

**FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA
CURSO TÉCNICO EM ELETRÔNICA**

**MANUELA SCHNEIDER GOTTSCHALCK
MARIANA STEFANI IRIGARAY**

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PISADA COM ALERTA SONORO

Orientador: Professor Marco César Sauer

**Novo Hamburgo
2023**

MANUELA SCHNEIDER GOTTSCHALCK
MARIANA STEFANI IRIGARAY

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PISADA COM ALERTA SONORO

Relatório de pesquisa desenvolvido por alunas do Curso Técnico de Eletrônica da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha apresentado ao comitê de avaliação da MOSTRATEC.

Orientador: Marco César Sauer

Novo Hamburgo

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

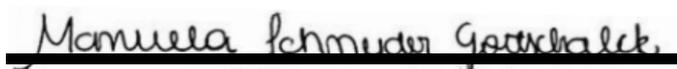
MANUELA SCHNEIDER GOTTSCHALCK
MARIANA STEFANI IRIGARAY

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PISADA COM ALERTA SONORO

FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA

CURSO TÉCNICO EM ELETRÔNICA

Novo Hamburgo, setembro de 2023



Manuela Schneider Gottschalck



Mariana Stefani Irigaray



Marco César Sauer
Professor orientador

RESUMO

Pessoas que pisam de maneira incorreta ou que sofreram acidentes nos membros inferiores, necessitam do processo de reabilitação. Segundo ortopedistas, a pisada errada, desenvolve diversas consequências como dores, torções e deformações na coluna vertebral. A pisada correta ocorre quando o retropé encosta primeiro no chão, sendo identificada a partir dos pontos da planta do pé que foram pressionados. Esta pesquisa tem como propósito desenvolver um sistema que identifica a pisada e envia um *feedback* sonoro ao usuário indicando se ela ocorre de forma correta ou incorreta. Foi realizada uma revisão de literatura e consultas com fisioterapeuta para entender quais pontos da pisada humana que a caracterizam. Foi desenvolvida uma palmilha em modelo 3D e impressa em TPU. Na palmilha foram inseridas chaves tact que detectam os pontos da planta do pé. O microcontrolador é responsável por ler os sinais das chaves, identificar as zonas da planta do pé e gerar o sinal de *feedback* sonoro. O sinal, por sugestão do IBTeC, é composto por notas musicais associadas a cada região do pé. Quando ocorre uma pisada correta, tem-se notas harmônicas e caso contrário notas não harmônicas. Para cada zona, antepé, mediopé e retropé são geradas as notas MI, RÉ e DÓ, e para regiões incorretas da pisada são geradas as notas SOL e LÁ. A contagem das pisadas totais, pisadas incorretas, a relação entre elas e os sensores que são pressionados são enviados, via bluetooth, a um aplicativo. Foram realizados testes simulando pisadas para verificar o funcionamento do sistema. Para uma pisada correta foram acionadas as notas DÓ, RÉ e MI, sendo um som harmônico. Para as pisadas incorretas foram gerados sons desarmônicos mas condizentes com cada área pressionada. O sistema consegue identificar zonas da pisada e gerar um *feedback* para o usuário de acordo com a área da planta do pé que está sendo pressionada, sendo uma ferramenta auxiliar na reabilitação.

Palavras chave: Palmilha, Pisada Humana, Fisioterapia, Sistemas Embarcados;

ABSTRACT

People who step incorrectly or have experienced accidents in their lower limbs require the rehabilitation process. According to orthopedists, improper foot placement leads to various consequences such as pain, sprains, and spinal deformities. Correct foot placement occurs when the hindfoot touches the ground first and is identified by the points on the sole of the foot that are pressed. The purpose of this research is to develop a system that identifies foot placement and provides auditory feedback to the user, indicating whether it is correct or incorrect. A literature review was conducted, and consultations with a physiotherapist were carried out to understand the specific characteristics of the human foot placement. A 3D model insole was developed and printed in TPU. Tactile keys were inserted into the insole to detect the points on the sole of the foot. The microcontroller is responsible for reading the signals from the keys, identifying the foot regions, and generating the auditory feedback signal. The signal, as suggested by IBTeC, is composed of musical notes associated with each foot region. When a correct foot placement occurs, there are harmonious notes, and in case of incorrect placement, non-harmonious notes are generated. For each region, forefoot, midfoot, and hindfoot, the notes E, D, and C are generated for correct placements, and the notes G and A are generated for incorrect regions of the foot placement. The total count of steps, incorrect steps, their ratio, and the sensors being pressed are sent via Bluetooth to a mobile application. Tests were conducted simulating steps to verify the system's functionality. For a correct foot placement, the C, D, and E notes were triggered, producing a harmonious sound. For incorrect foot placements, non-harmonious sounds were generated, consistent with the area being pressed. The system can identify foot regions and provide feedback to the user based on the area of the sole of the foot being pressed, serving as an auxiliary tool in the rehabilitation process.

Keywords: Insole, Human Footstep, Physiotherapy, Embedded Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zonas do pé.....	12
Figura 2: Estrutura da chave tact.....	14
Figura 3: TPU.....	14
Figura 4: Módulo Bluetooth RS232 HC 05.....	16
Figura 5: Diagrama geral do protótipo.....	19
Figura 6: Encaixe para sensor I.....	21
Figura 7: Encaixe para o sensor II.....	22
Figura 8: Base da palmilha (parte I).....	23
Figura 9: Tampa da palmilha (parte II).....	24
Figura 10: Palmilha impressa.....	24
Figura 11: Esquema elétrico da ligação dos sensores.....	26
Figura 12: Divisão dos sensores.....	27
Figura 13: Esquemático do circuito amplificador.....	28
Figura 14: Aplicativo.....	30
Figura 15: Diagrama de blocos do aplicativo.....	30
Figura 16: Cores dos sensores.....	31
Figura 17: Diagrama elétrico do circuito.....	32
Figura 18: Confeção do protótipo.....	32
Figura 19: Teste 01.....	35
Figura 20: Teste 02.....	36
Figura 21: Teste 03.....	36
Figura 22: Teste 04.....	36
Figura 23: Teste 05.....	37
Figura 24: Teste 06.....	37
Figura 25: Simulação 01.....	38
Figura 26: Simulação 02.....	38

	7
Figura 27: Simulação 03.....	39
Figura 28: Simulação 04.....	39
Figura 29: Simulação 05.....	40
Figura 30: Simulação 06.....	41
Figura 31: Simulação 07.....	41
Fonte: As autoras (2023).....	41
Figura 32: Simulação 08.....	42
Figura 33: Parecer técnico.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Problema.....	11
1.3 Objetivo.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Análise da pisada humana.....	12
2.2 Consequências da má distribuição do peso sobre o pé.....	12
2.3 Reabilitação.....	13
2.4 Membrana de borracha.....	13
2.5 Chave Tact.....	13
2.6 Impressão 3D.....	14
2.7 Poliuretano Termoplástico (TPU).....	14
2.8 Autodesk Inventor Professional.....	15
2.9 ARM Cortex - M4 STM32F411 blackpill.....	15
2.10 CubeIDE.....	15
2.11 Hal library.....	15
2.12 Feedback sonoro.....	15
2.13 Alto falante.....	16
2.14 Módulo Bluetooth RS232 HC 05.....	16
2.15 MIT APP Inventor.....	16
2.16 Produtos Semelhantes.....	17
3 METODOLOGIA.....	18
3.1 Coleta de informações.....	18
3.2 Tecnologias similares e palmilhas existentes no mercado.....	18
3.3 Critérios do projeto.....	19
3.4 Sistema de Detecção de Pisada com Alerta Sonoro.....	19

	9
3.5 Sensores.....	20
3.6 Encaixes para o sensor.....	20
3.7 Desenho da palmilha.....	23
3.8 Leitura dos sensores.....	25
3.9 Identificação de partes da planta do pé.....	27
3.10 Feedback sonoro.....	27
3.11 Circuito amplificador.....	28
3.11 Contadores.....	29
3.13 Bluetooth.....	29
3.13 Aplicativo.....	29
3.14 Confecção do protótipo.....	31
3.15 Testes.....	33
4 ANÁLISE DE DADOS.....	35
4.1 Parecer técnico.....	42
5 CONCLUSÃO.....	44
6 REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Pessoas que pisam de maneira incorreta ou que sofreram acidentes nos membros inferiores, necessitam de acompanhamento direto de fisioterapeuta ou ortopedista para que sua caminhada volte ao normal, ingressando no processo de reabilitação. De acordo com o World Health Organization (2011), o significado de reabilitação é “o conjunto de medidas que ajudam pessoas com deficiência ou prestes a adquirir deficiências a terem e manterem uma funcionalidade ideal na interação com seu ambiente”. Este processo leva a múltiplas consultas com profissionais da saúde para orientar e verificar a evolução da recuperação. Porém, para muitos indivíduos, esse processo é inviável, devido a quantidade de gastos gerados, ou mesmo se o meio de consulta for pelo SUS (Sistema Básico de Saúde), essas consultas podem levar muito tempo para serem feitas. Esses empecilhos para o tratamento podem agravar o quadro patológico do indivíduo, gerando novas doenças relacionadas aos membros inferiores, como a má distribuição do peso sobre a planta do pé e suas consequências.

Quando a pisada é feita de forma incorreta, podem ser desenvolvidas consequências a curto e a longo prazo como dores, doenças no pé, torções e até mesmo deformações na coluna vertebral (COLLEONI, 2021). Diversas vezes, o corpo acaba realizando compensações que aumentam a sobrecarga das articulações, podendo acarretar em lesões agudas ou crônicas (LACOMBE, 2018). De acordo Felipe Santa Rita (2014), membro da Associação Brasileira de Podoposturologia, 80% das pisadas erradas são pronadas (pisada para lado interno) e 20% são supinadas (pisada para lado externo). Caminhadas onde as pisadas não são neutras ocasionam em problemas musculares e ósseos

No mercado, existem palmilhas ortopédicas com deformações para corrigir pisada, porém não dispõem de recursos para educar o usuário sobre a forma correta de pisar. Essas palmilhas necessitam que um profissional avalie a pisada frequentemente, o que, em muitos tratamentos, não é viável. Como também há

tecnologias capazes de medir a pressão em pontos específicos da planta do pé através de sensores, essas realizam a análise da pisada, e devem ser utilizadas por profissionais da saúde dentro de laboratórios.

Visando auxiliar no tratamento ou prevenção de patologias relacionadas a má distribuição dos pontos de apoio da planta do pé durante a caminhada, pretende-se desenvolver uma palmilha que monitora a pisada e envia um retorno sonoro indicando se a pisada está correta ou em qual parte da pisada há o erro. Este sinal, por sugestão do Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçado e Artefatos (IBTeC), é composto por notas musicais associadas a cada região do pé. Desta forma, o usuário percebe se a sua pisada está correta ou não imediatamente, evitando criar vícios caso ele já esteja pisando de forma errônea. Essa palmilha pode ser usada com qualquer calçado ao longo do dia na rotina normal do usuário, não ficando restrita ao uso em laboratório.

1.2 Problema

Como identificar as áreas de apoio da planta do pé durante a caminhada humana?

1.3 Objetivo

Desenvolver um sistema que seja capaz de identificar as áreas de apoio da planta do pé durante a caminhada humana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos que foram estudados para o desenvolvimento da pesquisa. Com ênfase na análise da pisada humana e tecnologias escolhidas para a pesquisa.

2.1 Análise da pisada humana

Para distinguir se a pisada está correta ou não, é preciso analisá-la de acordo com as partes do pé. De acordo com Lourenço (2021), cada parte tem uma função durante a caminhada, informação que será utilizada para comparar a pisada. O pé possui o retropé, que fica na parte traseira da sola, que é o primeiro a encostar no chão durante a caminhada. Já a parte do antepé, acaba sendo a última a ser tocada no solo durante o movimento. A região do médiopé, é a parte do meio do pé, sendo o segundo a encostar no solo. Essa região possui um arco que tem a responsabilidade de amortecer o peso e impacto dos pés.

Figura 1: Zonas do pé



Fonte: HIRATA (2022).

2.2 Consequências da má distribuição do peso sobre o pé

Quando a pisada é feita de forma incorreta, o corpo realiza uma compensação de peso que leva a sobrecarga das articulações do joelho, quadril e principalmente da coluna vertebral, causando dores fortes (MARTINS, citado por

PIO, 2016). As doenças que podem ser desenvolvidas são: fascite plantar, canelite, esporão do calcâneo, tendinite de aquiles, síndrome do túnel do tarso, entre outras.

2.3 Reabilitação

A reabilitação é um processo que, segundo o World Health Organization (2011), ajuda indivíduos que tiveram perdas funcionais ou que estão prestes a adquiri-las a se recuperarem, melhorando suas capacidades de realizar tarefas no meio em que vivem. Citam também que esse processo não precisa envolver somente profissionais da área, a comunidade, família e amigos juntos de tecnologias assistivas podem ajudar, reduzindo despesas, períodos de hospitalização e melhorando a qualidade de vida do indivíduo em reabilitação. Sendo assim, é fundamental que a pessoa tenha conhecimento de sua condição física e das etapas necessárias para se recuperar, podendo assim alcançar o mais próximo da autossuficiência possível.

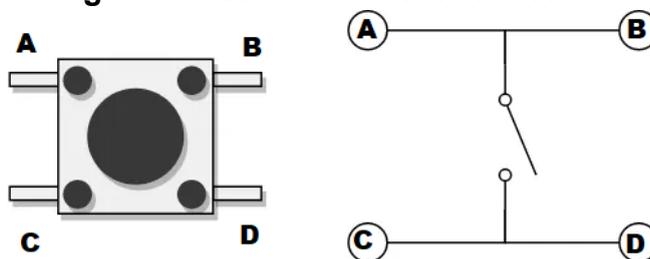
2.4 Membrana de borracha

O uso mais comum de uma membrana de borracha é em teclados. Ele é composto por três camadas: membrana superior, buracos para as teclas (key holes) e membrana inferior. Um teclado de membrana utiliza uma membrana com circuitos para detectar quando uma tecla é pressionada (VALERI, 2022).

2.5 Chave Tact

O botão push button é um interruptor pulsador que conduz corrente elétrica somente quando pressionado, fechando os contatos do dispositivo. Esse componente eletrônico é muito utilizado na prototipagem de projetos eletrônicos tanto na protoboard quanto na placa de circuito impresso (VIANA, 2020).

Figura 2: Estrutura da chave tact



Fonte: Mesquita (2022).

2.6 Impressão 3D

A impressão 3D, também chamada de fabricação aditiva, é uma família de processos que produz objetos ao adicionar material em camadas que envolvem as elasticidades transversais sucessivas de um modelo 3D. O plástico e as ligas de metal são os materiais mais comumente usados para impressão 3D, mas quase tudo pode ser usado — do concreto ao tecido vivo (Autodesk).

2.7 Poliuretano Termoplástico (TPU)

O TPU (Poliuretano Termoplástico) é, no mundo da impressão 3D, um filamento que possui características que variam entre a borracha e o plástico. Com a junção de propriedades físicas e químicas se torna uma material flexível e com muitas utilidades diferentes, principalmente na área automotiva. Possui características como: flexibilidade, resistência e impermeabilidade.

Figura 3: TPU



Fonte: 3D Fila (2019).

2.8 Autodesk Inventor Professional

O Software Autodesk Inventor Professional oferece ferramentas para desenhos 2D e 3D. É utilizado para o desenvolvimento de projetos mecânicos, documentação, simulações de produtos e também para projetos que são impressos 3D.

2.9 ARM Cortex - M4 STM32F411 blackpill

O microcontrolador escolhido é o M4 STM32F411 blackpill, da ARM. A placa possui 512 Kbytes de flash, 128 Kbytes de SRAM e opera com, no máximo, 100 MHz. Esta placa foi escolhida por ser pequena, leve e possuir um alto desempenho.

2.10 CubeIDE

STM32CubeIDE é uma plataforma avançada de desenvolvimento C/C++ com configuração de periféricos, geração de código, compilação de código e recursos de depuração para microcontroladores e microprocessadores STM32. É baseado na estrutura Eclipse®/CDT™ e na cadeia de ferramentas GCC para o desenvolvimento e GDB para a depuração. Permite a integração de centenas de plugins existentes que completam as funcionalidades do Eclipse® IDE. (STMicroelectronics, 2016)

2.11 Hal library

Hardware Abstraction Layer, ou Camada de Abstração de Hardware, é uma biblioteca que gerencia periféricos, portas e comunicações de um microprocessador, visando a abstrair a parte de software e hardware, tornando possível que diferentes microprocessadores rodem o mesmo programa sem haver alterações no código. (HAL - Hardware Abstraction Layer, 2013).

2.12 Feedback sonoro

O feedback sonoro ou retorno sonoro, é uma resposta sonora à aquilo que foi acionado ou pressionado. De acordo com a fisioterapeuta Carol Dorneles, o

feedback através do som pode ser benéfico para o processo de reabilitação, auxiliando o paciente de forma clara e instantânea.

2.13 Alto falante

Alto falantes são dispositivos eletrônicos que emitem som através da conversão de energia elétrica em mecânica. É formado por uma bobina, um cone de plástico ou papel, uma estrutura de plástico ou ferro e um ímã (Solda Fria).

2.14 Módulo Bluetooth RS232 HC 05

O módulo bluetooth permite a comunicação e envio de dados sem a necessidade de fios. Esse módulo possui duas configurações: Master e Slave, também pode ser configurado via comandos AT pela porta serial. O módulo dispõe de 6 pinos de entrada e saída além de utilizar a versão 2 do padrão Bluetooth.

Figura 4: Módulo Bluetooth RS232 HC 05



Fonte: Hobby Components (2014).

2.15 MIT APP Inventor

O MIT APP Inventor é uma plataforma onde podem ser criados aplicativos para Android de forma simples. A plataforma foi criada dentro dos laboratórios do

Massachusetts Institute of Technology (MIT) nos Estados Unidos e hoje possui mais de 400 mil usuários. O App Inventor oferece uma grande abrangência de aplicações e recursos, desde aplicativos simples até aplicativos mais complexos.

2.16 Produtos Semelhantes

No mercado há alguns produtos para medir a pressão da pisada ou até mesmo para corrigi-la. O baropodômetro é um dispositivo fixo que consegue captar as pressões nos pontos do pé e transmitir para meios gráficos para ser visualizado. Palmilha clínicas têm a mesma função porém são portáteis e geralmente possuem um custo alto. Já as palmilhas ortopédicas são confeccionadas de acordo com a necessidade do paciente e não mudam sua estrutura.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos detalhadamente os procedimentos, métodos de testes e análises realizados durante o desenvolvimento da pesquisa.

A pesquisa teve início dia 16 de fevereiro de 2023 e continua em desenvolvimento. Ela visa o desenvolvimento de um sistema que seja capaz de identificar a pisada humana e alertar sobre sua execução, logo é classificada como uma pesquisa tecnológica. Quanto aos procedimentos técnicos é uma pesquisa experimental, devido ao objetivo de gerar inovação através de um protótipo desenvolvido a base de testes e experimentos feitos nos laboratórios da escola.

3.1 Coleta de informações

Foram realizadas revisões bibliográficas e também consultas com fisioterapeutas para entender a pisada humana e seu processo de reabilitação. Ao caminhar, a pisada correta ocorre quando o calcanhar é a primeira parte da planta do pé a encostar no chão (AGUIAR, 2023). Seguindo o sentido calcanhar, arco e dedos. A recuperação de uma pisada incorreta ocorre através de fisioterapia, uso de palmilhas específicas ou calçados ortopédicos.

3.2 Tecnologias similares e palmilhas existentes no mercado

Ao pesquisar produtos semelhantes no mercado, foram encontradas as seguintes opções:

- Baropodômetro: Trata-se de uma plataforma que identifica a pressão plantar do pé quando uma pessoa pisa em cima. É um dispositivo móvel e com um custo alto.
- Palmilha Ortopédica: É utilizada para corrigir a má distribuição de pressão na pisada, ajustando de acordo com a necessidade do paciente para suprir vícios e malformações ósseas ou musculares.
- Palmilha Inteligente: Possui sensores que captam a pressão do pé durante a caminhada. É utilizada por ortopedistas e fisioterapeutas para captar a pisada do paciente e identificar as deformações na marcha, recebendo assim, um

tratamento de acordo com a necessidade. Seu maior empecilho é o alto custo e o uso ser específico para a comunidade médica.

3.3 Critérios do projeto

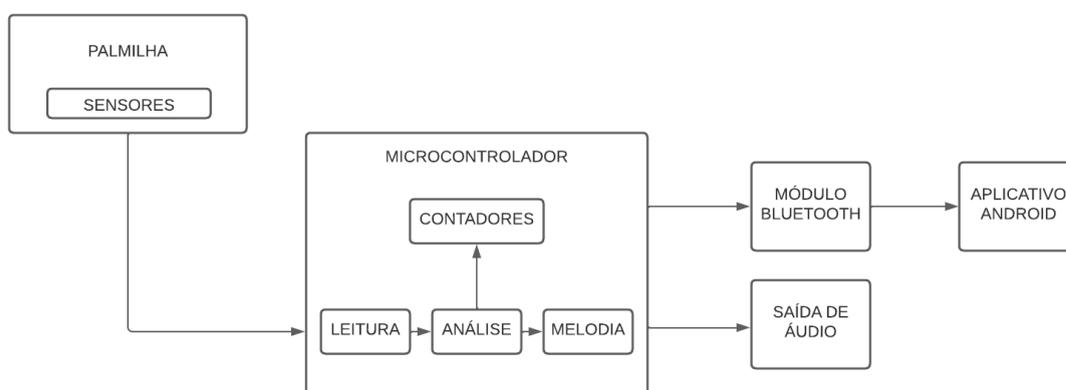
Após analisar as informações coletadas e observar produtos semelhantes, foram definidos os critérios de projeto que estão listados abaixo:

- Detectar a pisada em mais de 20 pontos, para identificar a planta do pé inteira;
- Emitir um feedback sonoro, para que o usuário consiga escutar de forma instantânea a análise da pisada;
- Identificar o status da pisada, verificando se está correta ou incorreta;
- Ser portátil, possibilitando a utilização em qualquer ambiente;

3.4 Sistema de Detecção de Pisada com Alerta Sonoro

No mercado, existem palmilhas eletrônicas que detectam a pressão da pisada, porém nenhuma que tenha a capacidade de ser de fácil acesso ao usuário e que informe como sua caminhada se desenvolve ao longo do tempo. Pensando nisso, foi desenvolvido o diagrama de blocos a seguir (figura 5):

Figura 5: Diagrama geral do protótipo



Fonte: As autoras(2023).

O sistema representado na figura 5, foi elaborado para auxiliar a análise e o tratamento corretivo da pisada humana. Constituindo-se numa palmilha impressa em

3D com o material TPU (Poliuretano Termoplástico), esta contém chaves tact que atuam como sensores capazes de captar os pontos da planta do pé que foram pressionados durante a caminhada. O microcontrolador lê todos os sensores e realiza a análise da pisada, alertando se está correta ou incorreta. Desta forma o usuário tem um feedback imediato do status de sua marcha, auxiliando o paciente a corrigi-la. O microcontrolador também conta a quantidade de pisadas totais, de pisadas corretas, de pisadas incorretas e faz uma relação entre estas quantias. Estes dados (contadores, relação de pisadas totais e incorretas, e valores do estado das chaves lidas) são enviados, via bluetooth, a um aplicativo Android. Este aplicativo foi desenvolvido para que possam ser visualizados os pontos de contato da palmilha e também os indicadores de número de pisadas totais e incorretas. Esses dados permitem ao profissional acompanhar o progresso do tratamento.

3.5 Sensores

Analisando, foi concluído teoricamente que pontos de contato conseguiriam realizar a identificação de determinados pontos do pé. Foi realizada uma pesquisa para verificar os diferentes tipos de contatos que poderiam ser utilizados.

Os primeiros testes feitos foram com dois tipos de teclados membrana. Um deles sendo um teclado membrana de um computador antigo e o outro de uma calculadora antiga. Os dois se mostraram inviáveis devido a dificuldade de moldá-los em forma de uma palmilha e de soldar componentes eletrônicos em suas trilhas.

A chave Tact SMD 4x4x1,5mm foi considerada uma opção viável devido se encaixar com o critério de conduzir corrente elétrica quando pressionada, e também por ser pequena.

3.6 Encaixes para o sensor

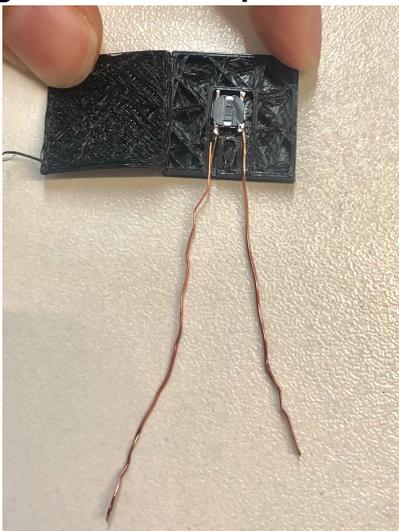
Após a escolha da chave tact como sensor, foi pensado em como esses sensores seriam encaixados em uma palmilha. Para facilitar o desenvolvimento da estrutura da palmilha foi optado por criá-la a partir de impressão 3D utilizando o filamento TPU (Poliuretano Termoplástico), pois além de ser resistente e flexível é

utilizado como filamento em impressões 3D. O desenho da palmilha e dos encaixes foram feitos com o uso da ferramenta Autodesk Inventor Professional 2024.

3.6.1 Estrutura do encaixe para o sensor I

Foi discutido diversas formas de como a chave seria acoplada no encaixe. O primeiro protótipo contém um espaço central para o encaixe da chave, neste espaço também foi adicionado um ponto de preenchimento em TPU que auxilia no acionamento da chave. Na parte externa do encaixe, tem somente preenchimento em uma porcentagem alta. O protótipo também contém, em sua parte superior, uma espécie de “tampa”, para que a chave fique entre duas camadas de TPU. Imprimiu-se então o encaixe para o sensor (figura 06).

Figura 6: Encaixe para sensor I



Fonte: As autoras (2023).

3.6.2 Teste encaixe para sensor I

Foram realizados testes para verificar a eficácia da estrutura do encaixe para o acionamento dos contatos da chave de acordo com pressões exercidas sobre ele. Para isso foi colocada a estrutura com uma chave tact ligada ao multímetro, na função multiteste. O protótipo foi pressionado com diferentes partes do pé e foi verificado se havia contato ou não. Foram constatadas as seguintes observações:

- Em nenhuma parte do pé obteve-se contato em todas as vezes que foi pressionado;

- Ao pressionar o sensor nas área de retropé e antepé, obteve-se contato em 90% das vezes;

- Ao pressionar o sensor na área do mediopé, obteve-se contato 60% das vezes;

A partir destes testes, concluiu-se que a estrutura é bem organizada e é possível encaixar a chave. Porém a alta porcentagem de preenchimento fora da área do sensor fez com que a estrutura se tornasse menos maleável e menos sensível a pressões, dificultando o acionamento da chave e, conseqüentemente, a identificação das áreas do pé.

3.6.3 Estrutura para o encaixe II

Para o segundo protótipo, foi desenvolvido um encaixe para 3 chaves (figura 7), com o preenchimento de 15%, sendo menor que o anterior. Os pontos, que antes estavam na base da estrutura, foram feitos na parte superior.

Figura 7: Encaixe para o sensor II



Fonte: As autoras (2023).

3.6.4 Teste encaixe para sensor II

Para realizar os testes foram utilizados os mesmos procedimentos do teste para o encaixe anterior. Depois de aplicar pressão com diferentes partes do pé a fim de verificar o desempenho do protótipo, foi constatada a seguinte observação:

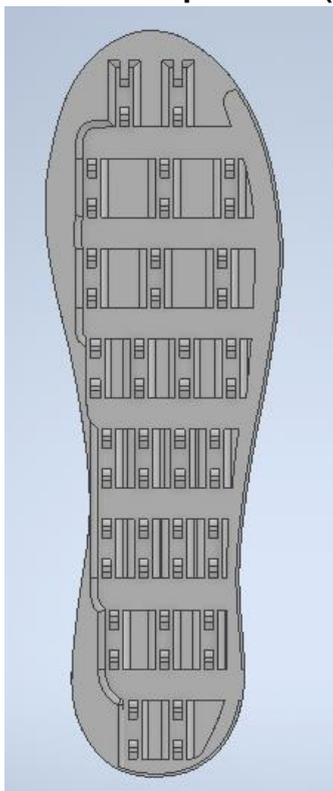
- Em todas as partes do pé obteve-se contato em 100% das vezes;

A partir destes testes, se tornou possível verificar que a baixa porcentagem de preenchimento deixou a estrutura mais maleável e sensível a pressões. Adquirindo assim uma capacidade maior de identificar a pisada.

3.7 Desenho da palmilha

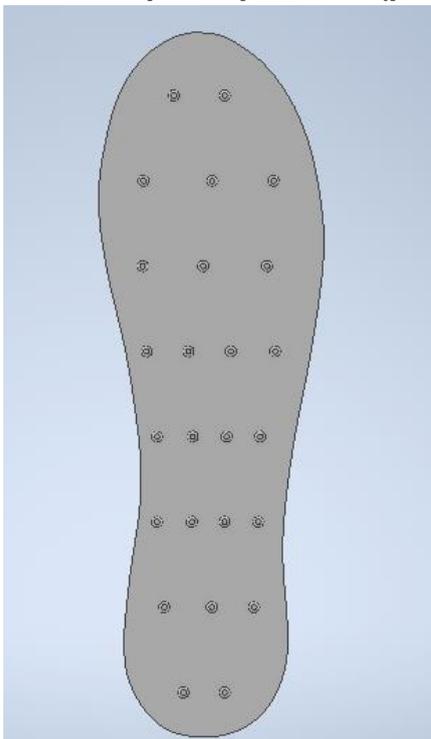
Foi desenhada uma palmilha de numeração brasileira 37 com as seguintes medidas: 252 mm de comprimento e 79,5 mm de largura. Ela foi dividida em duas partes, sendo uma delas a base (parte inferior) onde ficam os encaixes para os sensores e espaços para fios (figura 08). A outra sendo a tampa (parte superior), que irá conter pontos alinhados com os encaixes da outra palmilha (figura 09). Cada sensor terá um ponto, ou seja, serão 25 chaves e 25 pontos. Esses pontos tem como objetivo facilitar o acionamento das chaves.

Figura 8: Base da palmilha (parte I)



Fonte: As autoras (2023).

Figura 9: Tampa da palmilha (parte II)



Fonte: As autoras (2023).

O resultado da palmilha com os sensores impressos está na figura 10.

Figura 10: Palmilha impressa

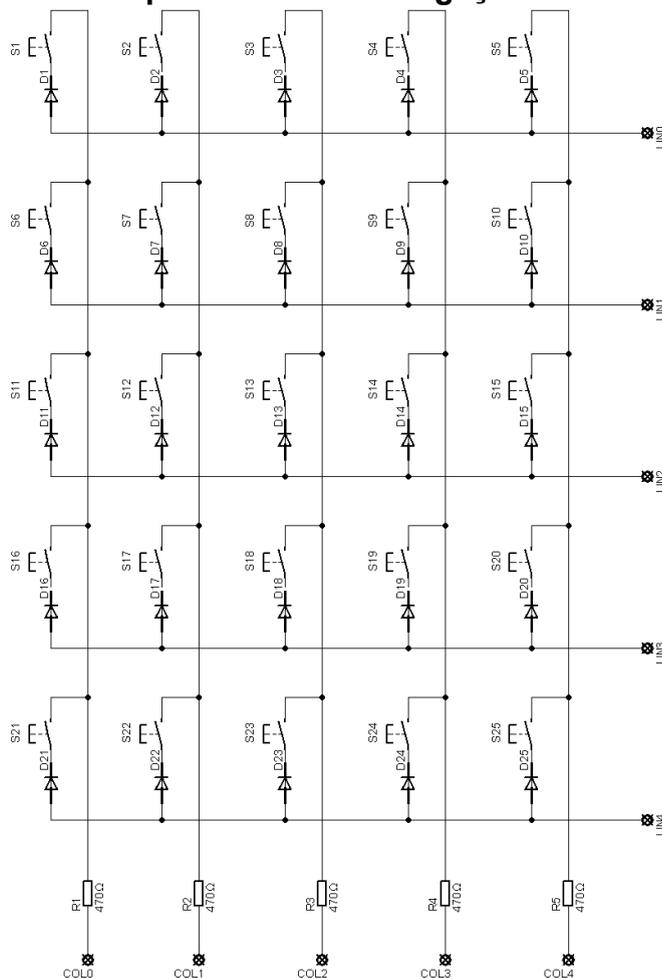


Fonte: As autoras (2023).

3.8 Leitura dos sensores

Para realizar a leitura dos sensores, como também todo o desenvolvimento do código, foi utilizado o microcontrolador STM32F411CE. Foi feita a multiplexação dos 25 sensores, que foram organizados em uma matriz de 5 colunas e 5 linhas. O esquema de ligação pode ser visto na figura 11.

Figura 11: Esquema elétrico da ligação dos sensores



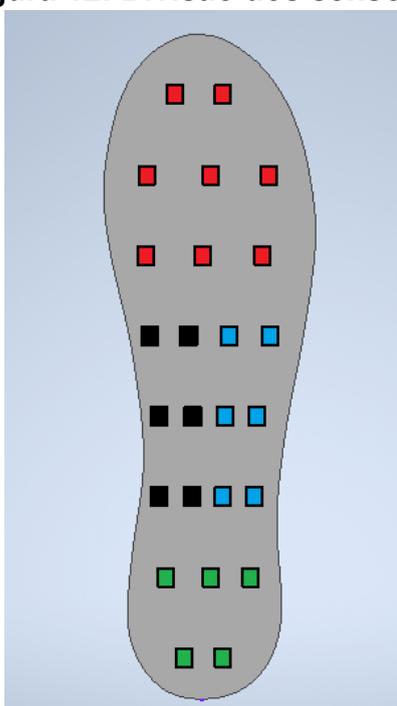
Fonte: As autoras (2023).

O código de multiplexação funciona da seguinte maneira: cada uma das colunas foi conectada a um pino do microcontrolador configurado para realizar a leitura do estado desse pino. Já as linhas foram conectadas a pinos que serão ativados ou desativados. Somente uma linha é ativada de cada vez. Sendo assim, uma linha é ativada com 3,3V (tensão de saída do microcontrolador), logo após é realizada a leitura de cada uma das colunas. Depois a linha é desativada, e a próxima linha é ativada, repetindo o processo. A cada leitura, o valor de todos os sensores da linha ativada é inserido em uma matriz de 5x5. O diodo 4148, localizado entre um dos terminais de cada chave e sua respectiva linha, foi adicionado ao circuito para que, quando mais de uma chave for pressionada, não ocorram curtos-circuitos e interferências. Os resistores de 470Ω impedem que haja interferência nas chaves de cada coluna quando não estão sendo pressionadas.

3.9 Identificação de partes da planta do pé

Primeiramente foi feita a divisão das partes da planta do pé, que pode ser visualizado na figura 12. Os sensores de cor verde fazem parte da região retropé, os de cor azul pertencem ao mediopé e os vermelhos equivalem ao antepé. Os sensores pintados de preto estão em regiões que não são pressionadas em uma pisada correta, esta área é característica da pisada pronada.

Figura 12: Divisão dos sensores



Fonte: As autoras (2023).

Durante a multiplexação, o algoritmo irá identificar cada sensor e inserir o valor lido em uma matriz 5x5 em ordem. Assim, é possível identificar a posição de cada sensor e associá-lo à região do pé em que está localizado.

3.10 *Feedback* sonoro

Como sugestão do Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçado e Artefatos (IBTeC), foi adotado no sistema o *feedback* sonoro através de notas musicais. As notas musicais permitem que o usuário consiga identificar erros e acertos no momento em que os realiza, como também as zonas da planta do pé que

estão sendo pressionadas durante a caminhada. Segundo a fisioterapeuta Carol Dorneles, o feedback sonoro ajuda o usuário a entender sua pisada através das notas musicais que servem como um aviso sobre a execução da pisada.

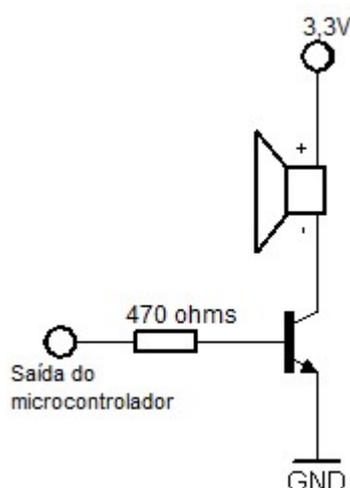
Quando ocorre uma pisada correta, tem-se notas harmônicas e caso contrário notas não harmônicas. Para cada área do pé acionada é gerada uma nota, sendo elas: DÓ (antepé), RÉ (mediopé), MI (retropé), SOL para regiões características da pisada pronada e LÁ para regiões características da pisada supinada. A nota SOL também é gerada caso o usuário realize a pisada completa, terminando no antepé, porém volte a alguma região da planta do pé, o que torna a pisada incorreta.

Desta forma, caso a pisada ocorra de maneira correta (retropé, mediopé e antepé, respectivamente), serão geradas as notas, em ordem, DÓ, RÉ, MI, que formam um som harmonioso.

3.11 Circuito amplificador

Como saída de áudio foi utilizado um alto falante e um conector Jack P2 para fone de ouvido. Também foi implementado ao sistema um circuito amplificador de áudio (figura 13).

Figura 13: Esquemático do circuito amplificador



Fonte: As autoras (2023).

3.11 Contadores

Foi desenvolvido o contador de pisadas totais, o de pisadas corretas e incorretas que o usuário realiza durante o dia, como também o cálculo da taxa de erro. Primeiramente foram realizadas pesquisas sobre o que caracteriza o início de uma pisada. A marcha humana é dividida em duas principais fases, sendo elas a de apoio e a de balanço (AGUIAR, 2023). Durante a fase de balanço o pé está no ar, ou seja, os sensores não estão sendo acionados. A partir desta informação, foi criada a lógica do algoritmo. O software reconhece uma nova pisada quando nenhum sensor está sendo pressionado e logo após um ou mais sensores são acionados. Devido existirem diversas combinações de pisadas incorretas, primeiro são reconhecidas pisadas corretas e subtraído o total de pisadas pelas corretas. Para reconhecer as pisadas corretas é verificado se a ordem retropé, mediopé e antepé é seguida e também se nenhum sensor da área pronada foi acionado. O cálculo da taxa de erro de pisadas é feito através da divisão do número de pisadas incorretas pelo número de pisadas totais. O resultado é multiplicado por 100 para que fique em forma de porcentagem.

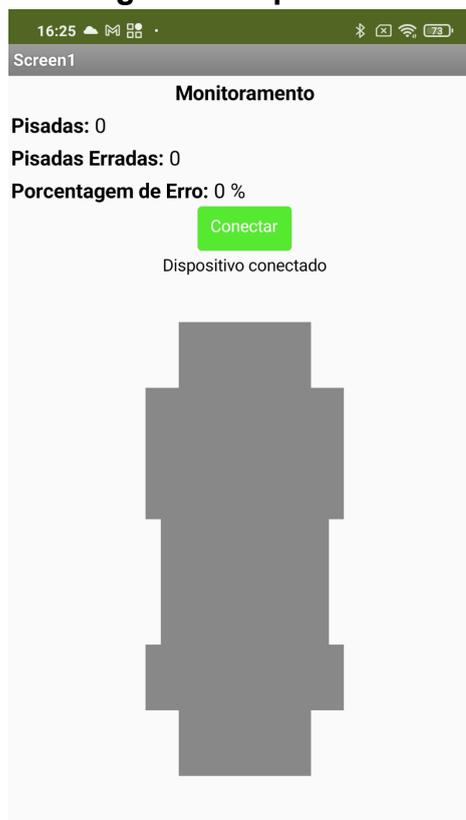
3.13 Bluetooth

Para enviar as informações para o aplicativo, foi utilizado o módulo bluetooth RS232 HC-05. Os dados foram enviados do microcontrolador via serial para o módulo que os envia para o aplicativo Android.

3.13 Aplicativo

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma MIT APP Inventor e tem como objetivo a visualização dos dados obtidos através dos contadores e dos valores do estado das chaves lidas, para assim o usuário e o profissional obterem um retorno visual sobre o tratamento. A aplicação possui uma tela que contém todas as informações que foram obtidas e também um botão para conectar a um dispositivo via bluetooth.

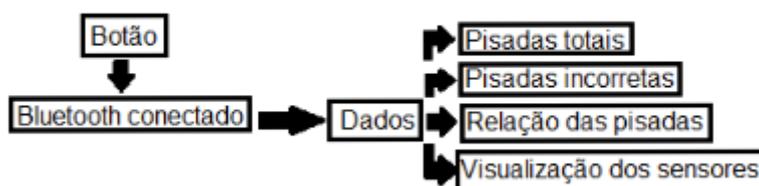
Figura 14: Aplicativo



Fonte: As autoras (2023).

Para explicar o funcionamento do código foi desenvolvido o diagrama de blocos abaixo:

Figura 15: Diagrama de blocos do aplicativo



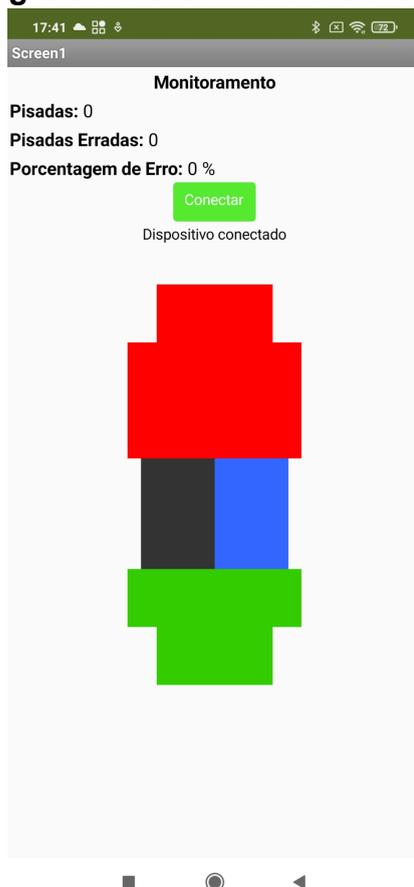
Fonte: As autoras(2023).

Quando o botão for pressionado, abrirá uma lista de dispositivos que podem ser conectados. Estabelecendo conexão com o bluetooth, a legenda do botão muda para: “Dispositivo conectado”. Os dados que forem enviados através do módulo RS232 HC 05 serão divididos, enviando as informações para cada variável.

Para ser feita a visualização dos pontos de contato da palmilha, à medida que os valores dos estados das chaves são recebidos pelo aplicativo, o programa atribui quadrados preenchidos com cores com base na posição da chave e no seu estado,

resultando na criação de um desenho que representa a planta do pé e todos os sensores. Cada região do pé é associada a uma cor específica (figura 16), sendo: retropé: verde, mediopé: azul, antepé: vermelho, área pronada: cinza escuro. Conforme o usuário pressiona as chaves, o aplicativo exibe o sensor pressionado na tela usando a cor designada àquela área.

Figura 16: Cores dos sensores



Fonte: As autoras (2023)

3.14 Confeção do protótipo

Para conectar os fios e os resistores da palmilha, o módulo bluetooth, o conector Jack P2, o alto falante e circuito amplificador de áudio ao microcontrolador foi necessário soldar os componentes em uma placa padrão de fenolite. Para alimentar o circuito foi escolhido um *Power Bank*, devido ser recarregável. O esquemático do circuito pode ser visualizado na figura 17.

- ARM Cortex - M4 STM32F411 blackpill: R\$ 20,00
- Chaves Tact - R\$ 35,00
- Caixa de plástico - R\$ 6,00
- Bateria recarregável - R\$ 30,00
- Modulo Bluetooth - R\$ 74,00
- Alto Falante - R\$ 7,00
- Conector Jack P2 - R\$ 2,30

O valor total dos materiais: R\$ 174,30

3.15 Testes

Para verificar a funcionalidade do sistema foram realizados três testes. No primeiro, foram aplicadas pressões em cada uma das áreas da divisão da planta do pé na palmilha a fim de verificar se era gerada a respectiva nota de cada área.

Os testes subsequentes foram feitos com uma das autoras que calça o número 37. No segundo teste foram realizadas simulações de pisadas reais com a palmilha no chão. Primeiro foi simulada uma pisada correta e, logo após, variações de pisadas incorretas. Foram realizadas três simulações de pisadas incorretas nas seguintes ordens e partes do pé, respectivamente:

1. Antepé, mediopé e retropé.
2. Antepé, sensores em preto, retropé.
3. Retropé, sensores em preto e antepé.

No terceiro teste a palmilha foi inserida em um tênis de numeração brasileira 37 com o objetivo de averiguar o funcionamento do sistema em situações reais. Também foi verificado o funcionamento do aplicativo que contém os contadores de pisadas e a taxa de erro. Foram simuladas seis tipos de pisadas diferentes que estão listadas abaixo, em ordem. Somente a primeira simulação é de uma pisada correta, as outras são variações incorretas.

1. Retropé, mediopé e antepé;
2. Antepé, mediopé e retropé;
3. Antepé, área pronada, retropé.

4. Retropé, área pronada e antepé.
5. Retropé, mediopé, antepé, área pronada.
6. Retropé, mediopé, antepé, médiopé.

Entre cada uma das simulações foi verificado os valores dos contadores de pisadas totais, de pisadas corretas, de pisadas incorretas e da taxa de erro através do aplicativo.

No quarto teste, foi analisada a projeção da palmilha no aplicativo. Verificando se os sensores que eram acionados na palmilha eram os mesmos que apareciam no aplicativo. Foram simuladas uma pisada correta e oito variações de pisadas incorretas, sendo elas:

1. Retropé, mediopé e antepé;
2. Antepé, mediopé e retropé;
3. Antepé, área pronada, retropé.
4. Retropé, área pronada e antepé.
5. Retropé, mediopé, antepé, área pronada.
6. Retropé, mediopé, antepé, médiopé.
7. Parte externa do retropé, mediopé, parte externa do antepé.
8. Parte interna do retropé, área pronada, parte interna do antepé.

Em todas as simulações foram verificados, além da projeção dos pontos do pé pressionados, os valores dos contadores, da relação de pisadas e da formação de notas musicais de acordo com a pisada realizada.

Foi realizada uma apresentação do sistema à fisioterapeuta Carol Dorneles para que realizasse a avaliação do protótipo.

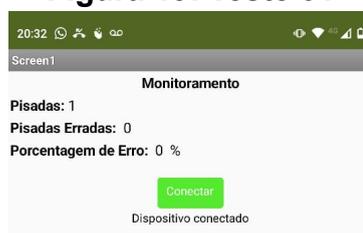
4 ANÁLISE DE DADOS

Os testes iniciais para verificar o funcionamento de cada zona da palmilha e a geração de sua respectiva nota, tiveram acertos em todas as vezes testadas, emitindo a nota DÓ quando os sensores do retropé foram pressionados, RÉ para o mediopé, MI para o antepé e SOL para a área pronada. Comprovando assim sua funcionalidade.

Para os testes de pisada, foi simulado uma pisada correta, na qual foram acionadas as notas DÓ, RÉ e MI, respectivamente, sendo assim um som harmônico. Após, foram realizadas simulações de pisadas incorretas. A primeira seguia a ordem: antepé, mediopé e retropé. Essa junção resultou na melodia MI, RÉ e DÓ. A segunda seguia a ordem: antepé, área pronada, retropé. Esta resultou nas notas MI, SOL e DÓ. A última junção feita foi retropé, área pronada e antepé, que resultou em DÓ, SOL, MI. Para cada pisada incorreta realizada foram gerados sons desarmônicos mas condizentes com cada área pressionada, como esperado.

Os testes em que a palmilha foi inserida em um calçado obtiveram resultados positivos. A primeira simulação foi de uma pisada correta, foram geradas as notas DÓ, RE, MI. Esta foi considerada uma pisada correta pelo aplicativo (figura 19).

Figura 19: Teste 01



Fonte: As autoras (2023).

Nos próximos testes foram simuladas variações de pisadas incorretas. A segunda simulação seguia a ordem: Antepé, mediopé e retropé. Ela resultou nas notas MI, RÉ, DÓ e foi considerada incorreta pelo aplicativo (figura 20).

Figura 20: Teste 02

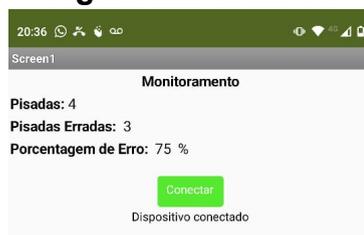
Fonte: As autoras (2023).

Na terceira simulação foi realizada uma pisada que seguia a ordem: Antepé, área pronada, retropé. Foi gerado, respectivamente: MI, SOL, DÓ. O aplicativo foi capaz de considerar esta pisada incorreta (figura 21).

Figura 21: Teste 03

Fonte: As autoras (2023).

A quarta pisada realizada passava pelo retropé, área pronada e antepé. Foram verificadas as notas: DÓ, SOL e MI. O aplicativo também a considerou incorreta (figura 22).

Figura 22: Teste 04

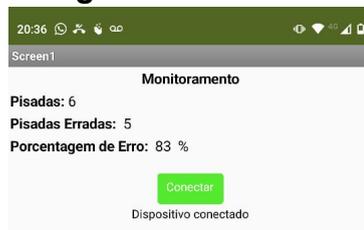
Fonte: As autoras (2023).

Na quinta simulação foram pressionadas as áreas: retropé, mediopé, antepé, área pronada, em ordem. Gerando assim as notas: DÓ, RÉ, MI, SOL. Está pisada foi considerada incorreta pelo aplicativo, como esperado (figura 23).

Figura 23: Teste 05

Fonte: As autoras (2023).

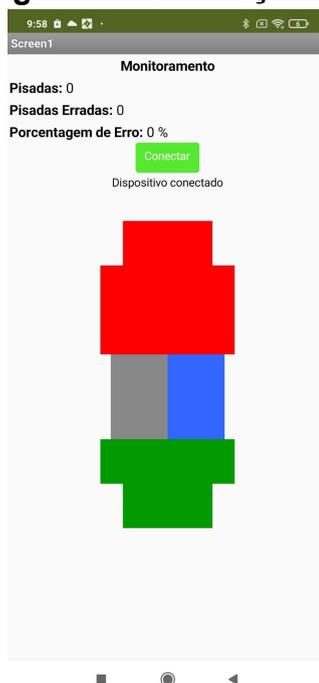
A sexta simulação de pisada seguiu a ordem: Retropé, mediopé, antepé, médiopé. Foi possível verificar as notas: DÓ, RÉ, MI, SOL. Esta última simulação realizada foi considerada incorreta pelo aplicativo (figura 24).

Figura 24: Teste 06

Fonte: As autoras (2023).

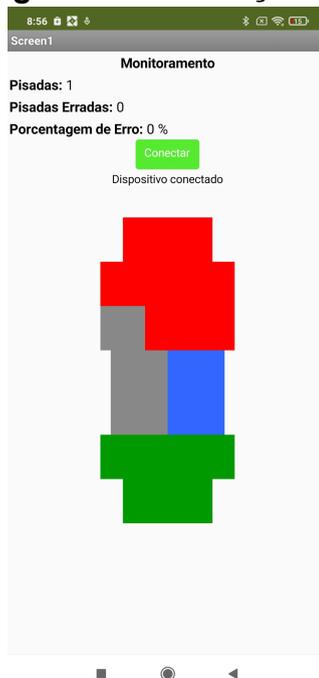
O último teste, em que foi verificada a projeção da palmilha no aplicativo enquanto eram efetuadas pisadas com a palmilha dentro do calçado, também obteve resultados positivos. Foram repetidas as mesmas simulações de pisadas do teste anterior com adição de outras duas variações. A seguir estão descritas as oito simulações realizadas contendo as partes da planta do pé pressionadas durante as pisadas (em ordem), as notas geradas (em ordem) e uma captura de tela do aplicativo com os resultados do teste, incluindo quais sensores foram pressionados e a detecção da pisada (correta ou incorreta). A primeira simulação foi de uma pisada correta e as subsequentes foram incorretas.

Simulação 01: Retropé, mediopé, antepé, foi considerada correta pelo aplicativo. Notas geradas: DÓ, RÉ, MI.

Figura 25: Simulação 01

Fonte: As autoras (2023).

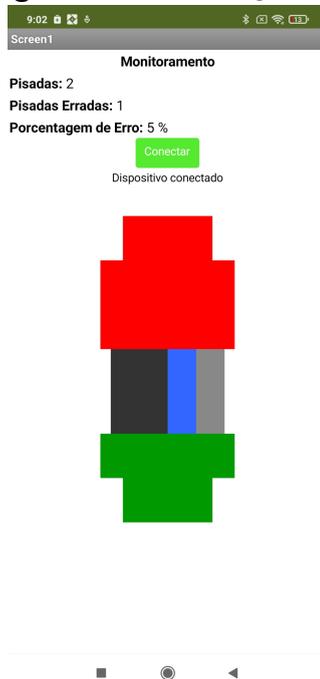
Simulação 02: Antepé, mediopé e retropé. Notas geradas: MI, RÉ, DÓ. Esta simulação e as próximas foram, todas, consideradas incorretas pelo aplicativo.

Figura 26: Simulação 02

Fonte: As autoras (2023).

Simulação 03: Antepé, área pronada, retropé. Notas geradas: MI, SOL, DÓ.

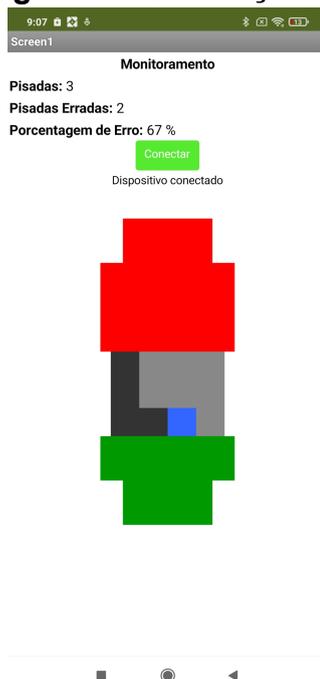
Figura 27: Simulação 03



Fonte: As autoras (2023).

Simulação 04: Retropé, área pronada, antepé. Notas geradas: DÓ, SOL, MI.

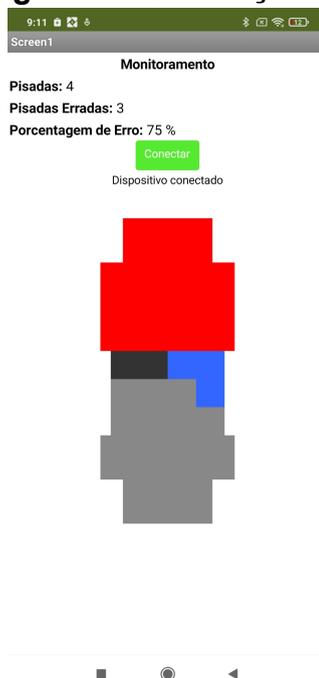
Figura 28: Simulação 04



Fonte: As autoras (2023).

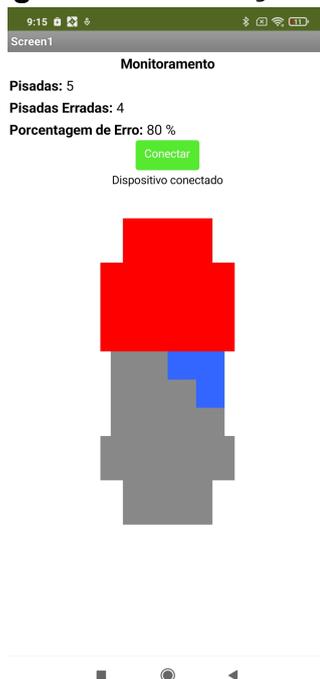
Simulação 05: Retropé, mediopé, antepé, área pronada. Notas geradas: DÓ, RÉ, MI, SOL.

Figura 29: Simulação 05



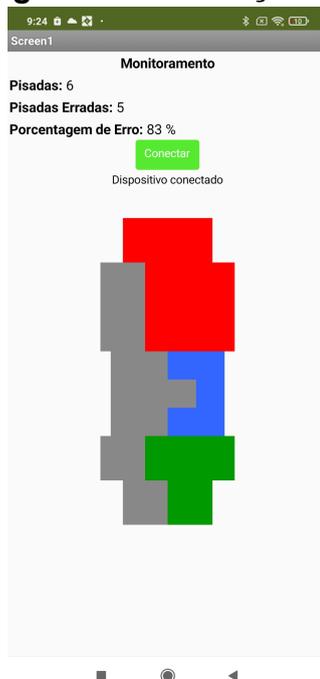
Fonte: As autoras (2023)

Simulação 06: Retropé, mediopé, antepé, mediopé. Notas geradas: DÓ, RÉ, MI, SOL.

Figura 30: Simulação 06

Fonte: As autoras (2023).

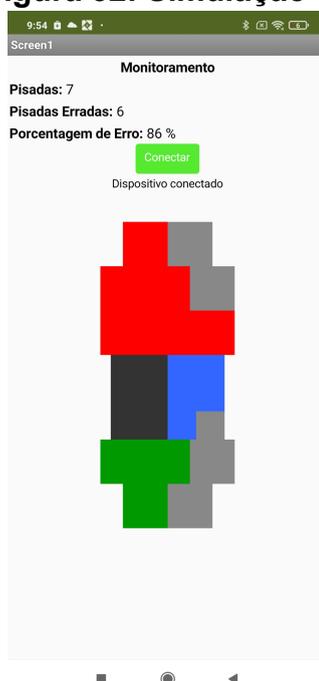
Simulação 07: Parte externa do retropé, mediopé, parte externa do antepé.
Notas geradas: LÁ, RÉ, LÁ.

Figura 31: Simulação 07

Fonte: As autoras (2023).

Simulação 08: Parte interna do retropé, área pronada, parte interna do antepé. Notas geradas: SOL, SOL, SOL.

Figura 32: Simulação 08



Fonte: As autoras (2023).

Após a finalização dos testes, o sistema mostrou funcionamento completo. Foi verificado que as notas musicais foram geradas de acordo com cada área pressionada e a taxa de erro variou de acordo com as pisadas corretas e incorretas que foram sendo feitas durante os testes. Além disso, a projeção dos pontos pressionados durante as simulações no aplicativo corresponderam precisamente às pisadas realizadas.

4.1 Parecer técnico

Ao final do desenvolvimento dos testes e construção do sistema, apresentou-se o protótipo a fisioterapeuta Carol Dorneles e solicitou-se para que emitisse um parecer técnico sobre a utilização do protótipo, sua funcionalidade e os benefícios que traria para o processo de reabilitação. O parecer técnico se encontra na figura 24.

Figura 33: Parecer técnico

Prezados,

Este parecer técnico/científico referente a palmilha assistida com a leitura de pontos de pisada na região da planta do pé das alunas Manuela Schneider Gottschalck e Mariana Stefani Irigaray.

O sistema em desenvolvimento pelas alunas da Fundação Escola Liberato demonstra ter a funcionalidade (diante de uma breve demonstração) do tipo de pisada e de qual região da planta do pé tem pontos de maior pressão, ao pisar e se a pisada está correta.

Conforme conversei com as alunas, essa palmilha seria um instrumento para agregar a avaliação que é realizada no indivíduo como todo (avaliação postural, patologias instaladas, traumas corporais, entre outros.

Estou à disposição para eventuais dúvidas.

Atte.

Carolina Martins Dorneles

Fisioterapeuta/ Crefito 5/23713-F

Clínica Unifisio NH

05/10/2023

Fonte: As autoras (2023).

5 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um sistema que consegue identificar as zonas de contato da planta do pé durante a pisada. O equipamento foi testado e comprovou-se o seu funcionamento de diferentes formas. Concluiu-se que o protótipo desenvolvido é capaz de captar as áreas do pé que foram pressionadas, analisar esses dados e emitir um feedback sonoro para o usuário. Também pode-se monitorar a evolução do tratamento através do aplicativo desenvolvido, que traz informações sobre a quantidade de pisadas gerais, quantidade de pisadas erradas e a relação entre uma e outra, bem como permite a visualização dos pontos de contato do pé durante uma caminhada.

Com a análise dos testes, observa-se que o protótipo tem a capacidade de gerar uma nota diferente para cada área do pé, formando um som harmônico ou desarmônico de acordo com o status da pisada. A geração da nota se mostrou eficiente em todas as vezes testadas, identificando as áreas que foram pressionadas pelo usuário e gerando as notas em tempo real. Desta forma, o usuário tem retorno imediato por meio das notas musicais.

O sistema foi testado em ambiente escolar e avaliado por uma fisioterapeuta que atestou o funcionamento e a usabilidade do protótipo.

Como perspectivas futuras para o sistema, pretende-se testar em um processo de reabilitação e verificar, de forma mais prática, a sua eficiência. Como perspectivas futuras para o sistema, pretende-se testar em um processo de reabilitação e verificar, de forma mais prática, a sua eficiência.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, Aderbal. **Cinesiologia da marcha 20/03/2023**. 2023. Disponível em: <<https://labioex.ufsc.br/2023/03/20/cinesiologia-da-marcha-20032023/>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

LACOMBE, Patrícia. **Veja como os tipos de pisada influenciam na saúde como um todo**. 2018. Disponível em: <http://patricialacombe.com.br/blog/veja-como-os-tipos-de-pisada-influenciam-na-saude-como-um-todo/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

LOURENÇO, José. **Dor no meio dos pés? Saiba as causas e tratamento**. 2019. Disponível em: <https://www.pisadaideal.com.br/dor-no-meio-dos-pes-saiba-as-causas-e-tratamento/#:~:text=Primeiramente%2C%20a%20sola%20dos%20p%C3%A9s,regi%C3%A3o%20mais%20pr%C3%B3xima%20aos%20dedos>. Acesso em: 27 jun. 2023.

MUNIZ, Camilla. **Uso de calçados inadequados pode alterar a maneira de pisar**. 2014. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/saude-e-ciencia/uso-de-calcados-inadequados-pode-alterar-maneira-de-pisar-14227693.html>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PIO, Augusto. **Pisar de forma errada pode comprometer a saúde do corpo e gerar muitas dores**. 2016. Disponível em: <https://www.uai.com.br/app/noticia/saude/2016/02/11/noticias-saude.190735/pisar-de-forma-errada-pode-comprometer-a-saude-do-corpo-e-gerar-muitas.shtml>. Acesso em: 30 jun. 2023.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 10., 2018, Santana do Livramento. **Sistema de Palmilhas para análise de Pressão Plantar** [...]. Bagé: [s. n.], 2018. 8 p. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/16896/seer_16896.pdf. Acesso em: 23 maio 2023.

SEGER, Fabiane. **Análise da influência de palmilhas personalizadas na distribuição das pressões plantares e no controle postural**. 2017. 103 p. (Tese de mestrado), Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2017.

VALERI, Vitor. **O que é um teclado de membrana?** 2022. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/hardware/40621-o-que-e-teclado-membrana>

Acesso em: 04 abr. 2023.

VIANA, Carol Correia. **Ligar e Desligar LED com Botão (Push Button – Chave Tátil) com Arduino.** 2020. Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2020/09/28/ligar-e-desligar-led-com-botao-push-button-chave-tactil-com-arduino/#:~:text=O%20bot%C3%A3o%20push%20button%20%C3%A9,na%20placa%20de%20circuito%20impresso>. Acesso em: 05 maio 2023.

World Health Organization. **World Report on Disability.** Tradução: Governo do Estado de São Paulo. Geneva: World Health Organization, 2011. 325 p. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241564182>. Acesso em: 28 jun. 2023.