da Gama Monteiro Me. (Avaliador 1)

Prof. Fábio de Souza Cardoso, Dr (Avaliador 2)

CIP – Catalogação na Publicação

Neves, Edivan dos Santos

Desenvolvimento de um protótipo de baixo custo de uma palmilha eletrônica para detecção do tipo de pisada utilizando sensores piezoelétricos / Edivan dos Santos Neves; [orientado por] Prof. Claudio Gonçalves – Manaus: 2022.

65 f. p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica). Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1. Classificação do tipo de pisada, 2. Sensores Piezoelétricos
 3. *ESP 32 WIFI LORA*, 4. *IoT*.
- I. Gonçalves, Cláudio.

EDIVAN DOS SANTOS NEVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO DE
UMA PALMILHA ELETRÔNICA PARA DETECÇÃO DO TIPO DE
PISADA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICOS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade Estadual do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro em Eletrônica.

Nota obtida: 9,7 (NOVE VÍRGULA SETE)

Aprovada em 21 / 01 / 2022.

Área de concentração: Sistemas embarcados, Internet das Coisa/(IoT).

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Cláudio Gonçalves, Dr.


Avaliador: Bruno da Gama Monteiro Me.


Avaliador: Fábio de Souza Cardoso, Dr.

Manaus
2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai e minha mãe, minha esposa Maiane Lima Soares que me apoiou durante toda minha caminhada e a todos os meus familiares e amigos que direta ou indiretamente me ajudaram nesta caminhada. Meu muito obrigado.

RESUMO

O presente documento tem a finalidade de apresentar o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo de uma palmilha eletrônica para detecção do tipo de pisada utilizando sensores piezoelétricos, no qual foi desenvolvido em bancada de laboratório. Este sistema tem a finalidade de coletar dados utilizando sensores piezoelétricos instalado nas palmilhas e em conjunto com a placa *ESP32 WIFI LORA* efetuar uma prévia de identificação do tipo de pisada de um indivíduo, sendo elas: pé normal, pé plano, pé cavo, pé supinado e pronada, O teste será executado através de passos simples sendo este número de passos escolhido pelo usuário e após os passos o sistema irá coletar e analisar o resultado. O sistema será em modelo real e a transmissão de dados será executada por rede de dados *Wifi* utilizando a placa *ESP32 WIFI LORA* como o meio de transmissão. Primeiramente, inicia-se com a fundamentação teórica sobre o Pé humano, as classificações dos tipos de pisada, tipos de baropodometria e posteriormente das tecnologias utilizadas no projeto, sendo elas: medição da tensão utilizando os sensores piezoelétricos, desenhos das palmilhas em teste e posicionamento dos sensores utilizando *software inventor*, placa de controle e desenvolvimento do circuito com *ESP32 WIFI LORA* e *Softwares* como: *Arduino IDE*, *Inventor*, *XAMPP*, *Xamarin.Forms*, *Visual Studio IDE* e o *software* de *design Fritzing*. Em seguida, métodos e materiais no qual mostra as etapas de desenvolvimento do projeto e os materiais que foram utilizados, assim como a montagem do projeto, desenhos das palmilhas e circuitos eletrônicos, fluxograma do projeto e dos testes efetuados para validação do mesmo, no qual a palmilha foi instalada em um tênis de número 42 e executado os testes para análise. Subsequentemente, é apresentado através do aplicativo de mobile o resultado da análise, assim como uma prévia de identificação do tipo de pisada através de uma interface gráfica para visualização dos resultados. Finalmente, conclui-se que por meio dos dados coletados utilizando sensores piezoelétricos, juntamente com a placa *ESP32 WIFI LORA*, *software* de comunicação, banco de dados em *IoT* (internet das coisas) e aplicativo *mobile*, torna-se uma alternativa viável de projeto de baixo custo de uma palmilha eletrônica para detecção do tipo de pisada utilizando sensores piezoelétricos.

Palavras-chaves: Classificação dos tipos de pisadas, Sensores piezoelétricos, *ESP32 WIFI LORA*, *IoT*.

ABSTRACT

This document aims to present the development of a low-cost prototype of an electronic insole to detect the type of footsteps using piezoelectric sensors, which was developed in a laboratory bench. This system has the purpose of collecting data using piezoelectric sensors installed in the insoles and together with the ESP32 WIFI LORA board to carry out a preview of the identification of the type of footsteps of an individual, namely: normal foot, flat foot, cavus foot, supinated and pronated foot, The test will be performed through simple steps, this number of steps being chosen by the user and after the steps the system will collect and analyze the result. The system will be in real model and the data transmission will be carried out by Wifi data network using the ESP32 WIFI LORA board as the transmission medium. First, it starts with the theoretical foundation on the human foot, the classifications of the types of footsteps, types of baropodometry and later the technologies used in the project, namely: voltage measurement using piezoelectric sensors, designs of insoles under test and positioning of sensors using inventor software, control board and circuit development with ESP32 WIFI LORA and software such as: Arduino IDE, Inventor, XAMPP, Xamarin.Forms, Visual Studio IDE and Fritzing design software. Then, methods and materials in which it shows the stages of project development and the materials that were used, as well as the assembly of the project, drawings of the insoles and electronic circuits, flowchart of the project and the tests carried out for its validation, in which the insole was installed on a shoe number 42 and tests were carried out for analysis. Subsequently, the result of the analysis is presented through the mobile application, as well as a preview of the identification of the type of footsteps through a graphical interface to visualize the results. Finally, it is concluded that through the data collected using piezoelectric sensors, together with the ESP32 WIFI LORA board, communication software, IoT database (internet of things) and mobile application, it becomes a viable alternative for a project design low cost of an electronic insole to detect the type of step using piezoelectric sensors.

Keywords: Classification of footsteps types, Piezoelectric Sensor, ESP 32 WIFI LORA, IoT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases da marcha	14
Figura 2 – Anatomia do pé	15
Figura 3 – Classificação dos tipos de pisada	16
Figura 4 – Orçamentos de plataformas de baropodometria.....	17
Figura 5 – Funcionamento do sensor piezoelétrico	18
Figura 6 – Funcionamento do sensor piezoelétrico	19
Figura 7 – <i>ESP32 WIFI LORA</i>	20
Figura 8 – <i>IDE</i> Arduino.....	21
Figura 9 – <i>Software inventor professional 2020</i>	21
Figura 10 – <i>XAMPP Control Panel</i>	22
Figura 11 – <i>Visual Studio</i> usando <i>Xamarin</i>	23
Figura 12 – <i>Visual Studio</i>	23
Figura 13 – Tela de <i>Design</i> da <i>Fritzing</i>	24
Figura 14 – Sequência do Sistema do Projeto	25
Figura 15 – Pagina <i>Web</i> Arduino	29
Figura 16 – Ícone de instalação do arduino	29
Figura 17 – Selecionando o endereço da biblioteca <i>ESP32 WIFI LORA</i>	30
Figura 18 – Instalando a biblioteca <i>ESP32</i>	30
Figura 19 – Confirmando a biblioteca <i>ESP32</i>	31
Figura 20 – Pagina <i>Web Autodesk</i> produtos	31
Figura 21 – Pagina <i>Web Autodesk</i>	32
Figura 22 – <i>Site Web Autodesk download</i>	32
Figura 23 – Ícone do <i>Software Inventor</i>	33
Figura 24 – <i>Site de download XAMPP</i>	33
Figura 25 – <i>Site de download Xamarin.Forms</i>	34
Figura 26 – <i>Site de download Visual Studio IDE</i>	35
Figura 27 – <i>Site de download Software Fritzing</i>	36
Figura 28 – “Tinta no Pé”	37
Figura 29 – Desenho palmilha com 15 sensores e seus estágios.....	37
Figura 30 – Fases da montagem da palmilha N42 - 15 sensores.....	38
Figura 31 – <i>Pdf</i> da palmilha N42 – 15 sensores	39
Figura 32 – Construção da palmilha N42 - 15 sensores	39

Figura 33 – Montagem da palmilha e testes	40
Figura 34 – Medição dos sensores piezoelétricos	40
Figura 35 – Montagem de palmilhas x sensores	41
Figura 36 – Palmilha Direita e Esquerda.....	42
Figura 37 – Divisão dos grupos de medição.....	43
Figura 38 – Desenho Placa Eletrônica e ligações.....	43
Figura 39 – Palmilha Direita e Esquerda.....	44
Figura 40 – Diagrama <i>Pinout ESP32 WIFI LORA V2</i>	44
Figura 41 – Teste de comunicação	45
Figura 42 – Acionamento dos sensores	46
Figura 43 – Sensores início/fim coleta de dados	47
Figura 44 – <i>ESP32 WIFI LORA Conectado wifi</i>	48
Figura 45 – Programa <i>IDE</i> conversão <i>string</i>	48
Figura 46 – Programa <i>Xampp</i> com função <i>split</i>	49
Figura 47 – Tabela <i>Xampp</i> Preenchida.....	49
Figura 48 – Sequência de comunicação	50
Figura 49 – Tela principal do aplicativo <i>mobile</i>	51
Figura 50 – Tela “opções” do aplicativo <i>mobile</i>	51
Figura 51 – Tela resultado teste <i>mobile</i>	52
Figura 52 – Circuito montado com caixa de proteção.....	53
Figura 53 – Palmilhas Montadas	53
Figura 54 – Teste de Cola.....	54
Figura 55 – Teste de conforto.....	55
Figura 56 – Teste em execução	55
Figura 57 – Palmilha de testes construídas.....	56
Figura 58 – Resultado do teste de pisada	57
Figura 59 – Resultado pisada normal	58
Figura 60 – Resultado pisada pronada.....	58
Figura 61 – Resultado pisada supinada	59
Figura 62 – Resultado pisada de pé chato	59
Figura 63 – Resultado pisada cavo	60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1 O PÉ	14
1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PISADA	15
1.3 BAROPODOMETRIA	16
1.4 PRESSÃO	17
1.5 SENSORES DE PRESSÃO	18
1.6 <i>ESP32 WIFI LORA</i>	19
1.7 <i>SOFTWARES</i>	20
1.7.1 <i>Arduino IDE</i>	20
1.7.2 <i>Inventor</i>	21
1.7.3 <i>XAMPP</i>	22
1.7.4 <i>Xamarin.Forms</i>	22
1.7.5 <i>Visual Studio IDE</i>	23
1.7.6 <i>Fritzing</i>	24
2 MÉTODOS E MATERIAIS	25
2.1 MATERIAIS UTILIZADOS NO PROJETO	27
3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	28
3.1 INSTALAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> E EXTENSÃO	28
3.1.1 <i>Arduino IDE</i>	28
3.1.2 Instalação da Placa <i>ESP 32 WIFI LORA</i>	29
3.1.3 <i>Inventor</i>	31
3.1.4 <i>XAMPP</i>	33
3.1.5 <i>Xamarin.Forms</i>	33
3.1.6 <i>Visual Studio IDE</i>	34
3.1.7 <i>Fritzing</i>	35
3.2 ANÁLISES, DESENHOS E LEVANTAMENTOS	36
3.2.1 Teste “Tinta no Pé”, desenhos primários no <i>software inventor</i> e corte do EVA	36
3.2.2 Montagem da palmilha eletrônica e testes com sensores	39
3.2.3 Desenhos, montagens e testes com palmilhas de vários modelos	41
3.3 TABELAS DE TENSÃO, MONTAGEM DA PLACA, DESENHOS ELETRÔNICOS E TESTES DE COMUNICAÇÃO	42
3.3.1 Montagem palmilha completa e Tabela de tensão	42
3.3.2 Desenho e montagem da placa eletrônica	43
3.4.1 Coleta de dados	45
3.4.2 Programa <i>Arduino IDE e Xampp</i>	47
3.4.3 <i>Azure</i> e aplicativo com <i>Xamarin Forms</i>	50
3.4.4 Montagem e Testes de Pisada	52
3.4.5 Teste de conforto, caminhadas e construção de simulação de testes	54
4 RESULTADOS OBTIDOS	57
4.1 RESULTADO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DO TIPO DE PISADA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICO	57

CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	62
ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO <i>ESP32 WIFI LORA</i>	64
ANEXO B - CÓDIGO COMPLETO DA SEGUNDA TELA	65

INTRODUÇÃO

Diversos estudos e técnicas foram desenvolvidos para ajudar pessoas que possuem irregularidades na pisada. O andar cotidiano, a necessidade de ficar em pé por longo período e a execução de atividade física como caminhada ou corrida, aliados ao peso da pessoa, demandam o consumo de energia e grande esforço físico. Uma das técnicas utilizadas para ajudar na análise e identificação do tipo de pisada é a utilização de palmilha eletrônica (ou palmilha instrumentada), a qual possui sensores específicos que operam em função da pisada, enviando os sinais adquiridos para uma central de inteligência artificial que faz a classificação adequada do tipo de pisada: supinada, pronada, cava, chata e normal.

Um estudo com cerca de 26.339 brasileiros identificou que, dependendo da idade, 13,5% a 34,2% dos homens e 22,2% a 55,1% das mulheres têm dores nos pés. A distribuição percentual dessas dores é a seguinte: 14% têm os pés chatos, 16,9% têm os pés cavos, 34,9% têm pés que apontam para fora (supinado) e 8,7% dos pés apontam para dentro (pronado). Esse estudo indica anormalidades na pisada que necessitam de avaliação e classificação adequadas para posterior tratamento por profissional especializado (CASE, 2012). Após a devida avaliação do tipo de pisada pode-se indicar o uso de palmilha ou calçado adequados para tornar a pisada normal.

Neste contexto, a pesquisa desenvolvida teve por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo de uma palmilha eletrônica para detecção e classificação da pisada utilizando sensores piezoelétricos. Os sensores piezoelétricos foram utilizados para medição da pressão plantar, a partir da medição de tensão elétrica. Foi utilizado *Software Inventor* para elaborar o modelo da palmilha e posicionar os sensores no protótipo da palmilha. Faz parte do protótipo uma placa de controle, na qual foi utilizado a *ESP32 WIFI LORA* e os softwares utilizados foram: *Arduino IDE*, *XAMPP*, *Xamarin.Forms* e *Visual Studio IDE* e *design Fritzing*.

Essa pesquisa mostra-se relevante no sentido de contribuir com a saúde pública para ajudar profissionais médicos e fisioterapeutas na classificação da pisada de diversos usuários, utilizando uma palmilha instrumentada de baixo custo.

Deve-se considerar, ainda, que o projeto desenvolvido contribuiu com um estudo bibliográfico e laboratorial e com a sistematização da produção científica e a produção de novos conhecimentos a respeito de palmilha eletrônica utilizando sensores piezoelétricos.

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos: referencial teórico, métodos e materiais, implementação do projeto e resultados obtidos.

No primeiro capítulo, iniciou-se com a fundamentação teórica sobre o pé humano e a classificação dos tipos de pisada, posteriormente revisando assuntos como: baropodometria, conceito de pressão, sensores de pressão, *ESP32 WIFI LORA* e finalizando com os *softwares*: *Arduino IDE*, *Inventor*, *XAMPP*, *Xamarin.Forms*, *Visual Studio IDE* e *Fritzing*.

No segundo e terceiro capítulos foram mostrados os métodos utilizados, desenvolvimento e implementação do projeto para testes e coletas de dados visando alcançar o objetivo final. Posteriormente, os materiais utilizados no projeto, em seguida as instalações dos *softwares* utilizados, o desenvolvimento dos desenhos das palmilhas com o posicionamento dos sensores utilizando o *software inventor*, circuitos eletrônicos utilizando o *software fritzing*, montagem da placa eletrônica real com caixa de proteção e fita de fixação, instalação no tênis para teste e coleta de dados e confecção das palmilhas de simulação.

No quarto capítulo constam os resultados da coleta de dados e tipos de análises efetuados para se ter a classificação dos tipos de pisada, sendo que usando como base o estudo feito no referencial teórico e conhecimento adquirido ao decorrer do desenvolvimento do projeto e das dificuldades que surgiram ao decorrer do mesmo. E, por fim, a conclusão do projeto executado com base nos resultados obtidos.

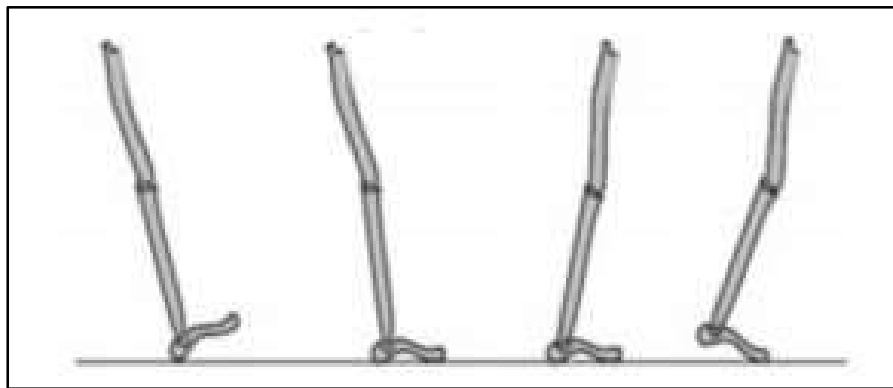
1 REFERENCIAL TÉORICO

1.1 O PÉ

Os pés humanos são de grande importância, suportam o corpo e são responsáveis pela sua mobilidade. Anomalias nos pés podem provocar desequilíbrio ou queda do corpo (SHIMABUKO, 2014).

Como ilustrado na Figura 1, ao apoiar o peso corporal sobre os pés, tem-se uma força gravitacional atuando, a qual causa estímulo muscular e o nosso corpo fica em equilíbrio, posteriormente pode-se observar a função biomecânica do pé na fase da marcha, quando o calcanhar toca o solo e terminando com a retirada do hálux do solo (FLORES, 2016).

Figura 1 – Fases da marcha



Fonte: (TAO et al., 2012, p.2257)

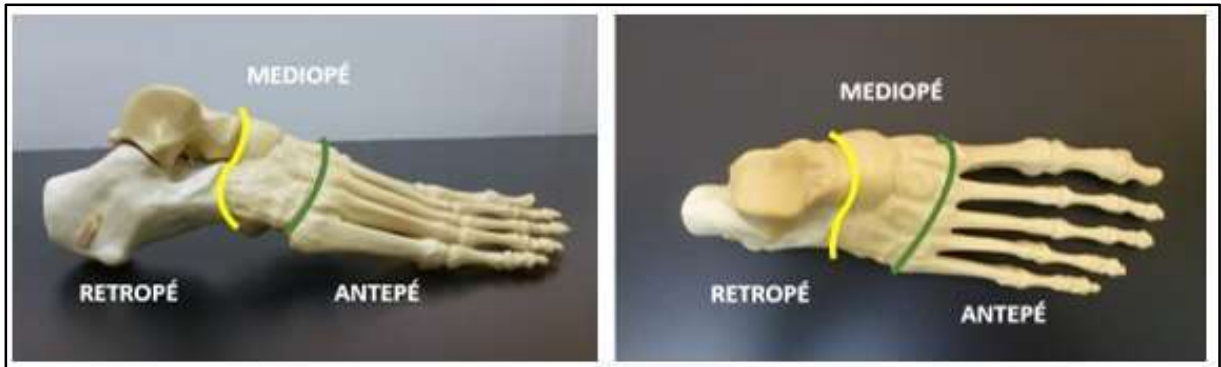
O pé humano é uma estrutura muito complexa e importante, sendo formado por músculos, ligamentos, articulações sinoviais e numerosos ossos, adapta-se em vários tipos de superfícies, regulares ou irregulares, atuando como uma alavanca rígida para impulsionar o corpo durante a marcha (LEDOUX; HILLSTROM, 2002).

Cada pé humano contém 26 ossos divididos em: parte posterior do pé (retropé), a qual é composta pelo tálus e o osso calcâneo; a região do meio do pé (mediopé) é formada por cinco ossos tarsais (navicular, cubóide e três cuneiformes) e a parte anterior do pé (antepé) pode ser descrita como a junção de cinco ossos metatarsais e os dedos, os quais são constituídos por 14 falanges e cada dedo formado por três falanges, com exceção do 1º (hálux) que é constituído por duas falanges.

“Esse membro é dividido em dois arcos, um longitudinal (constituído por um arco medial e um lateral) e outro transversal (constituído por um arco proximal e um distal)” (GOULD, 1988).

Pode-se dividir o pé em três regiões principais: retropé, mediopé e antepé, conforme Figura 2.

Figura 2 – Anatomia do pé



Fonte: (BARBAN, 2020)

O retropé é formado pelos ossos tálus e calcâneo e, juntos com o navicular e cubóide, geram o movimento de inversão e eversão, também permitem a mobilidade livre do arco longitudinal do pé, sendo esta função de grande importância para marcha funcional e indolor. O mediopé tem em sua formação os ossos navicular, cubóide e cuneiformes (medial, intermédio e lateral) e o antepé é formado com cinco metatarsais e cinco falanges ósseas, no qual realiza o movimento de extensão e flexão, controlando os tendões extensores e flexores, assim como interósseos e lumbricais, sendo estes responsáveis pela adaptação a irregularidades do solo durante uma caminhada ou marcha (BARBAN, 2020).

1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PISADA

As pisadas podem ser classificadas em normal e anormal, sendo que a pisada anormal subdividida em: plana (pé plano ou chato), cava (pé cavo), supinada (pé supinado ou varo) e pronada (pé vago). O pé plano, também conhecido por pé chato, é uma condição que a curvatura (arco plantar) da parte interna do pé é quase inexistente, ou seja, é notadamente visível a diminuição do arco plantar, já que a sola do pé toca inteiramente o chão, ou seja, sem deixar o formato 'C' na pegada e normalmente ocorre em ambos os pés (ORTOPEDIA ESPECIALIZADA, 2021).

No caso do pé cavo (pisada cava) a sua característica é que o arco do pé é bastante acentuado, com isso visualmente parece que o pé está sendo 'puxado' para cima, em alguns casos mais fortes, sendo a curvatura do arco tão grande que a parte plantar do pé não toca no chão.

O pé supinado, por sua vez, tem a sua superfície de contato acentuado no lado externo do pé tendo o impulso na base do dedinho, neste caso pode ocorrer lesões nos joelhos, pés e costas. Quanto ao pé pronado, o mesmo é o oposto do supinado, o típico "pisar para dentro" com pisada na borda interna do pé, ou seja, tem-se o arco do pé pequeno (ASICS, 2021), como pode ser visto na Figura 3 abaixo que mostra a classificação dos tipos de pisada.

Figura 3 – Classificação dos tipos de pisada



Fonte: (DOCTOR FEED, 2020)

1.3 BAROPODOMETRIA

Como técnica para análise e classificação dos tipos de pisadas está a baropodometria, a qual utiliza uma base tipo plataforma com sensores e *software* para análise da pressão plantar através de mapeamento. Em termos do equipamento baropodômetro existem três modelos no mercado: o modelo plataforma que mede a pressão do pé no solo (ROSARIO, 2014), o modelo em palmilha que são utilizados dentro dos calçados para medir a pressão entre o pé e o calçado e em posição estática e o modelo plataforma longa no qual trata-se de uma plataforma alongada para executar uma caminhada simples (SILVA, 2015).

Os resultados coletados nestes tipos de análise são pressão plantar do usuário, mostrando mapa de calor (paleta de cores) e dados numéricos, contudo cada fabricante tem o seu próprio *software* de análise e teste, sendo que este método de exploração indica as anormalidades na

postura através do resultado obtido das análises das altas pressões plantares em áreas distintas dos pés, podendo-se classificar o tipo de anormalidade ou não na pisada. Dependendo do tipo anormalidade, pode-se ter problemas como fraturas por estresse, lesões de várias estruturas articulares e músculo-tendíneas no complexo tornozelo-pé, joelho, quadril e complexo lombopélvico (ROSARIO, 2014).

No Brasil o valor de um baropodômetro está na faixa de R\$ 13.900,00 a R\$ 28.500,00 como pode ser visto na Figura 4 e varia o valor conforme suas funções e aplicativos embarcados. Comparando-se ao salário mínimo, pode-se afirmar que é um valor elevado, o que dificulta a aquisição desse equipamento e, conseqüentemente, aumenta a demanda pelo mesmo em clínicas especializadas.

Figura 4 – Orçamentos de plataformas de baropodometria

	
<p>R\$13.900 12x R\$ 1.320³⁸ Equipamentos, Baropodômetro, Prensa A Vácuo, Lixadeira, Etc</p>	<p>R\$28.500 12x R\$ 2.753³⁸ Baropodômetro E Software+notebook (análise)</p>

Fonte: (MERCADO LIVRE, 2021)

1.4 PRESSÃO

Quando definimos a pressão, pode-se afirmar que é uma grandeza escalar no qual é dada pela razão entre a força aplicada perpendicularmente sobre uma superfície sobre a área da superfície, ou seja, como pode ser visto na equação 1, no qual **P** é a pressão medida, **F** é a força no qual pode ser dividida em **m** de massa multiplicando por **g** da gravidade do local, normalmente fixada em 10 m/s² e finalizando sobre **A** no qual é a área que sofre a pressão.

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow P = \frac{mg}{A}$$

(Equação 1)

Quando referenciamos grandezas, pode-se dizer que é tudo aquilo que pode ser contado ou medido, como o tempo, temperatura, idade entre outros. As grandezas são classificadas em: diretamente proporcionais e inversamente proporcionais, no caso da pressão são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, se dobramos uma das grandezas temos que dividir a outra por dois, se triplicamos uma delas devemos dividir a outra por três e assim sucessivamente (BRASIL ESCOLA, 2021).

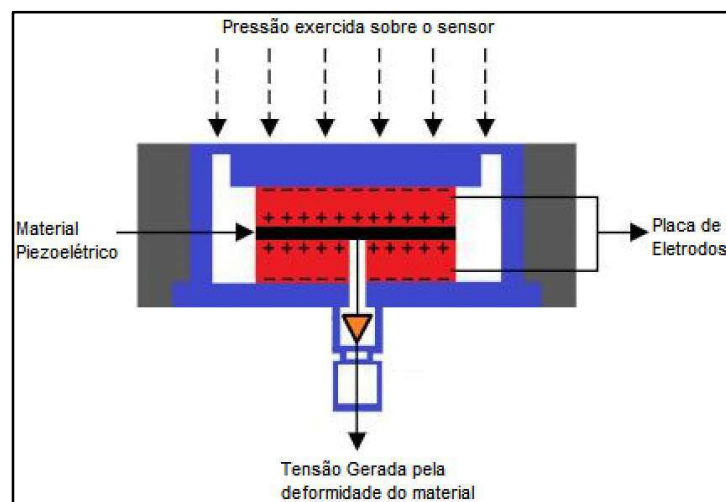
No sistema internacional de unidades (S.I.), a pressão é medida em N/m^2 (newton por metro quadrado) o qual damos o nome de pascal (Pa), isso significa que $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

1.5 SENSORES DE PRESSÃO

O sensor escolhido para o projeto é o sensor piezoelétrico, componente de baixo custo, fácil aquisição, fácil instalação e manuseio, o que atende o objetivo do projeto no qual descreve o desenvolvimento de uma palmilha eletrônica de baixo custo para análise e classificação de pisada.

O sensor piezoelétrico é um gerador de sinal elétrico em função de uma força aplicada sobre o mesmo, sendo constituído por duas camadas de cristais piezoelétricos as quais, quando submetidas a forças de compressão, geram cargas elétricas entre as camadas de cristais e coletadas por eletrodos colocados elas (HBK, 2021), como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Funcionamento do sensor piezoelétrico



Fonte: Próprio Autor

1.6 ESP32 WIFI LORA

A placa de desenvolvimento *ESP32 WIFI LORA* trata-se de um módulo eletrônico capaz de integrar várias possibilidades e atuações, sendo que quando se trata de comunicação o mesmo possui três: *wifi*, *bluetooth* e rede de comunicação *lora* (Alcança 3,6Km sem barreiras), sendo que entre suas principais características pode-se citar o tamanho reduzido e dimensionamento, com isso utilizando-se em vários desenvolvimentos de projetos relacionado a compatibilidade e dimensão (*HELTEC AUTOMATION*, 2021), como pode ser visto na Figura 6 no qual mostra as características técnica da *ESP32 WIFI LORA*.

Figura 6 – Funcionamento do sensor piezoelétrico

Resource	Parameter		
Master Chip	ESP32(240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS)		
Wireless Communication	Wi-Fi	Bluetooth	LoRa
	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification	Node-to-node communication or LoRaWAN
LoRa Chip	SX1276/SX1278		
LoRaWAN Area	hardware version	Support frequency	
	LF	EU433	
		CN470	
	HF	IN865	
		EU868	
		US915	
AU915			
	KR920		
	AS923		
LoRa Maximum Output Power	19dB ± 1dB		
Hardware Resource	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1; 12-bits ADC input x 18; 8-bits DAC output x 2; GPIO x 22, GPI x 6		
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH		
RAM	520KB internal SRAM		
Interface	Micro USB x 1; LoRa Antenna interface(IPEX) x 1; 18 x 2.54 pin x 2		
Maximum Size (Including protruding parts such as switch and battery compartment)	51 x 25.5 x 10.6 mm		
USB to Serial Chip	CP2102		
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)		
Solar Energy	x		
Battery Detection Circuit	√		
External Device Power Control (Vext)	√		
Low Power	Deep Sleep 800µA		
Display Size	0.96-inch OLED		
Working Temperature	-40~80°C		

Fonte: (*HELTEC AUTOMATION*, 2021)

O que motivou a escolha desse módulo eletrônico, pode-se citar como principais características o tamanho, peso, a comunicação e velocidade de processamento, sendo que o mesmo também possui o *software* livre e existem diversos materiais didáticos de livre acesso para consulta na *internet*, com isso facilitando em dificuldades técnicas e aquisição de material do projeto, outro motivo é o custo de aplicação, quando trata-se de microcontroladores o arduino e a *ESP32 WIFI LORA* são mais utilizados em projetos.

O arduino em relação ao seu tamanho e peso não é adequado para o projeto e suas comunicações necessitam de *shields*, com isso aumentando ainda mais o valor e dimensionamento do projeto, abaixo pode ser visto na Figura 7 uma *ESP32 LORA WIFI*.

Figura 7 – ESP32 WIFI LORA



Fonte: (HELTEC AUTOMATION, 2021)

A *IDE* de programação utiliza-se a mesma do arduino, no qual foi desenvolvido como multiplataforma e funciona com *Windows*, *Mac OS* e *Linux*, com isso tendo uma grande vantagem quando se trata de programação e a *IDE* possui um verificador de erro que verifica se existem erros nos códigos antes de copilar, facilitando a programação em si (USINA IND. COMÉRCIO E IMPORTAÇÃO, 2021).

1.7 SOFTWARES

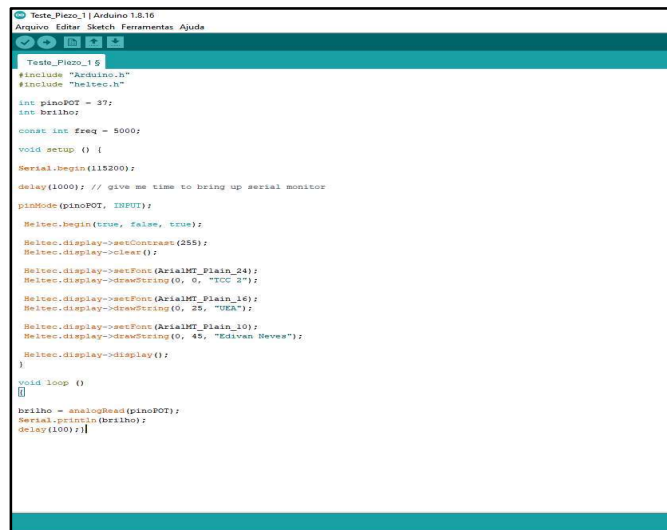
1.7.1 Arduino *IDE*

O *Software* de programação da *ESP32 WIFI LORA* utiliza-se da linguagem C++ e emprega um compilador GCC que é o mesmo utilizado na placa arduino, sendo esta uma das placas mais utilizado em projetos de pesquisa, devido ao fato de ter um ambiente de programação aberto e com meios para adicionar outros fabricantes na *IDE* arduino.

A *IDE* arduino não necessita de *firmware*, pois o programa é gravado diretamente na memória do programa, com isso resultando em um melhor rendimento da placa e capacidade de execução, contudo vale salientar que no *IDE* arduino não existe gerenciamento de *hardware* e *software* (OLIVEIRA, 2017).

Para se ter acesso ao programa deve executar o *download* no *site* oficial do arduino basta incluir o endereço <http://www.arduino.cc> na página do navegador. As principais funções existentes no ambiente de programa é o *setup()*, que utiliza-se para iniciar microcontrolador, a função *loop()* onde o programa deve ser desenvolvido para que possa rodar o programa, sendo que o mesmo fica em *loop* sem fim. Segue um exemplo na Figura 8 da *IDE* arduino (BLUM, 2016).

Figura 8 – IDE Arduino



```

Teste_Piezo_1 | Arduino 1.8.16
Arquivo  Editar  Sketch  Ferramentas  Ajuda

Teste_Piezo_1.g
#include "Arduino.h"
#include "Hitec.h"

int pinoPOT = 37;
int brilho;

const int freq = 5000;

void setup () {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000); // give me time to bring up serial monitor
  pinMode(pinoPOT, INPUT);
  Hitec.begin(true, false, true);
  Hitec.display->setContrast(255);
  Hitec.display->clear();
  Hitec.display->setFont(ArialMT_Plain_24);
  Hitec.display->drawString(0, 0, "TCC 2");
  Hitec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
  Hitec.display->drawString(0, 25, "TCC");
  Hitec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Hitec.display->drawString(0, 45, "Edilson Neves");
  Hitec.display->display();
}

void loop ()
{
  brilho = analogRead(pinoPOT);
  Serial.println(brilho);
  delay(100);}

```

Fonte: Próprio Autor

1.7.2 Inventor

Para que possa ser fabricado a palmilha e analisar o posicionamento correto dos sensores, foi utilizado o *software inventor* que se trata de um programa desenvolvido pela Autodesk no qual permite o desenvolvimento de desenhos virtuais tridimensionais, sendo que sua utilização não se baseia apenas para desenvolvimento de modelagem de peças como também permite ao usuário montar estruturas complexas e simular movimentos.

Figura 9 – Software inventor professional 2020



Fonte: Próprio Autor

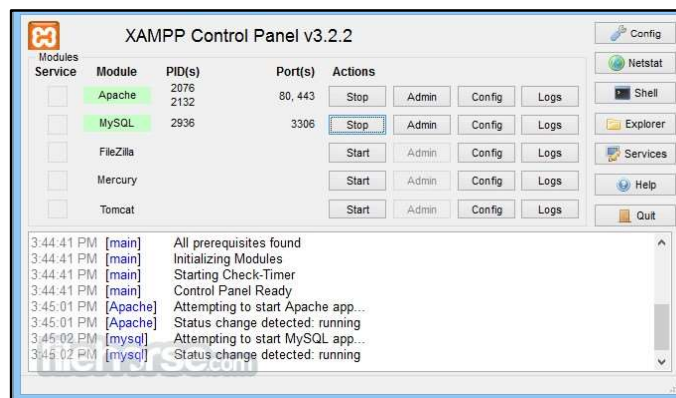
Atualmente o *software inventor professional* está na versão 2022, contudo o *software* utilizado no desenvolvimento da palmilha do projeto foi a versão 2020, como pode ser visto na Figura 9. Ao executar o download a *autodesk* fornece *software* para estudantes e educadores

sendo este acesso educacional gratuito é apenas para fins educacionais, com algumas aplicações limitadas, com isso, caso o usuário queira utilizar todas as ferramentas teria que adquirir a versão paga (AUTODESK, 2021).

1.7.3 XAMPP

O *software XAMPP* trata-se de um pacote com os principais servidores de código aberto sendo que entre eles *FTP*, banco de dados *MySQL* e *Apache* no qual suporta as linguagens *PHP* e *Perl*. O *XAMPP* pode operar nos sistemas operacionais *Windows*, *Linux*, *Mac* e *Solares* não sendo necessário instalar apenas extrair o arquivo compactado no disco rígido no computador ou local de fácil acesso. Atualmente o *software* está na versão 8.0.13 no qual foi atualizado no ano de 2021 e pode ser feito o *download* no site oficial <https://xampp.br.uptodown.com>, segue um exemplo da tela principal do *XAMPP* na Figura 10 (UPTODOWN, 2021).

Figura 10 – XAMPP Control Panel



Fonte: Próprio Autor

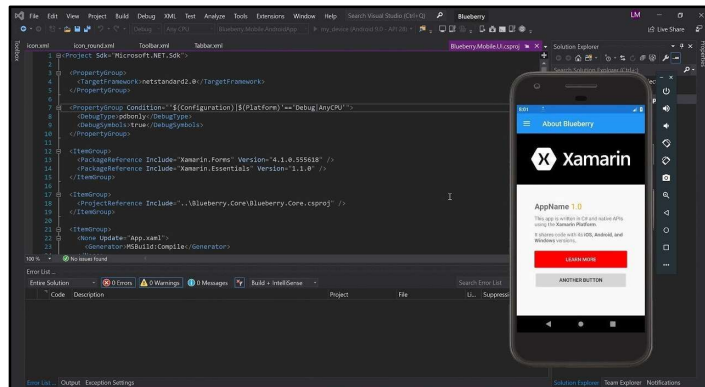
O *Software XAMPP* será utilizado no projeto para coletar os dados da placa *ESP32 WIFI LORA* no qual enviará por *wifi* e abastecerá o banco de dados com isso passando para a rede interna e alimentando o aplicativo.

1.7.4 Xamarin.Forms

O *Xamarin.Forms* é uma plataforma de desenvolvimento *mobile*. É possível desenvolver para *iOS*, *Android* e *Windows*. Ele permite escrever código compartilhado em *C#* e *XAML*. Neste projeto o *Xamarin* irar ser desenvolvido juntamente com o *Visual Studio* no desenvolvimento do aplicativo *mobile*. Atualmente o *software* está na versão 2019 e pode ser

feito o *download* no site do *visual studio* <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/xamarin/>, segue um exemplo da tela do *visual studio* usando o *Xamarin* para desenvolvimento de um aplicativo *mobile* na Figura 11 (VISUALSTUDIO, 2021). O objetivo da plataforma *Xamarin* é usar a mesma linguagem, *API* e estrutura de dados para compartilhar o código da aplicação na plataforma: *Windows e Android*.

Figura 11 – *Visual Studio* usando *Xamarin*

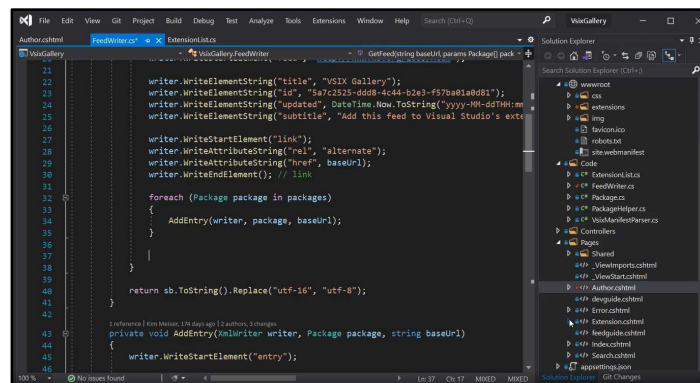


Fonte: Próprio Autor

1.7.5 Visual Studio IDE

O *Visual Studio* trata-se de uma *IDE* no qual tem muitos recursos que dá suporte aos desenvolvimentos de *softwares*, sendo que pode ser usado em modo de edição, depuração e criação de código e etc. também pode-se citar os compiladores, ferramentas de conclusão de código, *designers* gráficos e muitos outros recursos para aprimorar o processo de desenvolvimento de *software* (MICROSOFT, 2019).

Figura 12 – *Visual Studio*



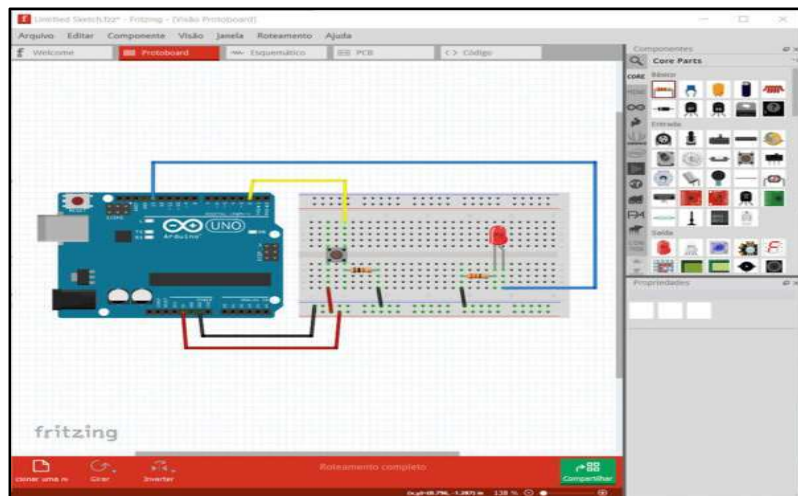
Fonte: Próprio Autor

Como citado acima no item 1.7.4 o *visual studio* será desenvolvido juntamente com o *Xamarin* na parte de desenvolvimento do aplicativo e decisão de resultado, recebendo os dados coletados, analisando e plotando o resultado da classificação do tipo de pisada, na Figura 12 acima pode se ver um exemplo da tela de comando do *visual studio*.

1.7.6 Fritzing

Para desenhar o os componentes no *protoboard* e o esquemático eletrônico do projeto, foi utilizado o *Fritzing*, sendo este desenvolvido na alemanha e lançado sua versão em 2008, tratando-se de um *software* de código aberto muito utilizado devido a sua forma simples e rápida que permite a criação dos *layouts* e esquemáticas das placas eletrônicas, sendo que também possível desenhar placas de circuito impresso (*PCIs* ou *PCBs*) através dos esquemáticos desenvolvidos (FILIPEFLOP, 2021).

Figura 13 – Tela de Design da Fritzing



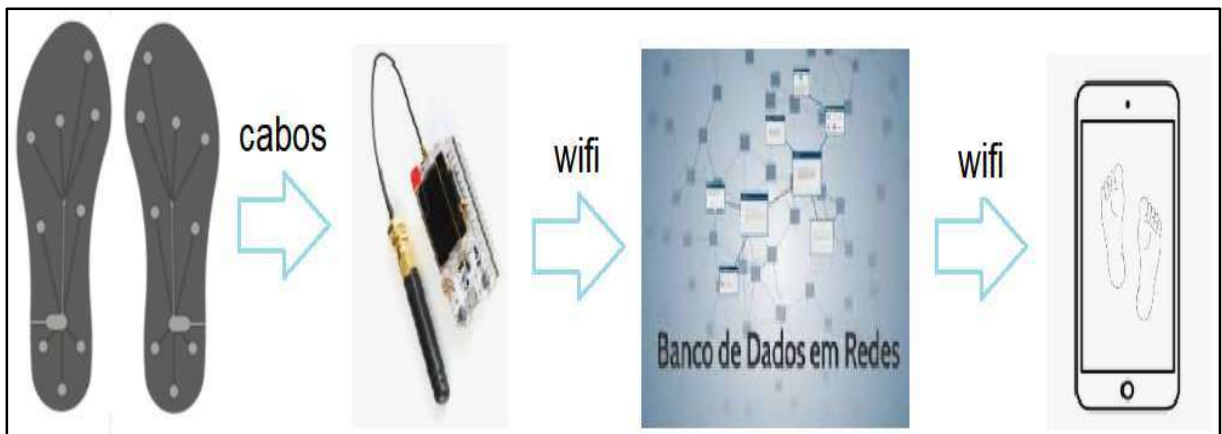
Fonte: Próprio Autor

Para se ter uma melhor facilidade de acesso, o código fonte é escrito em C++ e usa o *framework Qt*, podendo ter acesso pelos repositórios do *Github*, sendo que o código fonte está dividido em dois principais: *Fritzing-App* e *Fritzing-Parts*. Contudo, o *Fritzing* pode ser considerado uma ferramenta de automação de *design* eletrônico (*EDA*) para uso rápido e fácil devido a sua simplicidade no uso, segue um exemplo da tela de programação do *Fritzing* na Figura 13 acima com aplicação de um arduino (WIKIPEDIA, 2021).

2 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo mostra-se o projeto em desenvolvimento seguindo os passos estabelecidos pela sequência mostrada na Figura 14 com base na pesquisa teórica executada. O sistema consiste em coletar os dados dos sensores piezoelétricos no qual é gerado através da pressão plantar sobre as palmilhas que por sua vez estará instalado dentro de um calçado quando em teste, em seguida a coleta de dados será efetuada pela placa de controle *ESP32 WIFILORA*, sendo que a mesma coletará e enviará para o banco de dados na rede através de *wifi* no qual armazenará e enviará para o aplicativo *mobile* no celular que fará à análise e tomada de decisão e mostrará por *interface* gráfica o resultado da classificação do tipo de pisada.

Figura 14 – Sequência do Sistema do Projeto



Fonte: Próprio Autor

O sistema foi desenvolvido nas seguintes etapas: na primeira etapa foram realizadas as pesquisas bibliográficas, leitura e estudo dos *softwares* e áreas de programações em linguagem *C++*, *C#*, *php* e *mysql*, desta forma melhorando o uso das ferramentas de programação do projeto e tendo a compreensão dos pontos em melhoria no projeto, na parte mecânica foram feita a pesquisa e estudo do *software* de *CAD 3D Inventor e Fritzing*, em sequência foram acessados os *sites* dos desenvolvedores dos *softwares* e efetuado os *downloads* dos programas necessários ao projeto.

Na segunda etapa foi efetuada a instalação do *software* de desenho *3D inventor professional 2020*, sendo assim possível desenhar a palmilha com os sensores em suas posições de leitura baseando-se no teste de pisada denominada “tinta no pé” e comparando com a pesquisa dos tipos de pisada já citada anteriormente no item 1.2, após o desenho da palmilha

com os sensores foi feito os desenhos das fases de montagem e dos itens utilizados no qual será melhor detalhado da seção 3.2.

Na terceira etapa foi desenvolvida a palmilha com os cortes do material EVA, soldagem das fiações dos sensores piezoelétricos, fixação dos sensores nas palmilhas e montagem dentro do tênis para executar os testes de pisada e gerar a tensão de leitura para ser coletado através do alicate amperímetro, também foram desenvolvidos vários modelos de palmilhas para se ter a melhor escolha dos números de sensores utilizados no projeto e com isso contribuindo para o desenvolvimento da placa eletrônica de comunicação.

Após a coleta das tensões preenchimento da tabela de tensão, na quarta etapa foi desenvolvido o circuito eletrônico em uma placa de *protoboard* para efetuar os testes de coleta de tensão e teste de comunicação dos sensores com a placa de controle *ESP32 WIFI LORA*, contudo, antes dos testes de comunicação foi necessário instalar o *software* arduino *IDE* e instalar a biblioteca da placa *ESP32 WIFI LORA* através do *site* da *HELTEC*, mais detalhes na seção 3.1, em seguida foi instalado o *software* da *Fritzing* para desenhar o diagrama eletrônico e desenho de montagem do circuito eletrônico do projeto.

Na quinta etapa iniciou-se com a coleta de dados na *ESP32 WIFI LORA* e utilização dos *softwares* arduino *IDE*, *XAMPP*, *visual studio*, *Xamarin.Forms* para que começassem os testes de comunicações, conversão de linguagem, desenvolvimento do banco de dados e alimentação do mesmo, desenvolvimento do aplicativo de celular para a coleta do banco de dados para que ocorra a análise, julgamento com a plotagem dos resultados do tipo de pisada analisado.

E finalizando na sexta etapa a montagem da placa eletrônica real, instalação em uma caixa de policarbonato de proteção e fixação da cinta elástica que prenderá na perna da pessoa para que quando ocorra a caminhada a placa não deslize ou caia durante o processo de teste, em seguida instalado as palmilhas no tênis, primeiramente iniciado no tênis lado direito número 42, modelo brasileiro e efetuado os testes de comunicação, caminhada e análise do resultado. Após a montagem das duas palmilhas direita e esquerda para ocorrer as análises simultaneamente, interpretação dos resultados e plotagem do resultado final a respeito do tipo de pisada do indivíduo no qual pode ser: pé normal, pé plano ou chato, pé cavo, pé supinado (varo) e pronado (vago).

Para executar o teste real com os usuários que possivelmente tenham a anormalidade foram desenvolvidas palmilhas simuladoras dos eventos de pisadas anormais para que haja a verificação da veracidade da informação simuladas.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS NO PROJETO

Para a montagem do protótipo do projeto parte *hardware* foram utilizados os seguintes materiais abaixo listados:

- 2 Caixas de policarbonato (110x170x25 mm).
- 2 Placas de fibra ilhada padrão *PCB* perfurada (5x10 cm) – modelo: CDR01.
- 2 Baterias de Li-on 3,7V 2600mAh 9,62Wh – modelo: IS486 (Pax).
- 2 Módulos *ESP32 WIFI LORA* v2, 433Mhz, sx1278, 0.96, *display oled* – *HELTEC*.
- 20 *Jumper premium* para *protoboard* macho - fêmea 20 cm.
- 18 Resistores filme de carbono 1M 5% (1/4W)
- 01 metro cabo *flat* 14 vias 28 *AWG* cinza – modelo: CF1428
- 02 Mini chave gangorra 2 terminais preta 3A – modelo: KCD11-101.
- 01 Ferro de solda – modelo: FX-951 127V - *Hakko*.
- 01 Rolo de solda (Estanho).
- 18 Pastilhas piezoelétrico de 27mm – modelo: piezo – *ZEBRA*.
- 01 Folha de EVA 0,5mm 40x60cm cor azul.
- 01 Folha de EVA 0,2mm 40x60cm cor azul.
- 01 Tecido veludo 100x100cm cor preta.
- 01 Adesivo instantâneo 2g - *Three Bond*.
- 01 Rolo de fita adesiva transparente - 12 mm x 50 m – Durex.
- 01 metro Velcro para costurar - Tekla

Durante a programação e teste de comunicação, foram utilizados os materiais listados abaixo:

- 1 Computador *Samsung* - *LAPTOP-7CTGFI1C* - *Intel(R) Core (TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz* 2.71 GHz - 4,00 GB - 64 bits *Windows 10 Home*.
- 1 cabo de comunicação *USB 2.0* tipo A para micro B de 5 pinos.

3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do projeto, sendo que este trabalho compreende várias etapas de desenvolvimento, desde o *hardware* para aquisição e armazenamento de dados até o *software* para processamento, análise e identificação dos sinais, assim aplicando-se o conceito de sistema. Além de aplicar diversas tecnologias e utilização de diferentes plataformas de programação.

São apresentados neste capítulo os seguintes tópicos abaixo:

- a) instalação dos *Softwares* e Extensão: Arduino *IDE*, Instalação da Placa *ESP32 WIFI LORA*, *Inventor*, *XAMPP*, *Xamarin.Forms*, *Visual Studio IDE* e *Fritzing*;
- b) análises, desenhos e levantamentos: Teste “Tinta no pé”, desenho primário no *inventor* e corte do EVA, montagem da palmilha eletrônica e testes com sensores e desenhos, montagens e testes com palmilhas de vários modelos;
- c) tabelas de tensão, montagem da placa eletrônica, desenhos eletrônicos, testes de comunicação, montagem da palmilha completa e desenhos;
- d) coleta de dados, arduino *IDE*, *XAMPP*, *Xamarin.Forms*;
- e) montagem do protótipo na perna para testes de pisada, análise de conforto e teste de pisada com 20 passos.

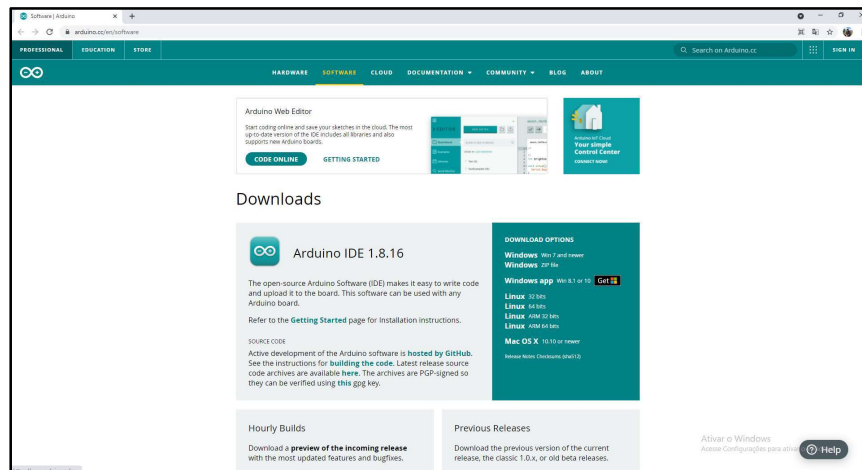
3.1 INSTALAÇÃO DOS *SOFTWARES* E EXTENSÃO

3.1.1 Arduino *IDE*

A placa principal de controle *ESP32 WIFI LORA* no qual coleta os dados dos sensores piezoelétricos e executa a comunicação entre os dados coletados e o banco de dados da rede é escrito em linguagem C sendo ela uma linguagem muito conhecida no meio acadêmico, devido a isto foi efetuado a instalação do *software* arduino *IDE*, pois existe a compatibilidade da placa com o *software* citado.

Atualmente a versão do arduino *IDE* está na 1.8.16, como pode ser visto na Figura 15 abaixo e pode ser realizado o *download* no *site* oficial do arduino na URL <https://www.arduino.cc/en/software>.

Figura 15 – Pagina Web Arduino



Fonte: Próprio Autor

Após executar o *download*, para executar a instalação basta clicar no ícone de instalação como pode ser visto na Figura 16 abaixo e seguir os passos de instalação, sendo estes passos simples e de fácil conclusão. Contudo para comunicar com a placa *ESP32 WIFI LORA* torna-se necessário instalar a placa em seu *software*, pois na biblioteca do arduino IDE não vem instalada a placa citada.

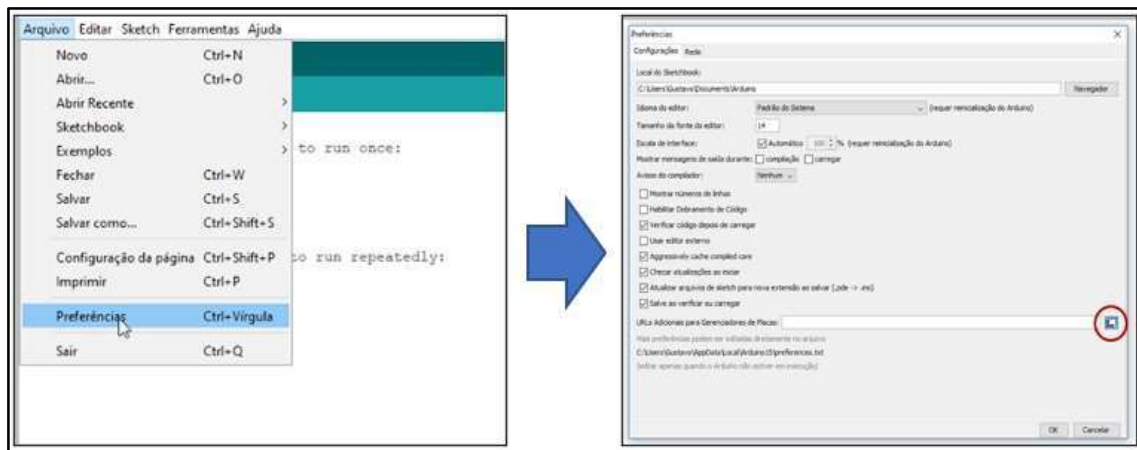
Figura 16 – Ícone de instalação do arduino



Fonte: Próprio Autor

3.1.2 Instalação da Placa *ESP 32 WIFI LORA*

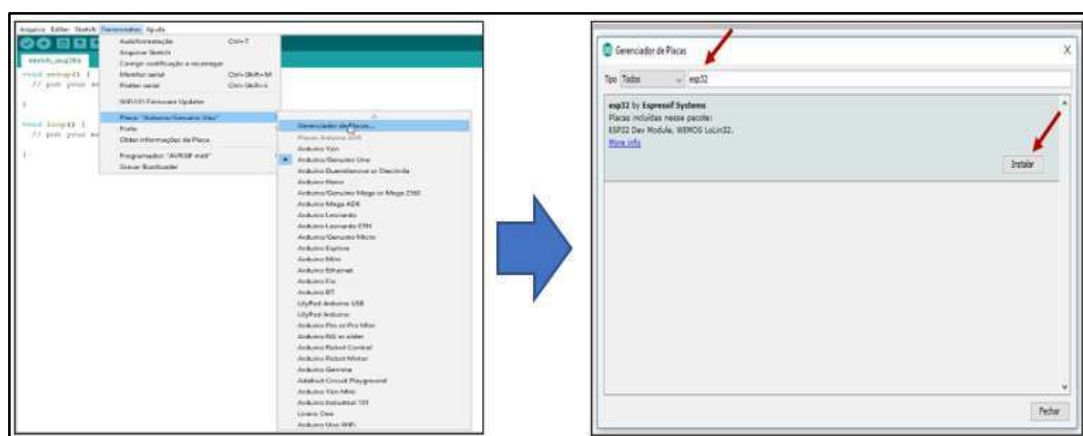
Para executar a instalação da placa *ESP32 WIFI LORA* deve ser seguido os seguintes passos: iniciando a instalação como pode ser visto na Figura 17 na aba arquivos, selecionar preferências e na caixa de texto como e colar o endereço completo com seu *URL* https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json, sendo este endereço a biblioteca de instalação do *software* da placa *ESP32 WIFI LORA*.

Figura 17 – Selecionando o endereço da biblioteca *ESP32 WIFI LORA*

Fonte: Próprio Autor

A biblioteca é uma coleção de subprogramas utilizados no desenvolvimento de *software*, nelas contém os código e dados auxiliares, que provém serviços a programas independentes, o que permite o compartilhamento e a alteração de código e dados de forma modular. Alguns executáveis são tanto programas independentes quanto bibliotecas, mas a maioria das bibliotecas não são executáveis, como neste caso citado acima.

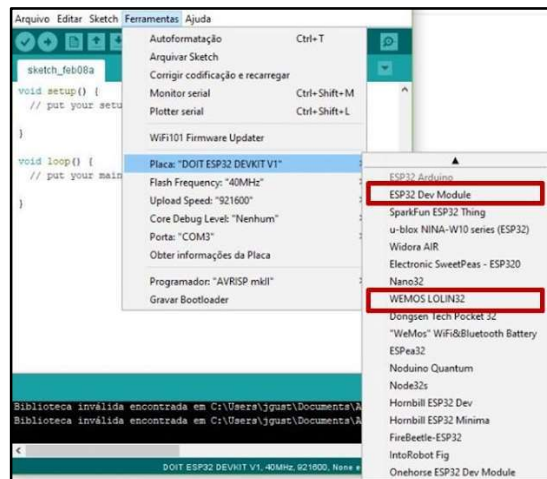
Para iniciarmos a instalação da biblioteca selecione a aba ferramentas e siga conforme visto na Figura 18, selecione o programa *esp32* clique em instalar, com isso o *software* de comunicação entre o arduino *IDE* e a placa será instalado.

Figura 18 – Instalando a biblioteca *ESP32*

Fonte: Próprio Autor

Para confirmar se a instalação foi executada com sucesso basta clicar na aba ferramentas e checar a placa conforme, como pode ser verificado aparece a *ESP32 Dev Module* confirmando assim a instalação com sucesso, conforme mostrado na Figura 19 .

Figura 19 – Confirmando a biblioteca ESP32

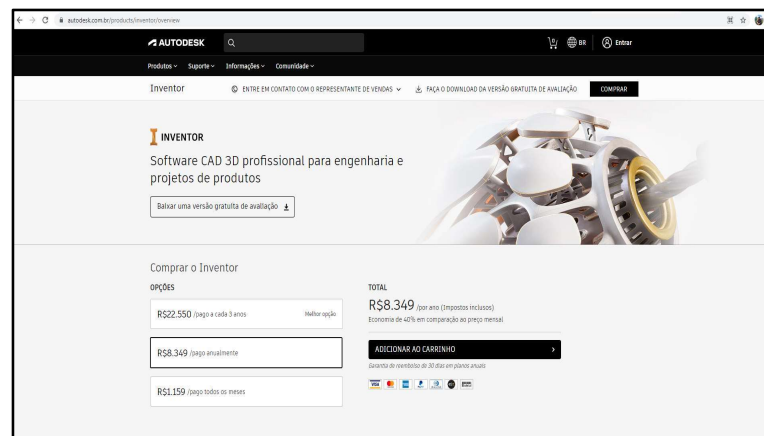


Fonte: Próprio Autor

3.1.3 Inventor

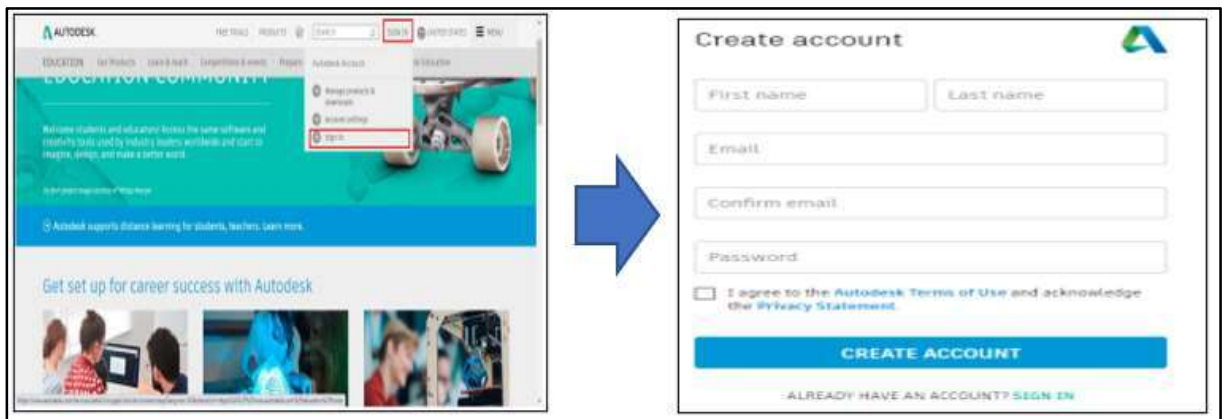
Para desenvolver o desenho em 3D, foi necessário instalar o *software inventor* versão 2020, conforme Figura 20 a qual mostra a página de instalação do *software* e outras informações.

Figura 20 – Pagina Web Autodesk produtos



Fonte: Próprio Autor

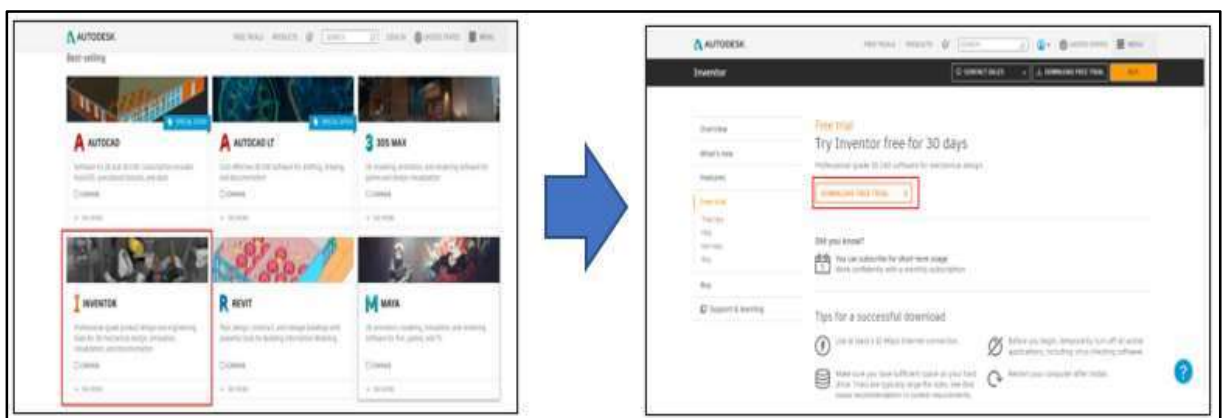
A URL do site oficial do *inventor* é de autoria da empresa *autodesk* fabricante do *software* e a <https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview> onde pode ser adquirido o *software*, ao executar o *download* pode escolher entre uma licença temporária grátis ou instalação fixa pago, também existe a licença estudantes/educadores grátis, contudo, com algumas ferramentas bloqueadas.

Figura 21 – Pagina *Web Autodesk*

Fonte: Próprio Autor

Para executar a instalação do *software* deve-se primeiramente cadastrar o usuário no *site* <https://www.autodesk.com/> e conforme visto na Figura 21 acima onde inicia-se clicando na aba *SIGN IN*, seguindo dos passos normais de cadastro de conta como o preenchimento de dados como nome, sobrenome, *e-mail*, confirmação de *e-mail*, senha e etc.

Após criação da conta pode iniciar o *download* do programa na página de *download* do *site*, como pode ser observado na Figura 22 existe muitos programas oferecidos pelo desenvolvedor, sendo estes abrangentes para vários tipos de modalidades em 3D.

Figura 22 – Site *Web Autodesk download*

Fonte: Próprio Autor

Dependendo de como desejar instalar pode escolhendo entre a versão temporária ou fixa, com isso obtem-se a instalação do *software*, ao efetuar o *download* do programa, basta apenas ir no ícone baixado e executar a instalação.

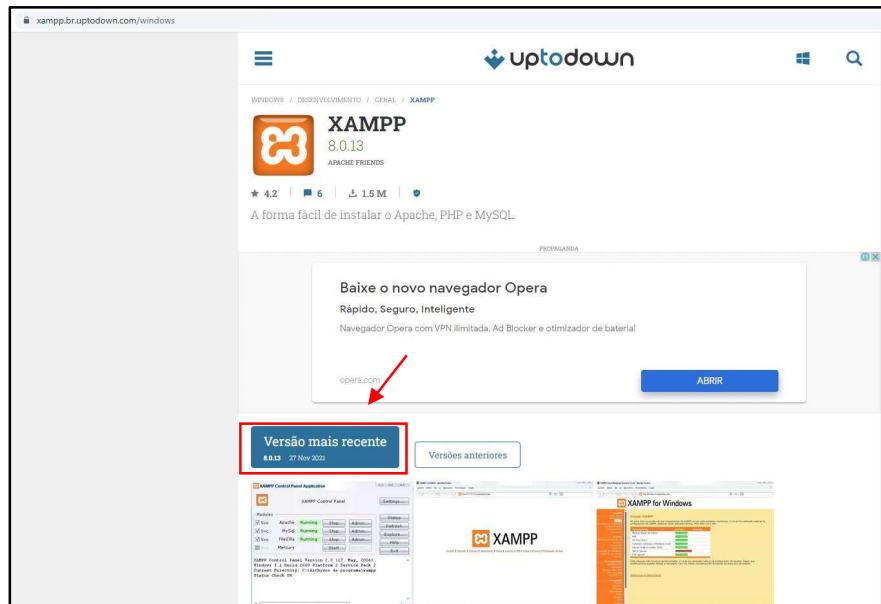
Com isso irar aparecer na área de trabalho o ícone conforme pode ser visto na Figura 23, confirmando que instalação estará finalizada e completa.

Figura 23 – Ícone do *Software Inventor*

Fonte: Próprio Autor

3.1.4 XAMPP

Como citado na seção 1.7.3 o *software XAMPP* está na versão 8.0.13 no qual foi atualizado no ano de 2021 e pode ser feito o *download* facilmente no *site* oficial <https://xampp.br.uptodown.com> como pode ser visto na Figura 24, no qual mostra a versão mais atual e para executar o *download* do *software* basta clicar no ícone “Versão mais recente”, após o *download* não necessita instalação, basta extrair para um local de fácil acesso.

Figura 24 – Site de *download XAMPP*

Fonte: Próprio Autor

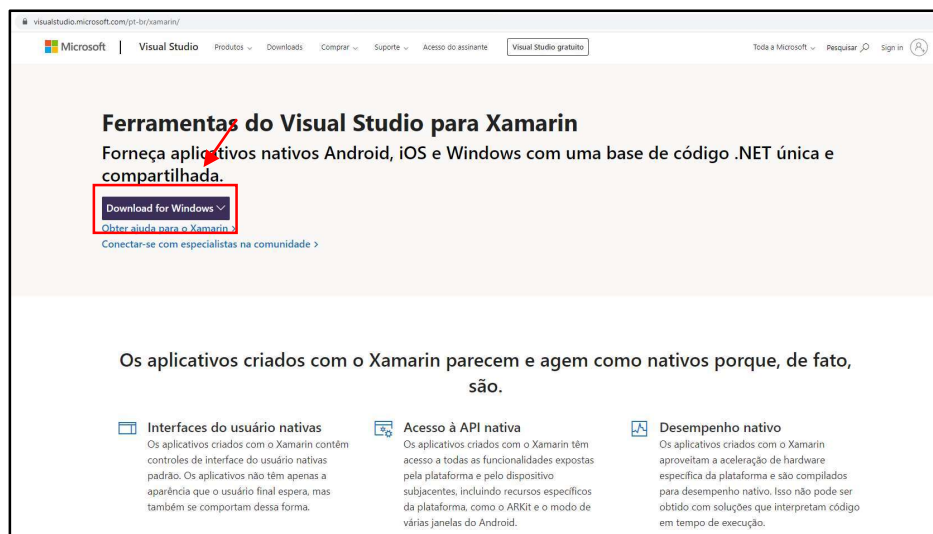
3.1.5 *Xamarin.Forms*

Para que seja desenvolvido o aplicativo foi utilizado o *software Xamarin.Forms* que tem como umas principais características o conceito de compartilhamento de código. Em suma, o

core da aplicação é escrito em apenas uma linguagem, por padrão em C#, e esse código é compartilhado por todas as plataformas para as quais o aplicativo será gerado, esse código pode ser compartilhado de duas formas, utilizando *SAP (Shared Asset Projects)* ou *PCL (Portable Class Library)*. Sendo que o mesmo trata-se de uma ferramenta do *visual studio* para o *xamarin*, como pode ser visto na tela de *download* da Figura 25 abaixo.

Para executar o *download* do programa escolhido no qual será utilizado para desenvolver o aplicativo *mobile* basta entrar no *site* oficial do *visual studio* <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/xamarin/> e clicar no ícone “*Download for windows*”, com isso o arquivo de instalação irá baixar para o computador e para instalar basta dar duplo clique no ícone baixado e seguindo o passo a passo de instalação finaliza a instalação com sucesso, sendo ela uma instalação muito simples, pois como citado anteriormente trata-se de apenas uma ferramenta a mais do *visual studio*, ou seja, o desenvolvedor que deseja utilizar este *software* também necessita-se de ter instalado em seu computador o *software visual studio IDE*.

Figura 25 – Site de *download Xamarin.Forms*



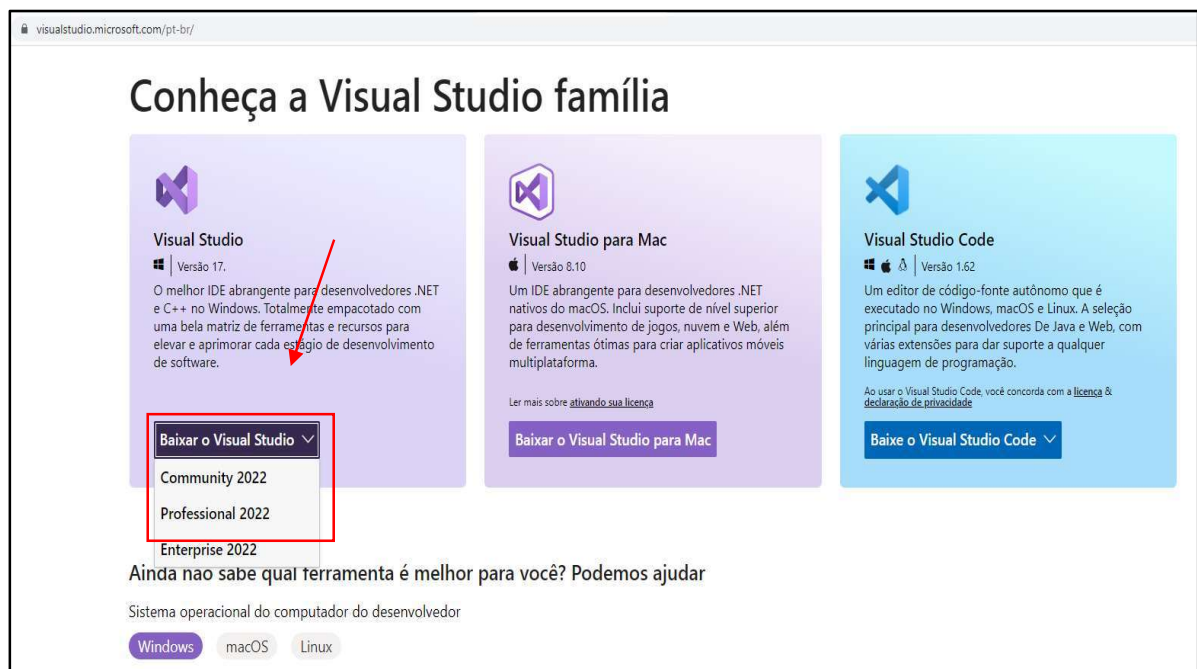
Fonte: Próprio Autor

3.1.6 *Visual Studio IDE*

Em conjunto com o *Xamarin.Forms*, também será utilizado durante o desenvolvimento o projeto o *software Visual Studio IDE*, que pode ser baixado pelo *site* oficial <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/vs/>. Sendo que antes de instalar deve aplicar a versão mais recente do *Windows* e verificar se há espaço suficiente no disco do computador que deve ser no mínimo 30GB.

Após deve baixar o *software* na tela de *download* clicando no local indicado pela Figura 26 abaixo, sendo que dependendo do conhecimento do usuário pode-se escolher entre: *Community* que se trata do *software* mais utilizado no meio acadêmico, pois é gratuito e um *software* livre ou pode escolher também o *Professional* onde trata-se de um *software* individual e mais profissional ou pode baixar o *Enterprise* sendo este um *software* utilizado por organizações que necessitam deste tipo de *software*.

Figura 26 – Site de download Visual Studio IDE



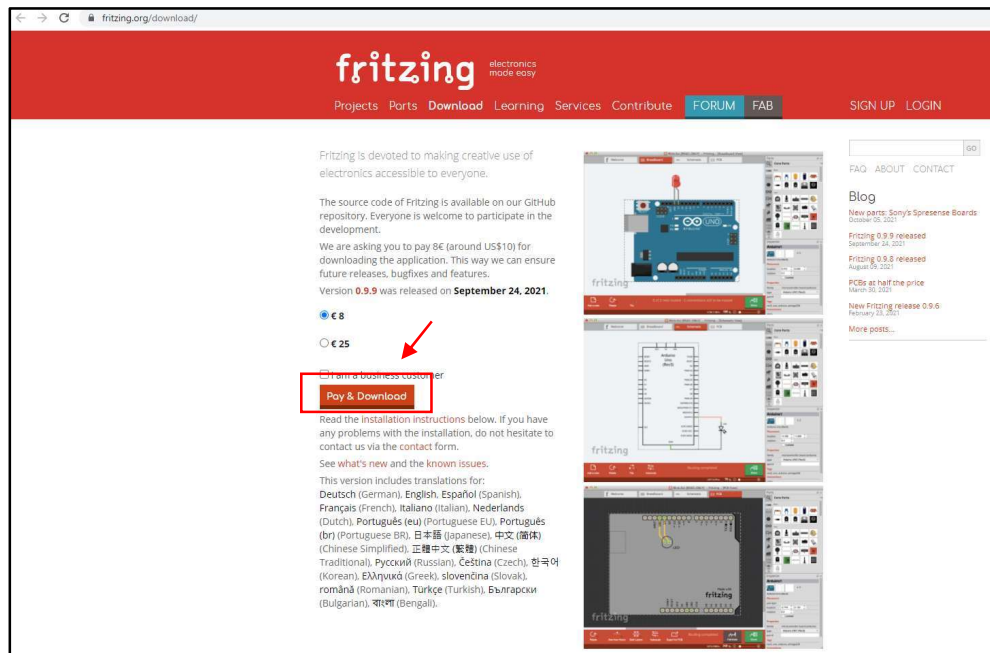
Fonte: Próprio Autor

Após baixar o *software* para sua instalação deve localizar o arquivo e executar ele como administrador e seguindo o passo a passo, finalizará com sucesso a instalação.

3.1.7 Fritzing

O *Software Fritzing* tem entre suas funcionalidades a facilidade de desenhar o circuito eletrônico e criar o protótipo da placa eletrônica do circuito, sendo muito utilizado no meio acadêmico. Para efetuar o *download*, basta entrar no *site* oficial <https://fritzing.org/download/> e efetuar o *download*, sendo que a partir do ano de 2021 o *software* começou a ser cobrado uma pequena taxa para sua utilização como pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 – Site de download Software Fritzing



Fonte: Próprio Autor

Após o *download* para sua instalação, basta seguir o passo a passo para finalizar com sucesso, como o *fritzing* é uma aplicação de código aberto, utilizado para projetar circuitos eletrônicos, realização de experimentos a sua biblioteca dependendo da aplicação pode não ter o componente procurado, com isso existem diversos *sites* na *internet* que podem dar este suporte.

3.2 ANÁLISES, DESENHOS E LEVANTAMENTOS

3.2.1 Teste “Tinta no Pé”, desenhos primários no *software inventor* e corte do EVA

Seguindo o projeto de pesquisa de análise do tipo de pisada foi verificado que se faz necessário analisar o molde do pé para localizar os pontos de pressão e assim instalar os sensores piezoelétricos para coleta dos dados, para iniciar o teste foi escolhido o próprio discente que desenvolve este projeto, como pode ser visto na Figura 28 foi pintado a planta do pé com tinta azul e pressionado sobre uma folha de papel A4 com o desenho de uma palmilha padrão número 42 masculino modelo brasileiro já com alguns pontos que seriam a localização dos sensores.

Com isso obteve-se a base dos pontos na palmilha onde podem ser instalados os sensores para uma melhor captura de dados, sendo que inicialmente testou com a quantidade de 15 sensores piezoelétricos.

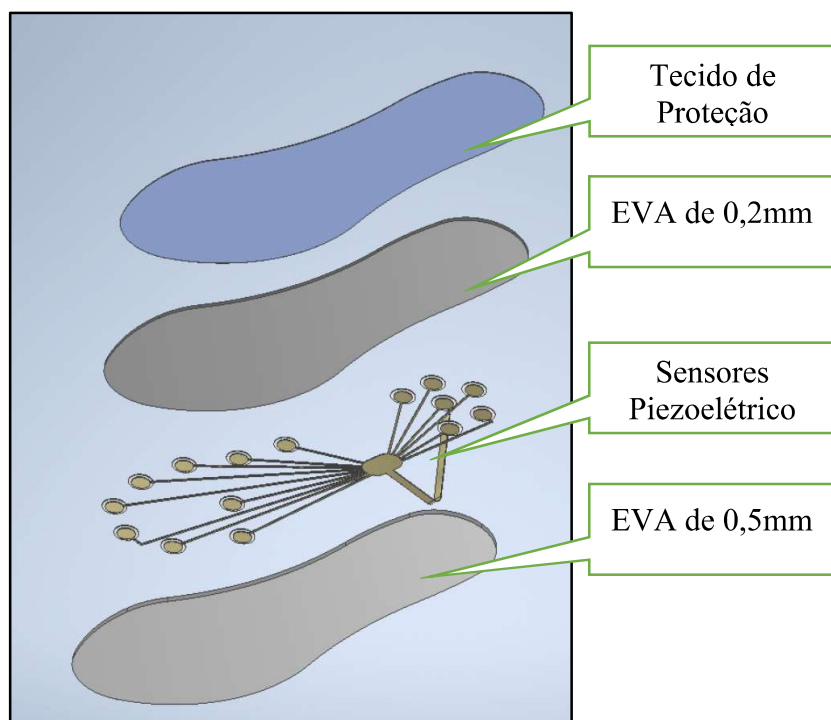
Figura 28 – “Tinta no Pé”



Fonte: Próprio Autor

Foram feitos 20 testes com o método “tinta no pé” para se ter uma média de posicionamento dos sensores, após esta coleta foi desenvolvido o desenho da palmilha com a utilização do *software inventor* como pode ser visto na Figura 29, no qual também mostra os estágios no qual a palmilha será montada.

Figura 29 – Desenho palmilha com 15 sensores e seus estágios



Fonte: Próprio Autor

Como visto na Figura 30 abaixo em uma visão tridimensional desenvolvida pelo *software inventor*, detalha-se em:

- a) camada tecido de proteção: esta camada serve para troca e proteção, sendo ela um tecido de 0,1mm e sua função é proteger a palmilha principal contra danos e proteção ao usuário ao contato com os sensores e fiações eletrônicas da palmilha, sendo que a mesmo pode ser trocado quando estiver danificado;
- b) camada EVA 0,2mm: serve para pressionar o sensor piezoelétrico contra a outra camada EVA de modo a fixar melhor o posicionamento dos sensores, outra função é proteger o sensor e impedir o contato direto do pé com o sensor além do tecido;
- c) os sensores e fiações eletrônicas: sendo eles os sensores piezoelétricos e ligações eletrônicas;
- d) camada EVA 0,5mm: onde será a sustentação de toda a ligação e eletrônica e onde se tem o contato com o calçado.

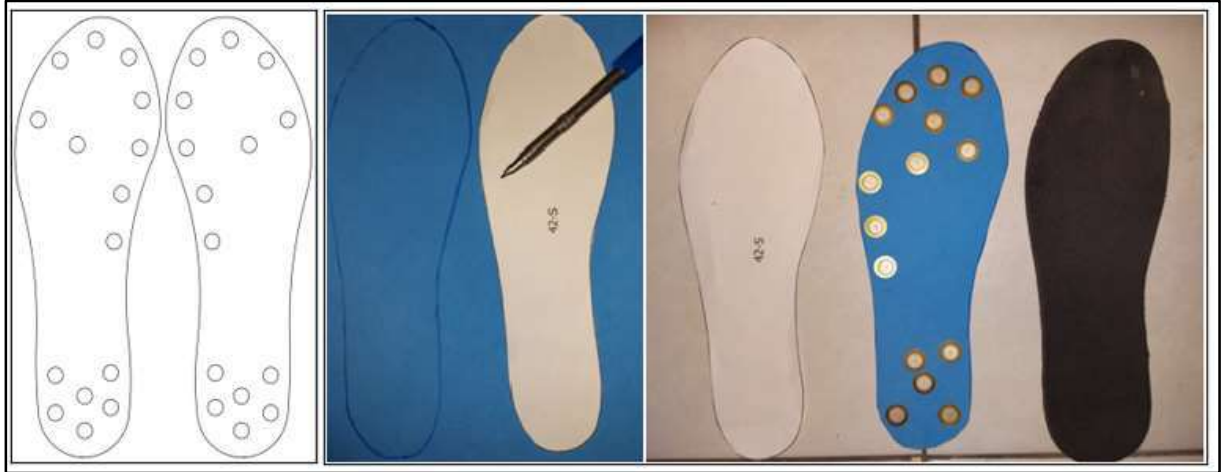
Figura 30 – Fases da montagem da palmilha N42 - 15 sensores



Fonte: Próprio Autor

Com isso foi gerado o *pdf* da palmilha, como pode ser visto na Figura 31, no qual foi impresso em folha A4 para testar o tamanho, efetuado o desenho no EVA, corte e comparação com a palmilha padrão de uso comum fabricado pelas indústrias de calçados na cor preta.

Figura 31 – Pdf da palmilha N42 – 15 sensores



Fonte: Próprio Autor

3.2.2 Montagem da palmilha eletrônica e testes com sensores

A partir do corte do EVA foi iniciado a soldagem dos sensores e posicionamento dos mesmos na palmilha, como pode ser visto na Figura 32, no qual foi soldado os sensores e percebeu-se que os sensores piezoelétricos são sensíveis ao calor devido a sua fabricação, com isso foi analisado que a temperatura ideal de soldagem é 38°C, o fio utilizado é de 28 AWG de cor cinza de 22cm.

Figura 32 – Construção da palmilha N42 - 15 sensores



Fonte: Próprio Autor

Em seguida, foi colocado o protótipo dentro do tênis para executar os primeiros testes de sensoriamentos e posicionamento dos sensores, conforme pode ser visto na Figura 33, no qual primeiramente utilizado para teste foi a montagem da palmilha do lado esquerdo.

Figura 33 – Montagem da palmilha e testes



Fonte: Próprio Autor

Posteriormente foi efetuado a medição das tensões de todos os sensores piezoelétricos utilizando o alicate amperímetro, como pode ser visto na Figura 34, para verificar o funcionamento dos sensores e se ocorreu algum caso de quebra das fiações ou sensor danificado devido a sua fragilidade relacionado a solda.

Figura 34 – Medição dos sensores piezoelétricos



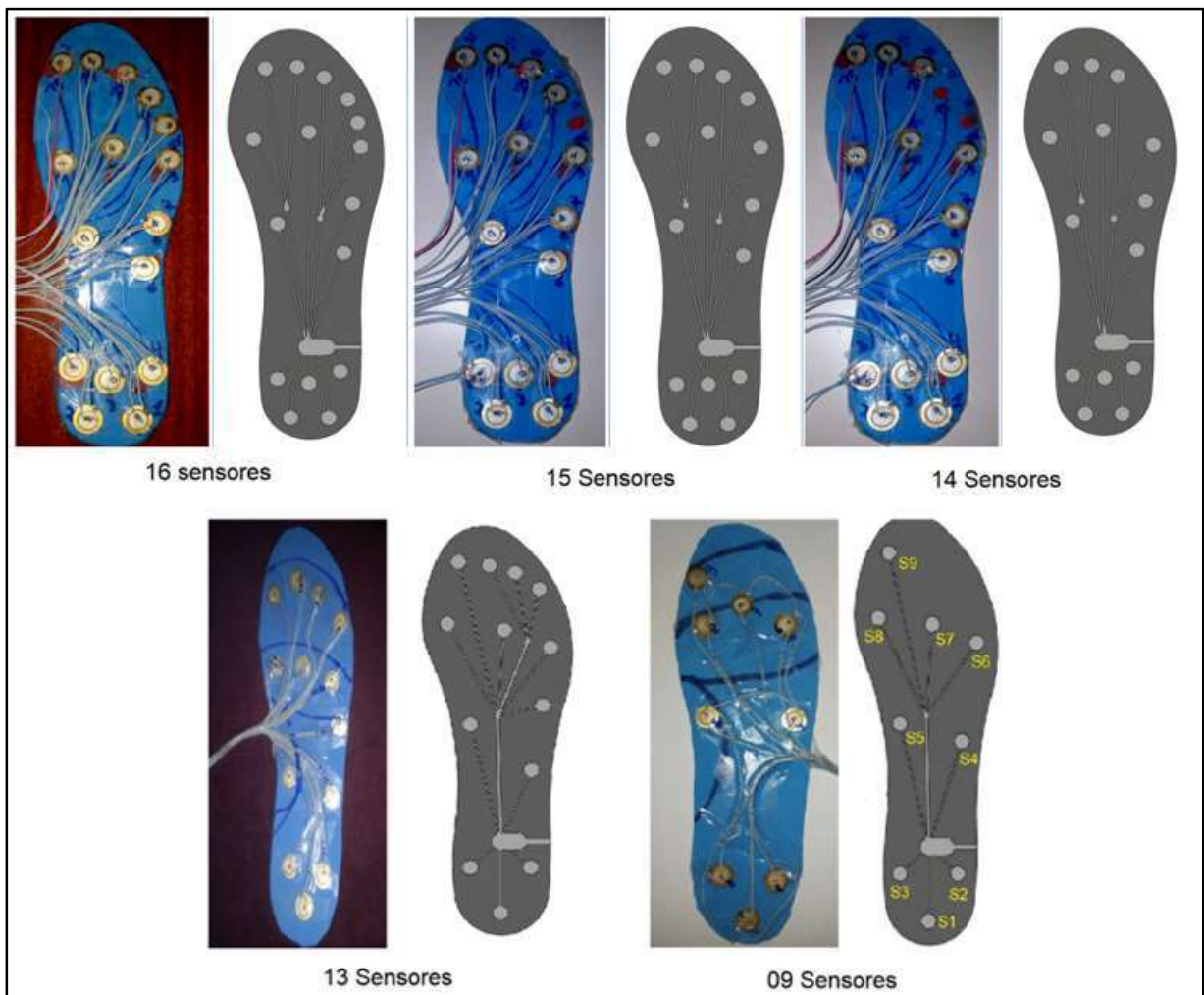
Fonte: Próprio Autor

3.2.3 Desenhos, montagens e testes com palmilhas de vários modelos

Após a medição percebeu-se que as medições das tensões entre sensores não variavam muito de acordo com seu posicionamento, com isso foram desenvolvidos mais modelos com números de sensores, sendo eles 9, 13, 14, 15 e 16 sensores piezoelétricos, como pode ser visto na Figura 35 abaixo, no qual foi desenvolvido os desenhos de cada palmilha com os números de sensores, foi montado todas as palmilhas e testado sua eficiência baseando-se nas medições das tensões coletadas em seus testes de funcionamento.

Com isso foi escolhido para dar continuidade ao projeto a palmilha com 09 sensores piezoelétricos, pois devido a dimensão dos sensores e devido aos tamanhos variados das palmilhas, percebe-se que nesta opção o mesmo coleta os dados necessários para a finalidade do projeto de pesquisa que é classificar o tipo de pisada usando sensores piezoelétricos.

Figura 35 – Montagem de palmilhas x sensores



Fonte: Próprio Autor

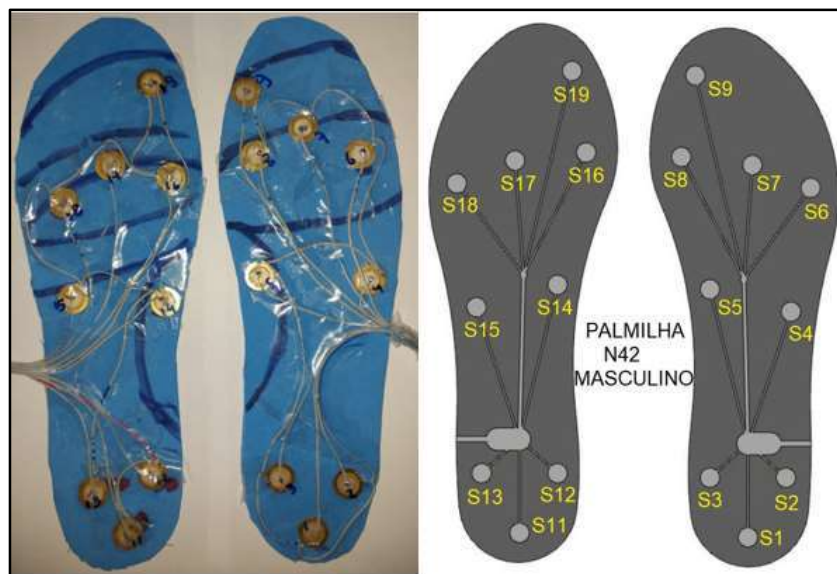
3.3 TABELAS DE TENSÃO, MONTAGEM DA PLACA, DESENHOS ELETRÔNICOS E TESTES DE COMUNICAÇÃO

3.3.1 Montagem palmilha completa e Tabela de tensão

Ao finalizar a montagem da palmilha e escolha dos números de sensores, foi executado a montagem das palmilhas direita e esquerda, número 42, como pode ser visto na Figura 36 abaixo, no qual mostra o desenho em *software inventor* e montagem real para que com isso possa efetuar ambos os testes de tensão e comunicação.

O teste de tensão trata-se de colocar o medidor de tensão em modo no qual ele grava o máximo valor recebido, em seguida calça-se o tênis com a palmilha já instalado e efetuado pequenos passos para que os sensores possam gerar tensão, sendo a principal característica dos sensores piezoelétricos, com isso o medidor de tensão consegue gravar a máxima tensão recebida, sendo executado o teste em cada sensor.

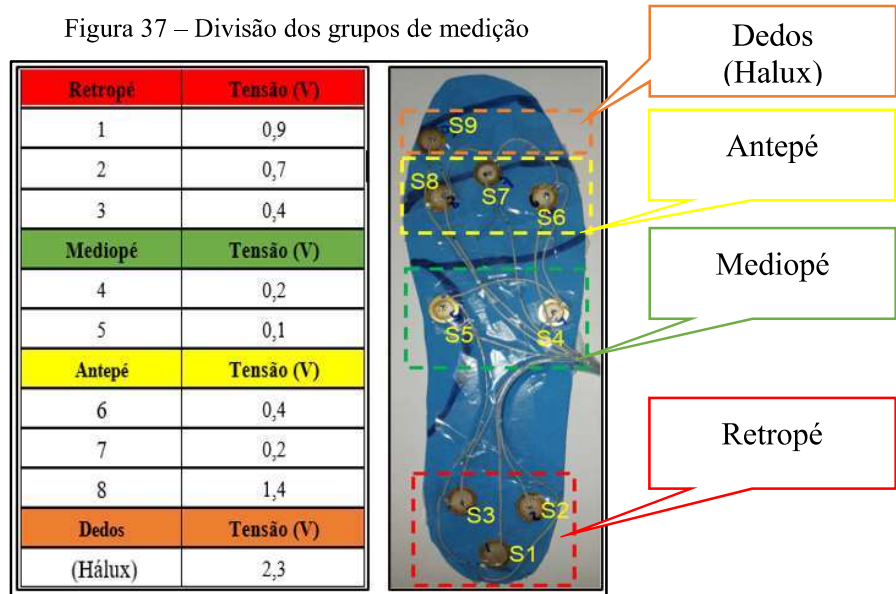
Figura 36 – Palmilha Direita e Esquerda



Fonte: Próprio Autor

Com isso foi dividido os sensores em 04 grupos: Retropé (Sensores S1, S2 e S3), Mediópé (Sensores S4 e S5), Antepé (Sensores S6, S7 e S8) e Dedos (Sensores S9), como pode ser visto na Figura 37 abaixo, com isso foi efetuado a medição e o preenchimento da tabela de tensão, no qual nota-se que nenhuma das tensões ultrapassou a tensão máxima de entrada da placa *ESP32 WIFI LORA* que é 3,3V.

Figura 37 – Divisão dos grupos de medição

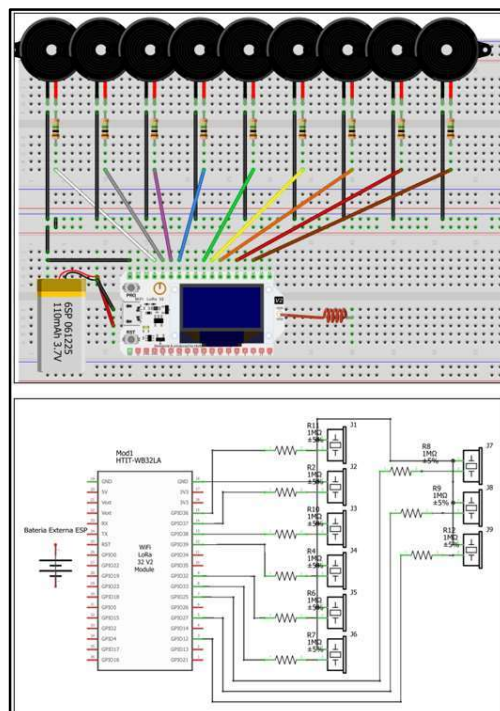


Fonte: Próprio Autor

3.3.2 Desenho e montagem da placa eletrônica

Para a montagem da placa eletrônica foi utilizado o desenho realizado no *software fritzing*, como pode ser visto na Figura 38, o qual mostra as ligações eletrônicas com os sensores, resistores, *jumps*, bateria e a placa *ESP32 WIFI LORA*, sendo sua visualização em modo *protoboard* e modo diagrama eletrônico.

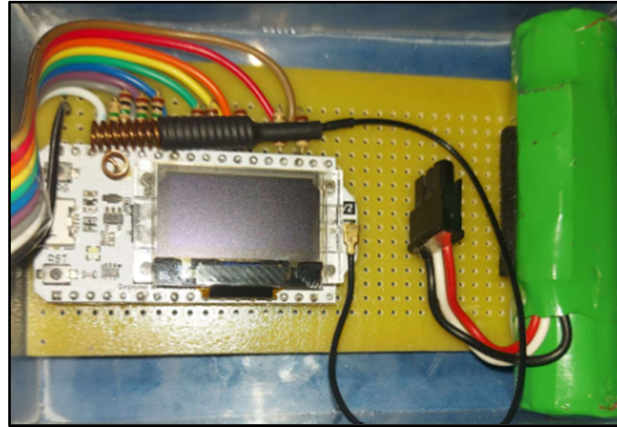
Figura 38 – Desenho Placa Eletrônica e ligações



Fonte: Próprio Autor

Com isso, efetuado a montagem da placa em modo real, como pode ser visto na Figura 39, utilizando os itens citados na lista de materiais da seção 2.1.

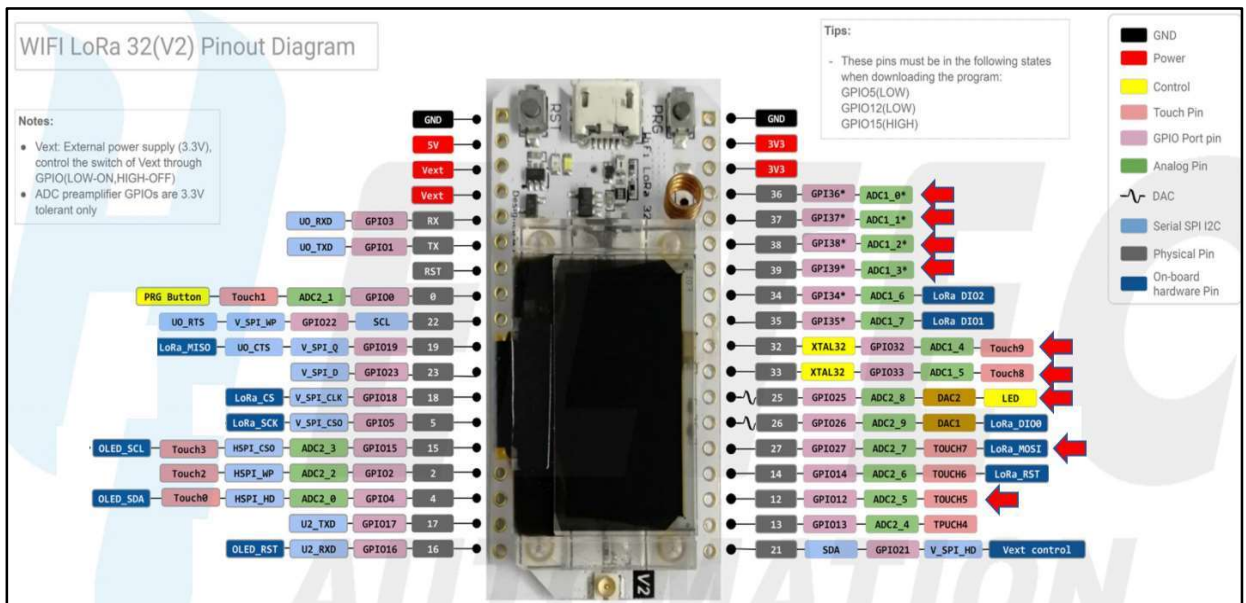
Figura 39 – Palmilha Direita e Esquerda



Fonte: Próprio Autor

As portas de entrada de dados escolhidas foram as portas analógicas Pin36, Pin37, Pin38, Pin39, Pin32, Pin33, Pin25, Pin27 e o Pin12, totalizando 09 entradas de leitura. As escolhas dos pinos de entrada foram feitas de acordo com testes de entrada de tensão e saída na porta serial, pois dependendo da versão da placa escolhida as entradas geram valores diferentes nos testes mesmo utilizando o mesmo sensor, na Figura 40 pode-se ver o diagrama de pinagem da placa ESP32 WIFI LORA V2 com as pinagens escolhidas.

Figura 40 – Diagrama Pinout ESP32 WIFI LORA V2



Fonte: Próprio Autor

Em seguida foi executado o teste de comunicação entre a palmilha montada e a placa de controle *ESP32 WIFI LORA*, no qual pode ser visto na Figura 41, no qual confirmou o funcionamento de todos os sensores através de pulsos recebidos em sua porta analógica.

Figura 41 – Teste de comunicação

```

0
Sensor 1
3
Sensor 1
0
Sensor 1
0
Sensor 1
0
Sensor 1
0
Sensor 1
0
Sensor 1
236
Sensor 1
16
Sensor 1
0
Sensor 1
0

Auto-rolagem

Teste_Sensor_Piezo_Unidade | Arduino 1.6.9
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Teste_Sensor_Piezo_Unidade
const int knockSensor_0 = A0; // Sensor Piezo_0
const int knockSensor_1 = A1; // Sensor Piezo_1
const int knockSensor_2 = A2; // Sensor Piezo_2
const int knockSensor_3 = A3; // Sensor Piezo_3
const int knockSensor_4 = A4; // Sensor Piezo_4
const int knockSensor_5 = A5; // Sensor Piezo_5
const int knockSensor_6 = A6; // Sensor Piezo_6
const int knockSensor_7 = A7; // Sensor Piezo_7
const int knockSensor_8 = A8; // Sensor Piezo_8
const int knockSensor_9 = A9; // Sensor Piezo_9
const int knockSensor_10 = A10; // Sensor Piezo_10
const int knockSensor_11 = A11; // Sensor Piezo_11
const int knockSensor_12 = A12; // Sensor Piezo_12
const int knockSensor_13 = A13; // Sensor Piezo_13
const int knockSensor_14 = A14; // Sensor Piezo_14

const int threshold = 100; // Valor para detectar no Teste
int sensorReading = 0; // variable to store the value read from the sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Ativando Porta Serial
}

void loop() {
  sensorReading = analogRead(knockSensor_0);
  if (sensorReading >= threshold) {
    Serial.println("Sensor 1");
    Serial.println(sensorReading);
    delay(500); // Delay para o próximo teste
  }
  sensorReading = analogRead(knockSensor_1);
  if (sensorReading >= threshold) {
    Serial.println("Sensor 2");
    Serial.println(sensorReading);
    delay(500); // Delay para o próximo teste
  }
  sensorReading = analogRead(knockSensor_2);
  if (sensorReading >= threshold) {
    Serial.println("Sensor 3");
    Serial.println(sensorReading);
    delay(500); // Delay para o próximo teste
  }
  sensorReading = analogRead(knockSensor_3);
  if (sensorReading >= threshold) {

```

Fonte: Próprio Autor

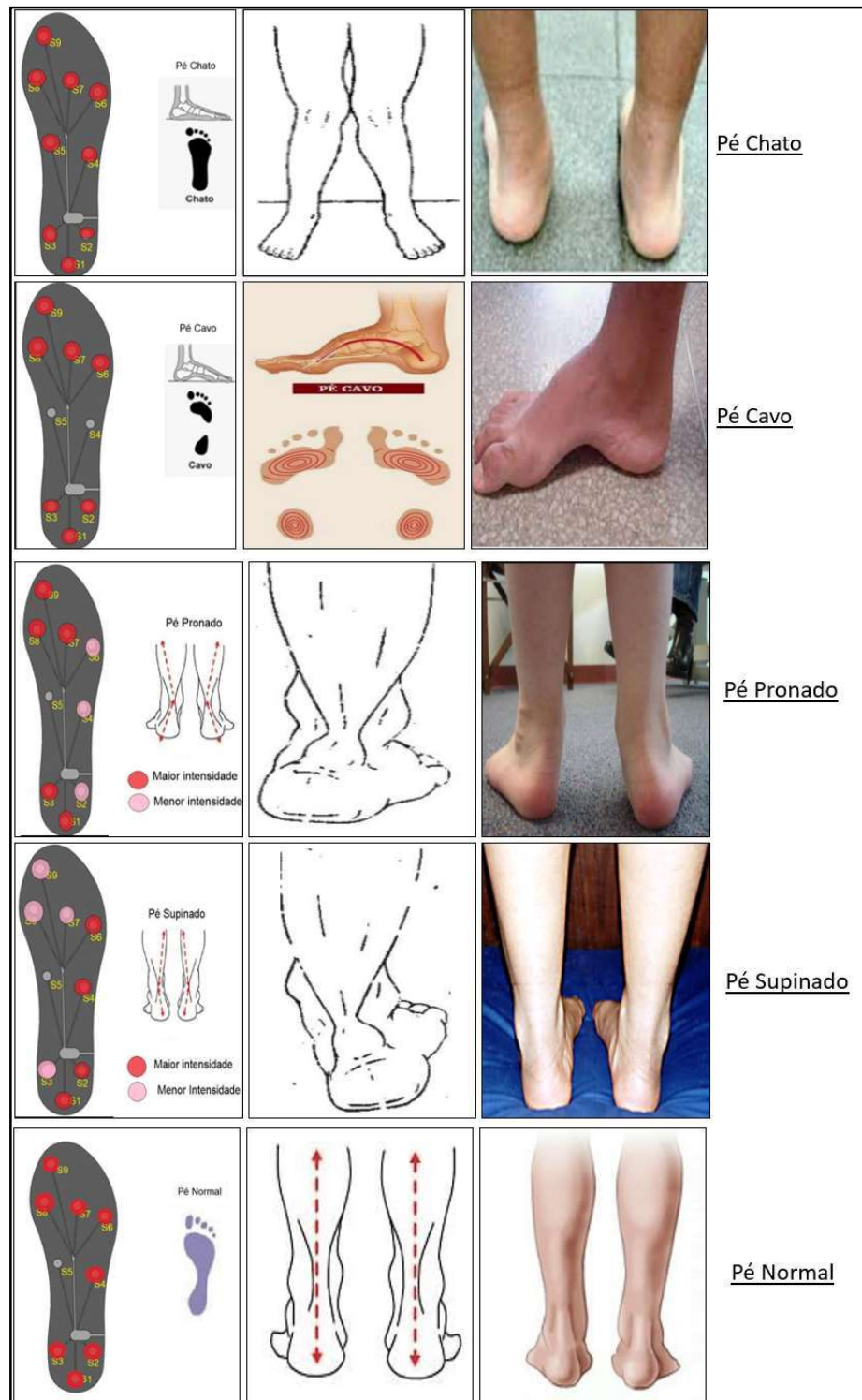
3.4 COLETA DE DADOS, ARDUINO IDE, XAMPP, XAMARIN.FORMS

3.4.1 Coleta de dados

Uma das características técnicas do sensor piezoelétrico é quando o mesmo sofre pressão mecânica gera tensão e mesmo pressionado em modo contínuo a tensão vai para zero, ou seja, a tensão sai de zero para um pico de tensão e volta a estado zero, este pico de tensão depende da pressão exercida sobre o sensor.

Para saber quando iniciar a coleta do pico de tensão, foi feita uma comparativa com os resultados esperados de leitura na palmilha eletrônica e acionamentos de sensores, baseando-se no estudo do tipo de pisada como pode ser visto na Figura 42, com isso percebe-se que o sensor S1 está ativo em todas as leituras, independente do resultado da classificação e segundo o estudo de marcha uma pessoa comum inicia com o calcanhar e finaliza com a ponta do pé, acionando mesmo que com menor intensidade o sensor S9.

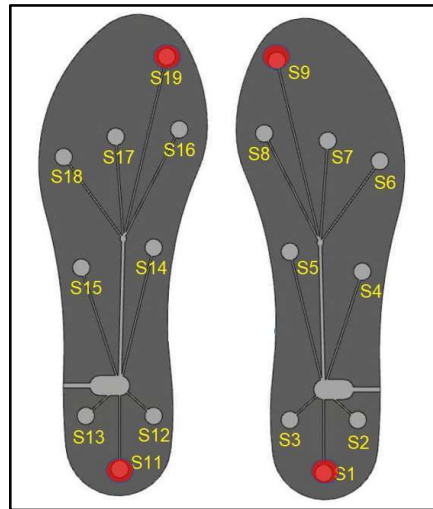
Figura 42 – Acionamento dos sensores



Fonte: Próprio Autor

O programa desenvolvido coleta os dados iniciando a leitura quando aciona o sensor S1 e finaliza quando acionar o sensor S9 em 25%, ou seja, 0,82Volts, sendo este com o pé direito. No caso do pé esquerdo os sensores S11 e S19 farão esta função, como pode ser visto na Figura 43, com isso pode-se iniciar e finalizar a coleta de dados quando ocorrer a marcha.

Figura 43 – Sensores início/fim coleta de dados



Fonte: Próprio Autor

3.4.2 Programa Arduino *IDE* e *Xampp*

O funcionamento do programa desenvolvido utilizando o arduino *IDE* coleta e grava os maiores valores de todos os sensores da palmilha e envia para análise no banco de dados seguindo a ordem de acionamentos pé direito ou pé esquerdo de acordo com os acionamentos dos sensores padrão escolhidos S1/S9 ou S11/S19 conforme visto no item 3.4.1.

Estes valores são recebidos em tensão analógica através das portas analógicas originada através dos sensores piezoelétrico, em seguida a tensão é convertida em valores numéricos através da conversão analógico/digital, lembrando que as entradas digitais só podem ser *HIGH* ou *LOW*, no caso da *ESP32 WIFI LORA* 0V ou 3,3V e o número de bits pode ser de 0 a 4096 com isso assumindo diversos valores dentro da faixa de leitura, sendo assim pode-se verificar a equivalentes 0V → 0 bits e 3,3V → 4096 bits, ou seja, os valores dentro dessa faixa serão completamente proporcional ao valor recebido.

Esta técnica utilizada é conhecida como conversão analógica digital, ou seja, se o valor de entrada for 2,9V em bits será 3599 bits com isso tem-se a leitura de entrada relacionada a tensão recebida nos pinos de entrada, sendo ela mesmo analógico a leitura torna-se digital.

Após a coleta de valores pela *ESP32 WIFI LORA* o programa *IDE* comunicará com a rede nuvem através de *wifi*, esta foi o tipo de comunicação escolhido devido a boa qualidade de transferência e também o alcance ser maior, pois segundo o *datasheet* da placa a rede *wifi* tem o alcance de 3km, sendo este resultado maior em relação ao alcance da comunicação *bluetooth*, na Figura 44 temos a placa *ESP32 WIFI LORA* a se comunicar com a rede.

O *Xampp* por sua vez recebe os valores e através da função *split* e separa os dados, para preenchimento da tabela de comparação, como pode ser visto na Figura 46 segue uma parte do programa com o recebimento dos valores e conversão dos valores para o preenchimento da tabela de controle utilizando o *Xampp*.

Figura 46 – Programa *Xampp* com função *split*

```

xamp >htdocs > testesp > insert_temp.php
1 <?php
2
3
4 if(isset($_GET["sensor"])) {
5     $sensors = $_GET["sensor"];
6     $vetsen = explode(";", $sensors);
7     echo $vetsen[0];
8     $servername = "localhost";
9     $username = "ESP32";
10    $password = "esp32io.com";
11    $dbname = "esp32_db";
12
13    // Create connection
14    $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
15    // Check connection
16    if ($conn->connect_error) {
17        die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
18    }
19
20    $sql = "INSERT INTO tbl_sens(sens1, sens2, sens3, sens4, sens5, sens6, sens7, sens8, sens9, sens10, sens11, sens12, sens13, sens14, se
21
22    if ($conn->query($sql) == TRUE) {
23        echo "Nova inserção no banco de dados";
24    } else {
25        echo "Error: " . $sql . " => " . $conn->error;
26    }
27
28    $conn->close();
29 } else {
30     echo "Sensores não foram setados";
31 }
32

```

Fonte: Próprio Autor

Seguindo assim para a próxima coleta de dados sendo o lado esquerdo, seguindo o mesmo princípio, contudo os sensores atuantes será os S11 à S19. Após a tabela preenchida, passará para o próximo estágio no qual será o envio do programa para a nuvem utilizando o programa *Azure*, na Figura 47 segue a tabela preenchida com os valores coletados.

Figura 47 – Tabela *Xampp* Preenchida

id	sens1	sens2	sens3	sens4	sens5	sens6	sens7	sens8	sens9	sens10	sens11	sens12	sens13	sens14	sens15	sens16	sens17
277	1	2	3	0	5	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5
278	2	4	6	0	10	2	4	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10
279	3	6	9	0	15	3	6	9	12	15	15	15	15	15	15	15	15
280	4	8	12	0	20	4	8	12	16	20	20	20	20	20	20	20	20
281	5	10	15	0	25	5	10	15	20	25	25	25	25	25	25	25	25
282	6	12	18	0	30	6	12	18	24	30	30	30	30	30	30	30	30
283	7	14	21	0	35	7	14	21	28	35	35	35	35	35	35	35	35
284	8	16	24	0	40	8	16	24	32	40	40	40	40	40	40	40	40
285	9	18	27	0	45	9	18	27	36	45	45	45	45	45	45	45	45
286	1	2	3	0	5	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5
287	2	4	6	0	10	2	4	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10
288	3	6	9	0	15	3	6	9	12	15	15	15	15	15	15	15	15

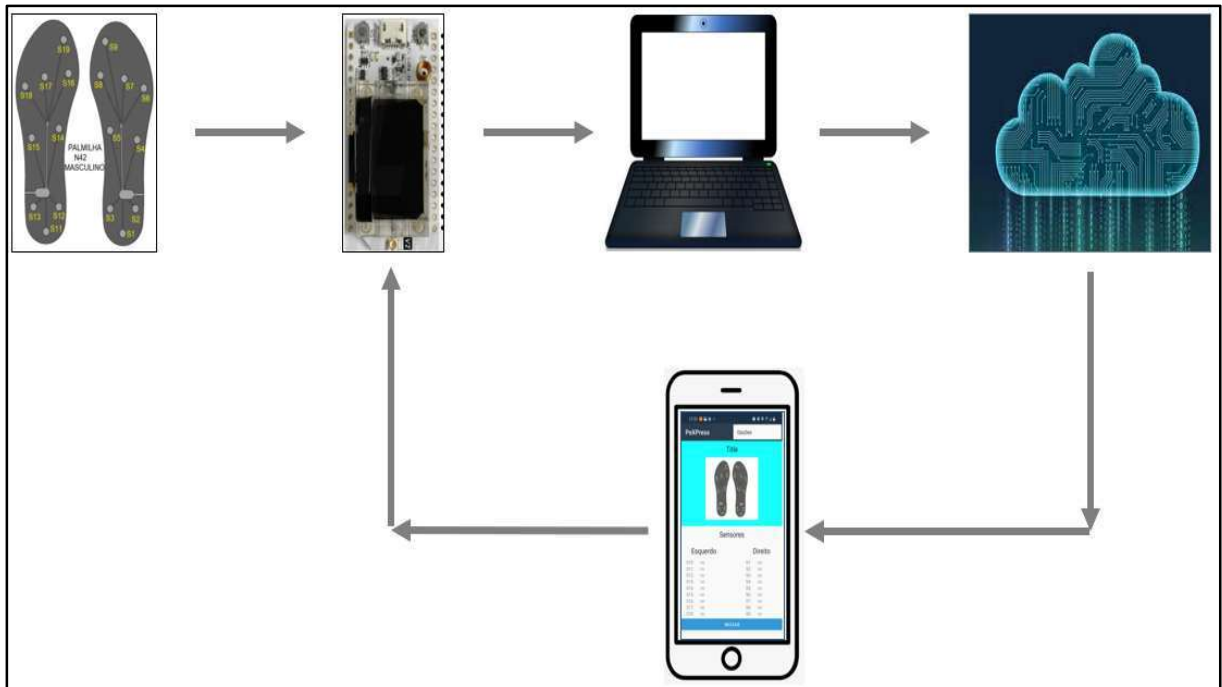
Fonte: Próprio Autor

3.4.3 Azure e aplicativo com *Xamarin Forms*

Para o funcionamento do programa *Azure*, sendo ele uma plataforma destinada à execução de aplicativos e serviços da *Microsoft* utilizando como base os conceitos da computação em nuvem utiliza-se o recebimento dos dados através de *MYSQL* e comunica com o aplicativo *mobile* no qual mostra os resultados.

Na Figura 48 mostra a sequência de envio e recebimento dos dados, ou seja, o aplicativo *mobile* comunica tanto com o servidor *online*, no qual recebe os valores do banco de dados como também com a placa *ESP32 WIFI LORA* que executa o liga e desliga do teste e envia os dados como os números de passos e peso do usuário.

Figura 48 – Sequência de comunicação



Fonte: Próprio Autor

O *software* utilizado *Xamarin.Forms* em seu desenvolvimento utiliza-se a linguagem *C#*, no qual foi necessário utilizar o compartilhamento *PCL* para desenvolver o aplicativo. Na Figura 49 abaixo mostra o aplicativo desenvolvido no qual será utilizado para o controle do teste da palmilha do projeto em desenvolvimento, sendo ele simples e de fácil utilização, pois usa tecnologia *android* sendo bastante comum no mercado atual.

Figura 49 – Tela principal do aplicativo *mobile*

Fonte: Próprio Autor

Na tela inicial, como pode ser visto tem dois ícones de acionamentos, sendo eles “opções” e “iniciar”. o ícone “iniciar” serve para dar início aos testes de pisada, ou seja, quando o software estiver configurado com as configurações básicas este ícone estará ativo e ao clicar o aplicativo iniciará e estará pronto para receber os dados da palmilha.

O ícone “opções” por sua vez chamará a tela de configurações iniciais, como pode ser visto na Figura 50, no qual tem os dados a ser preenchido, sendo eles, a *IP* da *ESP32 WIFI LORA*, ou seja, o endereço de comunicação do aplicativo com a placa eletrônica, este valor pode ser coletado através da visualização da tela da *ESP32 WIFI LORA* quando iniciado.

Figura 50 – Tela “opções” do aplicativo *mobile*

Fonte: Próprio Autor

Em seguida existe a quantidade de passos para análise, este é a quantidade de passos desejado para análise do usuário limitado ao valor de 30 passos e finalizando com o peso corporal em Kg do usuário, sendo estes a configuração básica para que seja executado os testes de análise e classificação do tipo de pisada do usuário utilizando o aplicativo mobile.

Após o preenchimento destes dados será necessário clicar no ícone “salvar” para enviar os dados para a placa eletrônica. Caso ocorra algum erro de parâmetro no preenchimento o aplicativo mostrará o erro de comunicação na tela, sendo necessário a correção para executar o bom funcionamento dos testes.

Nos resultados dos testes o aplicativo mostrará a tela de resultado, como pode ser visto no modelo de resultados da Figura 51, no qual mostra a possível classificação e logo abaixo os sensores ativados e os valores recebidos em cada sensor para análise.

Figura 51 – Tela resultado teste *mobile*



Fonte: Próprio Autor

3.4.4 Montagem e Testes de Pisada

Após a montagem das placas eletrônicas embutidas na caixa de proteção, foi necessário também instalar *velcro* para prender a mesma na perna do usuário teste, sendo ela de cor preta e com feixe adaptável, como pode ser visto na Figura 52 que mostra a caixa finalizada, a placa eletrônica ficou localizada abaixo da bateria, devido a facilidade de saída do circuito e entrada do cabo *USB*.

Figura 52 – Circuito montado com caixa de proteção



Fonte: Próprio Autor

O peso total do protótipo ficou em torno de 396g, com isso gerando um melhor conforto em sua utilização. Em relação a palmilha como pode ser visto na Figura 53 os fios de comunicação ficaram na lateral da palmilha, devido ao fato, de que caso seja instalado atrás do calcanhar os mesmos correm o risco de romper, devido a esta área ter uma maior fricção. Também pode ser visto a palmilha montada dentro do calçado, primeiramente sem a proteção para que possa ser observado a posição do sensor dentro do calçado sendo montado ambos os lados direito e esquerdo.

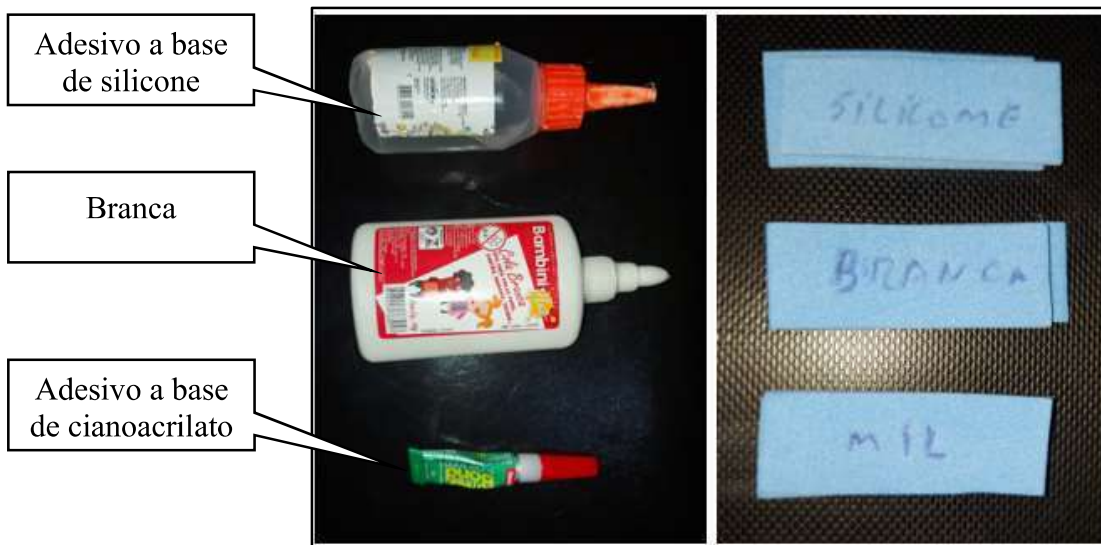
Figura 53 – Palmilhas Montadas



Fonte: Próprio Autor

Valendo ressaltar que também foi executado o teste de cola para se saber qual melhor cola utilizar na confecção da palmilha, no qual foi utilizado 3 tipos de cola. Para se ter um melhor resultado de construção foi efetuado o teste nas colas mais comum encontradas no mercado atual: o adesivo a base de silicone, cola branca e adesivo a base de cianoacrilato. conforme pode ser visto na Figura 54, no qual foi colado duas placas de EVA uma com a outra para verificar tempo de secagem e resistência.

Figura 54 – Teste de Cola



Fonte: Próprio Autor

Após os testes foi verificado que o adesivo a base de cianoacrilato, mais conhecida como “Cola Mil” ou “Cola Instantânea” colou em apenas 20 Segundos e segurou o EVA mesmo com bastante fricção, tendo assim um excelente resultado, enquanto que a cola branca secou rápido, contudo a mesma apresentou a descolagem muito fácil e simples e o adesivo a base de silicone ficou em secagem durante 20 minutos e não apresentou uma boa secagem e nem resistência a fricção, sendo assim a cola escolhida foi o adesivo a base de cianoacrilato para finalização da montagem.

3.4.5 Teste de conforto, caminhadas e construção de simulação de testes

Para se ter um bom resultado, além das placas eletrônicas, comunicações, análises de dados e etc. deve se analisar o conforto mínimo do usuário da palmilha, com isso foi desenvolvido uma análise de conforto do protótipo, sendo ele um questionário de perguntas no qual o usuário avalia o mínimo conforto necessário ao uso do sistema. Segue na Figura 55 uma parte do questionário no qual consta os dados do usuário teste do protótipo.

Figura 55 – Teste de conforto

1º Análise de Conforto	
1. Dados do Voluntário:	
Nome:	Edivan dos Santos Neves
Peso:	92Kg
Altura:	1,71m
Número:	42
	■
2. Dados da Palmilha:	
Tipo:	Material EVA
Número:	42
Peso Palmilha:	136g
Peso Controlador:	260g
Peso Total:	396g
3. Análise de conforto:	
3.1 Descrição:	Foi desenvolvida uma palmilha para o pé esquerdo e direito, sendo que a mesma é composta por camadas, seguindo a descrição abaixo:
	- Uma camada de 0.5cm EVA
	- Os Sensores Piezoelétrico (09 unidades)
	- Uma Camada de 0.2cm EVA
	- Uma camada de tecido de proteção
3.2 Tipo de Teste:	Foi efetuado uma caminhada Simples de 5 Minutos utilizando o protótipo no pé direito e uma pequena corrida de 3min:

Fonte: Próprio Autor

Como verificado, o resultado foi positivo em relação a execução do ato de caminhar utilizando o protótipo desenvolvido, sendo este o objetivo principal do projeto, contudo, caso necessita-se de análise em corrida o mesmo torna-se inviável devido ao atrito que ocorre entre a caixa de coleta e a perna do usuário. podendo ser analisado futuramente como atividade futura a ser desenvolvido, podendo ser visto na Figura 56 abaixo no qual mostra os testes sendo efetuado.

Figura 56 – Teste em execução



Fonte: Próprio Autor

Os testes executados foram: 20 passos medidos, sendo que repetidos 10 vezes e comparados os resultados e o horário de teste foram 19:35 pm, sendo o resultado obtido classificação de pé normal.

Contudo devido ao momento atual de pandemia não foi possível executar teste com mais usuários. Com isso tornou-se necessário a construção de protótipos de testes de pisadas com classificações de pisada tipos: chato, cavo, pronada e supinada, como pode ser visto na Figura 57 abaixo, com isso foi possível efetuar os testes necessários para a análise de mais resultados.

Figura 57 – Palmilha de testes construídas



Fonte: Próprio Autor

4 RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo mostrará os resultados obtidos após os testes do protótipo, sendo que considerando o objetivo final era o desenvolvimento de um protótipo de classificação do tipo de pisada utilizando sensores piezoeltricos, sendo este um projeto de pesquisa e com relevância acadêmica que finalizou com o objetivo alcançado dentro do padrões programados satisfatoriamente e entendemos que tal objetivo foi alcançado dentro das especificações programada.

4.1 RESULTADO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DO TIPO DE PISADA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICO

Na ultima fase do projeto mostrou-se uma maior dificuldade devido aos testes em execução não ser possível em pessoas que tem as características do problemas nos pés e devido ao nosso momento atual de pandemia, dificultou-se ainda mais os testes, tornando-se necessário o desenvolvimento de palmilhas simuladoras.

Pórem, após a conclusão dessa etapa foi possível realizar os testes de desempenho do sistema, que por sinal foi considerado satisfatório considerando o resultado esperado.

Figura 58 – Resultado do teste de pisada

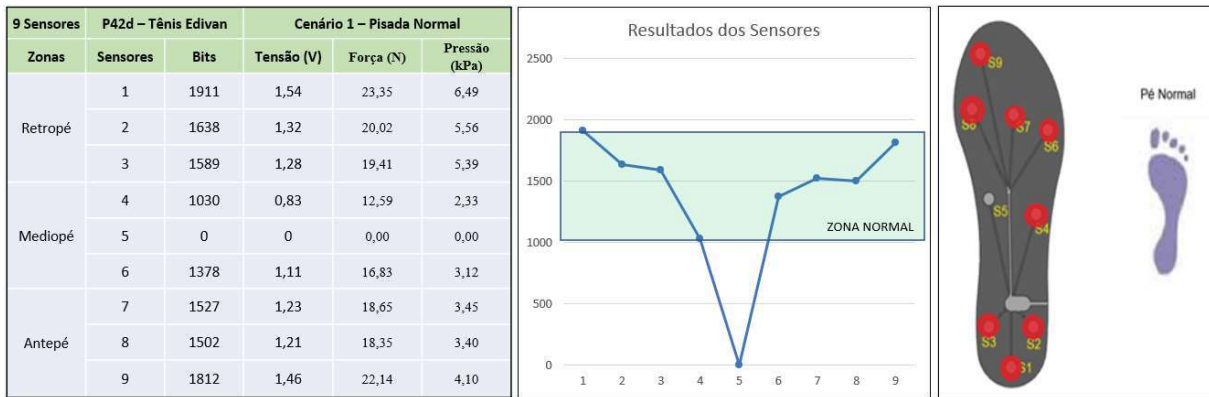


Fonte: Próprio Autor

Na Figura 58 acima mostra o resultado padrão do teste prático executado pelo usuário na tela do smartphone, assim como seu gráfico de dados e como pode ser verificado os valores de leitura dos dados estão dentro dos parâmetros classificado como chato, sendo que em todos os testes executados, no total de 10 testes consecutivos e os dados seguiram a mesma diretriz resultando na mesma classificação do tipo de pisada.

Com os testes em andamento foi utilizado as palmilhas simuladoras para a obtenção dos resultados e classificação dos tipos de pisadas de acordo com os dados coletados, a seguir tem-se os resultados obtidos utilizando as palmilhas simuladoras, assim como o gráfico de tabela de coleta de dados de tensão e bits.

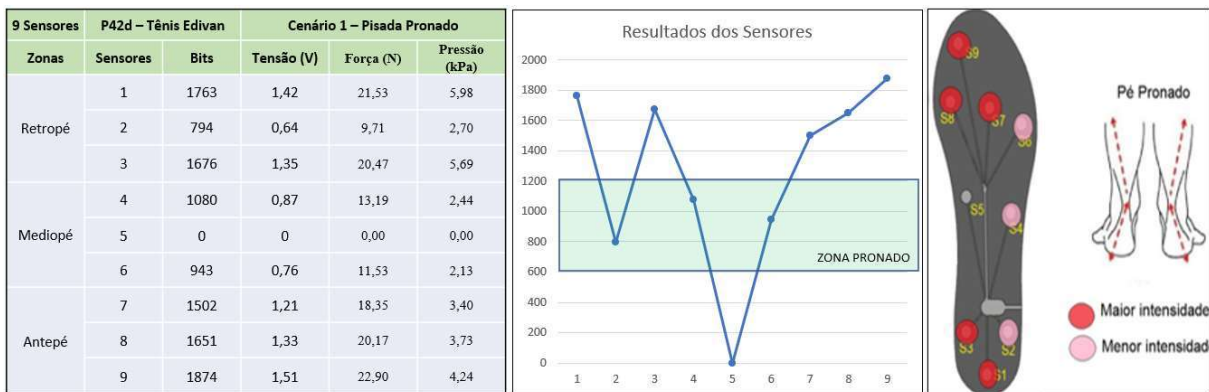
Figura 59 – Resultado pisada normal



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na Figura 59 acima os sensores ativos estão dentro da zona considerado normal, sendo que o único sensor que não esta dentro da zona é o sensor S05, com isso o teste foi considerado normal.

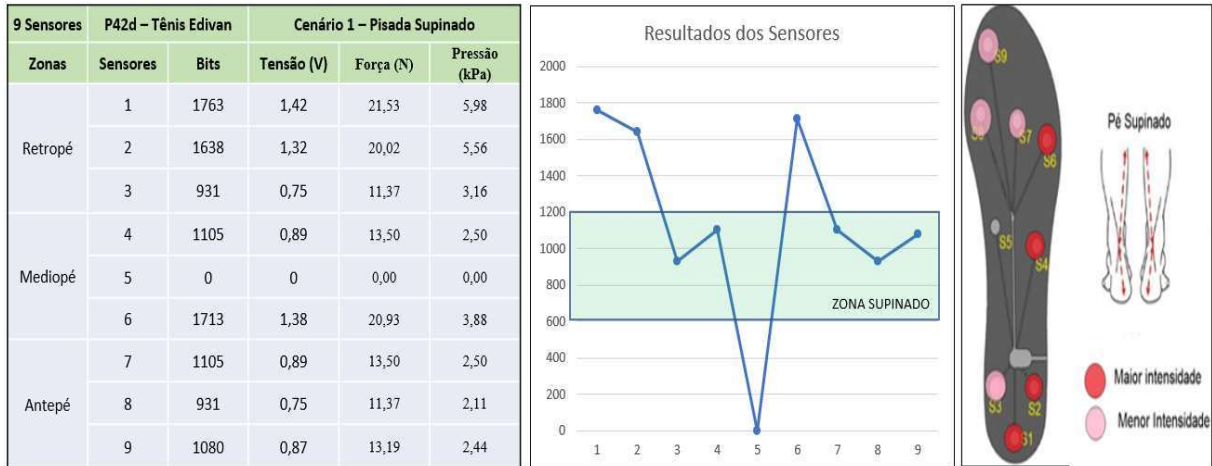
Figura 60 – Resultado pisada pronada



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na Figura 60 acima seguindo a definição caso ocorra dos sensores S02, S04 e S06 estiverem ativos dentro desta zona a pisada é considerado pronado, sensores acionados em cor vermelho e rosa.

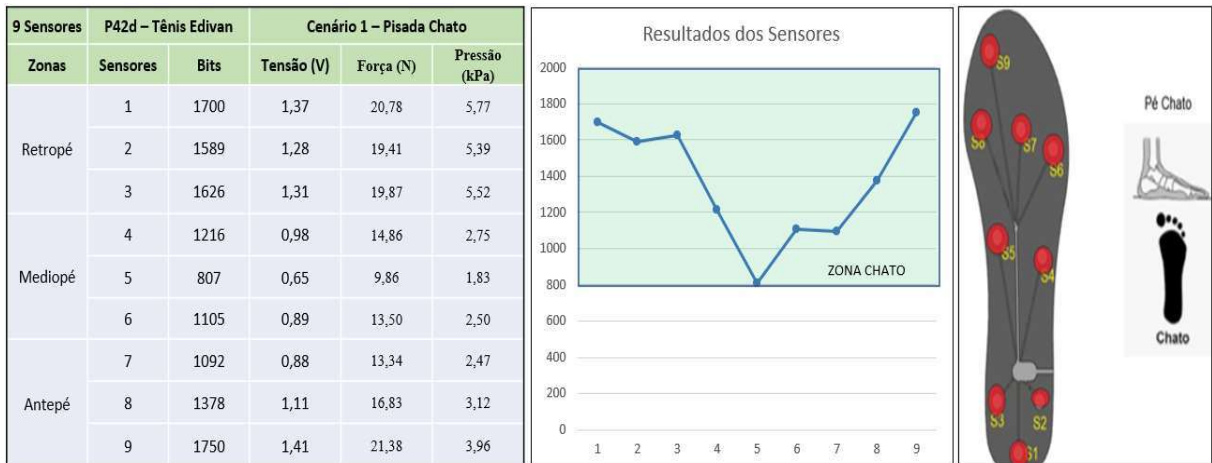
Figura 61 – Resultado pisada supinada



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na Figura 61 acima seguindo a definição caso ocorra dos sensores S03, S08 e S09 estiverem ativos dentro desta zona a pisada é considerado supinado, sensores acionados em cor vermelho e rosa.

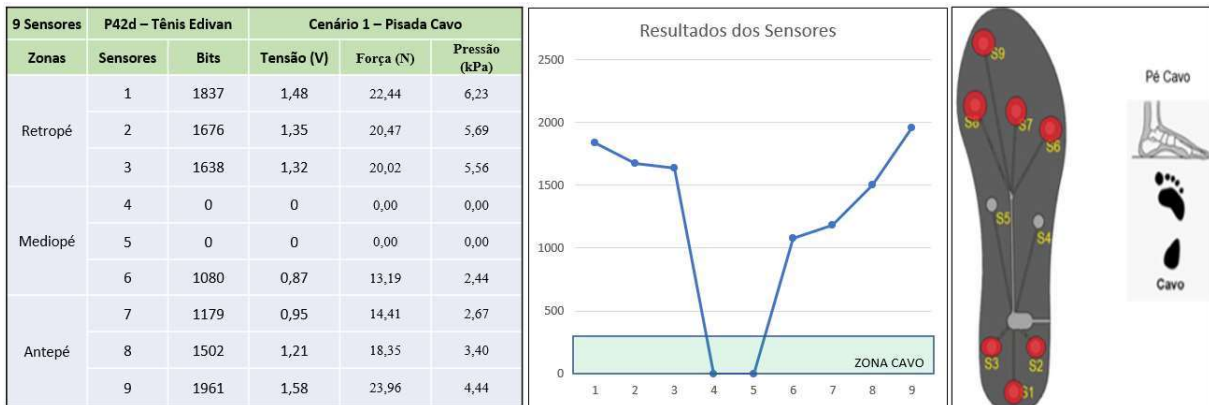
Figura 62 – Resultado pisada de pé chato



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na Figura 62 acima seguindo a definição caso ocorra de todos os sensores estiverem ativos dentro desta zona a pisada é considerado chato, sensores acionados em cor vermelho.

Figura 63 – Resultado pisada cavo



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na Figura 63 seguindo a definição caso ocorra dos sensores S04 e S05 estiverem ativos dentro desta zona a pisada é considerado chato, sensores acionados em cor vermelho.

Após a conclusão das simulações foi possível verificar o desempenho do projeto, no qual foi considerado satisfatório relacionando-o com o objetivo esperado no qual seria o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo de uma palmilha eletrônica para detecção do tipo de pisada utilizando sensores piezoelétricos, mesmo tendo o fator pandemia que dificultou o teste com mais usuários originou-se a ideia de desenvolver as palmilhas de simulação para verificar os possíveis diagnósticos, com isso alcançando resultado final esperado que foi a confecção da palmilha eletrônica e demais periféricos como a placa de controle, *softwares* de banco de dados em rede e o aplicativo *mobile*, com isso tendo um bom funcionamento.

CONCLUSÃO

No desenvolvimento da presente pesquisa foram realizados estudos e pesquisas acerca de assuntos como: classificação dos tipos de pisadas, sensores de pressão, sensores de tensão, assim como métodos de análises de conversão analógico/digital. Foram estudadas características da placa *ESP32 WIFI LORA*, assim como desenvolvimento de programação em arduino *IDE*, *XAMPP*, *visual studio*, *Xamarin.Forms*, conversão de linguagem, desenvolvimento do banco de dados e alimentação do banco de dados e aplicativo de celular para a coleta do banco de dados e plotagem dos resultados do tipo de pisada.

Ao decorrer da pesquisa observou-se a quanto é importante o conhecimento multidisciplinar obtido no meio acadêmico, assim como os laboratórios de programação e testes, para que possa não apenas pesquisar sobre o assunto, como desenvolver o projeto e verificar na prática seu funcionamento. Observar as dificuldades e procurar soluções para os mais diversos problemas que surgem durante os testes, com isso aumentando a versatilidade e conhecimento e mostrando o quanto é vasto a área que um engenheiro pode atuar, moldando assim um excelente profissional no mercado que não se prende apenas a uma pequena área, mais sim a solucionar diversas problemas que serão impostas em suas atividades futuras.

No sistema de plotagem de resultados por *mobile* obteve-se o esperado, no qual o celular coletou a informação da nuvem e plotou o resultado e simultaneamente comunicou com a palmilha para ligar o teste e efetuar a configuração inicial dos dados do usuário do teste, contudo entre a *ESP32 WIFI LORA* foi necessário utilizar o computador para este *link* entre placa eletrônica e a nuvem. Para o trabalho futuro pode-se implementar como melhorias, a comunicação direta da placa *ESP32 WIFI LORA* diretamente com a nuvem sem a necessidade de utilizar o computador, implantação de um cabeamento mais maleável e um sistema mais leve para que possa ocorrer o teste não apenas de passos e sim de corrida ou grandes caminhadas.

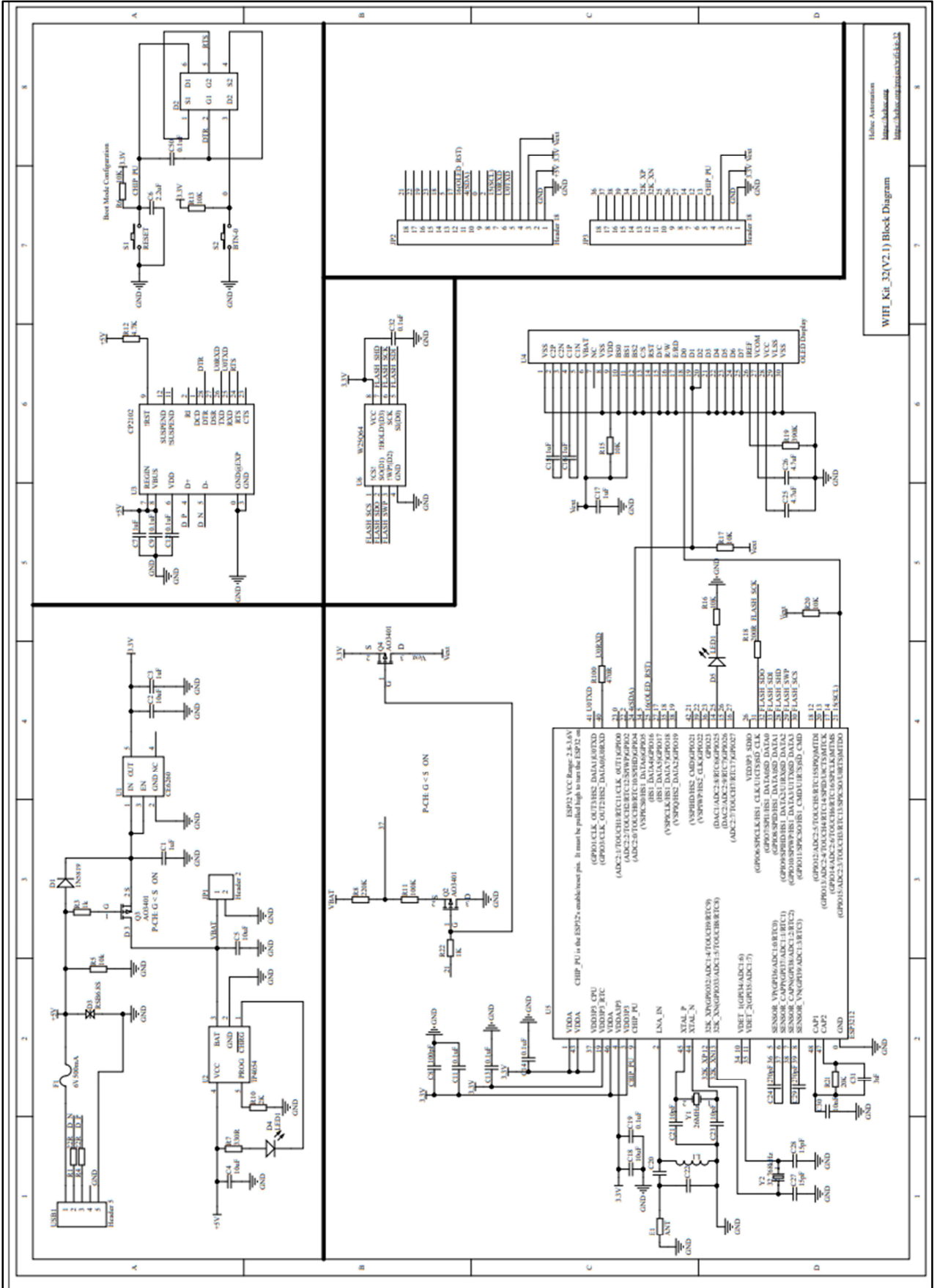
Com base nos resultados obtidos, verificou-se que é possível utilizar os sensores piezoelétricos para medição e classificação dos tipos de pisadas, medindo os valores através dos passos, com isso é possível solucionar o problema apresentado neste trabalho. Desta forma a hipótese apresentada na introdução teve sua veracidade comprovada.

REFERÊNCIAS

- ASICS. **Compreender o seu tipo de pé.** [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.asics.com/pt/pt-pt/running-advice/understanding-pronation-find-the-right-shoes-for-you/>>. Acessado: 19 jun. 2021.
- AUTODESK. **Inventor.** 2021. [S.l.], Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acessado: 20 out. 2021
- BARBAN, Rafael. **Anatomia do pé.** [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.rafaelbarban.com.br/anatomia-do-pe/>>. Acessado: 10 jun. 2021.
- BRASIL ESCOLA. **O-que-e-pessao.** [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-pessao.htm>>. Acessado: 22 out. 2021.
- BLUM, J. **Explorando o Arduino: Técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia.** 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.
- CASE, THOMAS A. **Os Pés Brasileiros.** São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.pessemador.com.br/pesquisas/os-pes-brasileiros/>>. Acessado: 10 jun. 2021.
- DOCTOR FEED. **Tipo de pés e pisadas.** 2020. Disponível em: <<https://doctorfeet.com.br/dicas/tipos-de-pes-e-pisadas/>>. Acessado: 12 jun. 2021.
- FELIPEFLOP. **introducao-ao-fritzing.** 2021. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/introducao-ao-fritzing/>>. Acessado: 10 jun. 2021.
- FLORES, H. M. L. P. **Contact Force Models for Multibody Dynamics.** [S.l.]: Springer, 2016. Disponível em: <<https://ibook.pub/ql/contact-force-models-for-multibody-dynamics>>. Acessado: 16 jun. 2021.
- GOULD, J.S. **The foot book.** Willians & Wilkins (ed.), Baltimore, USA, 1988. Disponível em: <<http://procne-thessaloniki.tubabaz.xyz/download/MJpsAAAAMAAJ-the-foot-book>>. Acessado: 16 jun. 2021.
- HBK Company. **Guia De Seleção Para Sensores Piezo: Como Fazer A Decisão Correta.** Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/6810/sensores-piezoeltricos-qual-o-ideal-para-minha-aplicacao>>. Acessado: 19 jun. 2021.
- HELTEC AUTOMATION. **Wifi Lora 32 V2.** 2021. Disponível em: <<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>>. Acessado: 21 out. 2021.
- LEDOUX, W. R.; HILLSTROM, H. J. **Acceleration of the calcaneus at heel strike innentrally aligned and pes planus feet.** *Gait & posture*, v. 15, n.1, 2002.
- MERCADOLIVRE. **Mlivre.** [S.l.], 2021. Disponível em: <[https://lista.mercadolivre.com.br/baropodometria#D\[A:baropodometria\]](https://lista.mercadolivre.com.br/baropodometria#D[A:baropodometria])>. Acessado: 24 jun. 2021.
- MICROSOFT. **Visual Studio.** [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019>>. Acessado: 16 jun. 2021.

- ORTOPEDIA ESPECIALIZADA. **Pé e Tornozelo**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.ortesp.com.br/index.php/especialidades/pe/>>. Acessado: 10 jun. 2021.
- OLIVEIRA, S. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. 1. ed. São Paulo: Novactec, 2017.
- ROSARIO, J. L. *A review of the utilization of baropodometry in postural assessment*. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, v. 18, n. 2, 2014.
- SHIMABUKO, Felipe. **Projeto de tornozelo mecânico e avaliação de joelho mecânico para amputados**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www2.ene.unb.br/antonio/resources/reports/fscsousa2014.pdf>>. Acessado: 16 jun. 2021.
- SILVA, J. L. K. M. **Análise da correlação de métodos de avaliação da pisada relacionada à ativação neuromuscular**. Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1349>>. Acessado: 18 jun. 2021.
- TAO, W. et al. *Gait analysis using wearable sensors*. v. 12, p. 2255–2283. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221967661_Gait_Analysis_Using_Wearable_Sensors>. Acessado: 20 jun. 2021.
- USINA IND. COMÉRCIO E IMPORTAÇÃO. **ESP32 LoRa WiFi SX1278 433MHZ de longo alcance com display OLED e bluetooth**. Santo Ângelo, [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/lora/esp32-lora-wifi-sx1278-433mhz-de-longo-alcance-com-display-oled-e-bluetooth-5517.html>>. Acessado: 22 jun. 2021.
- UPTODOWN. **Xampp**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://xampp.br.uptodown.com/windows>>. Acessado: 10 out. 2021.
- VISUALSTUDIO. **Xamarin**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/xamarin/>> Acessado: 08 out. 2021.
- WIKIPEDIA. **Fritzing**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Fritzing>> Acessado: 01 out. 2021.

ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO ESP32 WIFI LORA



WiFi_Kit_32(V2.1) Block Diagram

Holube Automation
https://holube.com

https://holube.com/2023/03/23/

ANEXO B - CÓDIGO COMPLETO DA SEGUNDA TELA

