

# Insp<sup>er</sup>

**Desenvolvimento de câmara de teste de resistência mecânica e durabilidade de palmilhas ortopédicas**

**Felipe Junqueira Moraes (felipejm2@al.insper.edu.br)**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Relatório  
do Projeto Final de Engenharia  
Versão Final**

**São Paulo-SP  
Novembro 2023**

**Felipe Junqueira Moraes**

**Desenvolvimento de teste de resistência mecânica e durabilidade para palmilhas  
ortopédicas**

**Relatório Final do Projeto Final de Engenharia**

Relatório apresentado ao curso de Engenharia, como requisito para o Trabalho de Conclusão de Curso.

Professor Orientador: Prof. Dr. Paulo de Paiva Rosa Amaral

Mentor na Empresa: Eric Lee

Coordenador TCC/PFE: Prof. Dr. Luciano Pereira Soares

**São Paulo - SP  
Novembro 2023**

**Felipe Junqueira Moraes**

**Desenvolvimento de teste de resistência mecânica e durabilidade para palmilhas ortopédicas**

Projeto Final de Engenharia apresentado ao programa Graduação em Engenharia (Computação/Mecânica/Mecatrônica) como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo de Paiva Rosa Amaral

**Banca Examinadora**

---

Prof Dr. Paulo de Paiva Rosa Amaral Insper

---

Prof. Dr. Fábio Ferraz Júnior

---

Prof. Dr. Alex Camilli Bottene

## Sumário

1.	Introdução .....	7
1.1	Justificativa .....	8
1.2	Benchmark .....	9
1.3	Escopo do projeto .....	11
1.4	Revisão do Estado da Arte .....	12
2.	Metodologia .....	13
3.	Resultados e discussões .....	15
3.1	Testes de Compressão e Variação de Propriedades .....	15
3.2	Testes no Baropodômetro (Baroscan).....	16
3.3	Testes Estáticos e Dinâmicos .....	18
3.4	Comparação Pós-Testes no Baropodômetro .....	19
4.	Conclusão e trabalhos futuros .....	20
5.	Apêndice .....	22
5.1	Cronograma.....	22
5.2	Stakeholders principais .....	22
5.3	Controle da força no pistão .....	23
6	Referências.....	24

## **Resumo**

Este projeto atende à necessidade crítica de uma metodologia robusta e precisa para avaliar e aprimorar palmilhas ortopédicas no contexto da Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD), instituição dedicada a melhorar a vida de pessoas com deficiência física e problemas ortopédicos. A AACD é reconhecida há muito tempo pelo seu compromisso inabalável com a reabilitação e a inclusão, mas enfrenta desafios contínuos na avaliação e melhoria de palmilhas ortopédicas, dispositivos essenciais para a mobilidade e o conforto dos pacientes.

Este projeto de pesquisa introduziu um mecanismo de teste modular e inovador que visa replicar a forma anatômica do pé em condições estáticas e de caminhada, com um sistema de pistão pneumático sem o foco no desenvolvimento métrico para avaliar o desgaste. As capacidades do sistema foram avaliadas através de testes de compressão, análises de baropodômetros e simulações estáticas/dinâmicas, indicando desgastes consistentes nas palmilhas à pressão e degradação, que correspondem à região do calcanhar e do metatarso.

Embora o sistema de testes desenvolvido tenha se mostrado promissor na avaliação de palmilhas ortopédicas, é imperativo um refinamento adicional no desenvolvimento de métricas para garantir uma avaliação abrangente de desgaste das palmilhas e desempenho do sistema. Este estudo fornece uma estrutura fundamental para futuras investigações sobre o desenvolvimento de métricas precisas para avaliar o desgaste, contribuindo assim para melhorar a qualidade e a durabilidade das palmilhas ortopédicas e, em última análise, melhorar a vida dos pacientes.

**Palavras-chave:** Palmilha ortopédica, AACD, Baropodômetro, Teste de desgaste

**Abstract**

This project meets the critical need for a robust and modular methodology to evaluate and improve orthopedic insoles in the context of the Association for Assistance to Disabled Children (AACD), an institution dedicated to improving the lives of people with physical disabilities and orthopedic problems. AACD has long been recognized for its unwavering commitment to rehabilitation and inclusion but faces ongoing challenges in evaluating and improving orthopedic insoles, devices essential to patient mobility and comfort.

This research project introduced an innovative testing mechanism that aims to replicate the anatomical shape of the foot in static and walking conditions, with a pneumatic piston system without focusing on metric development to assess wear. The system's capabilities were evaluated through compression tests, baropodometer analyzes and static/dynamic simulations, indicating consistent wear in the insoles under pressure and degradation, which correspond to the heel and metatarsal region.

Although the developed testing system has shown promise in evaluating orthopedic insoles, further refinement in metrics development is imperative to ensure a comprehensive assessment of insole wear and system performance. This study provides a fundamental framework for future investigations into developing accurate metrics to assess wear, thereby contributing to improving the quality and durability of orthopedic insoles and, ultimately, improving patients' lives.

**Keywords:** Orthopedic insole, AACD, Baropodometer, Wear test

## 1. Introdução

A Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD) (Sessão 5.2 Stakeholders) é uma instituição amplamente reconhecida, tanto nacional como internacionalmente, por seu compromisso em promover a reabilitação e inclusão de pessoas com deficiência física e problemas ortopédicos. Com mais de sete décadas de atuação, a AACD tem sido uma luz de esperança para inúmeros pacientes, suas famílias e a sociedade em geral. Ela demonstra um compromisso constante com a melhoria contínua da qualidade de vida daqueles que necessitam de cuidados especiais.

Dentro dessa missão nobre, a AACD enfrenta desafios contínuos, sendo um deles a avaliação e aprimoramento das palmilhas ortopédicas. Embora essas palmilhas desempenhem um papel fundamental na mobilidade e no conforto dos pacientes, frequentemente carecem de uma metodologia robusta e precisa para avaliar sua resistência mecânica, durabilidade e eficácia em diferentes condições ambientais e anatômicas.

As palmilhas ortopédicas desempenham um papel crucial no tratamento de uma ampla variedade de condições podais e posturais, oferecendo suporte, estabilidade e alívio da dor aos pacientes [1-3]. No entanto, a eficácia desses dispositivos está intrinsecamente ligada à sua durabilidade e à capacidade de manter suas propriedades mecânicas ao longo do tempo. O uso contínuo das palmilhas ortopédicas pode levar ao desgaste progressivo, comprometendo a capacidade do dispositivo de controlar a distribuição das forças e minimizar os pontos de alta pressão, a ponto de não demonstrar resultados de pressão no pé similares ao paciente não usando palmilhas ortopédicas.

É amplamente reconhecido que áreas críticas nos pés, como o calcanhar e a região próxima ao metatarso, são pontos de alta pressão durante o ciclo da marcha e sustentação do corpo. O acúmulo de pressão nessas áreas pode resultar em desconforto, dor e até mesmo no desenvolvimento de úlceras em pacientes com condições médicas subjacentes, como diabetes [3]. Portanto, é imperativo que as palmilhas ortopédicas não apenas forneçam suporte, mas também controlem a distribuição das forças e minimizem os pontos de alta pressão.

Até o momento, a capacidade de avaliar e controlar o desgaste das palmilhas ortopédicas, bem como seu desempenho em condições variáveis, tem sido limitada e muitas vezes dependente da experiência direta dos usuários. Este projeto aborda essa lacuna crítica no desenvolvimento de palmilhas ortopédicas, pela AACD, propondo a criação de um sistema

avançado de testes que permite a análise precisa da durabilidade e do desempenho desses dispositivos. A pesquisa busca inovar no campo de testes sistemáticos das palmilhas ortopédicas da AACD, com ênfase no desenvolvimento de testes mecânicos para melhorar a qualidade de vida dos pacientes e prevenir problemas futuros decorrentes do desgaste inadequado desses dispositivos.

Este projeto tem como objetivo principal a criação de um equipamento de teste para palmilhas ortopédicas, ao aplicar cargas mecânicas às palmilhas de maneira controlada, incluindo a replicação das formas anatômicas dos pés em duas situações, pé parado (estático) e caminhando (ciclos), sem o foco na criação de métricas, mas com exploração inicial de dados para avaliar o desgaste das palmilhas.

### **1.1 Justificativa**

A falta de maneiras precisas de avaliar o desempenho e propor melhora nas palmilhas ofertadas pela AACD, idealmente de forma modular e sistemático. Atualmente a organização sem fins lucrativos (ONG) enfrenta desafios contínuos, causados pela falta de equipamentos de teste e métricas efetivas para o aprimoramento das palmilhas. Estas palmilhas estão em constante aprimoramento, na AACD e além, por exemplo na personalização para pacientes com pés específicos e na utilização materiais para melhorar a vida útil e qualidade. Muitas vezes carecem de uma metodologia robusta e precisa para avaliar sua resistência mecânica, durabilidade e eficácia em diferentes condições ambientais e anatômicas.

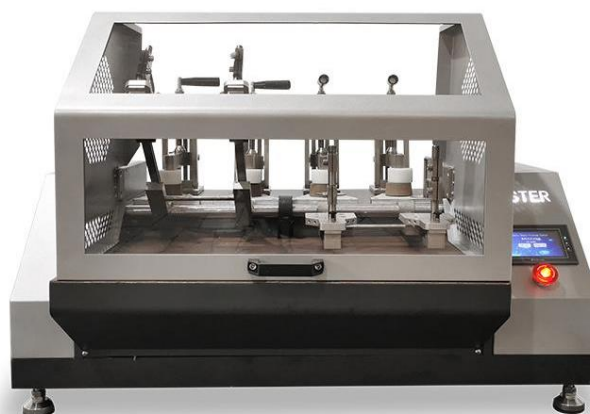
Reiterando o problema descrito, a capacidade de avaliar e controlar o desgaste das palmilhas ortopédicas, bem como seu desempenho em condições variáveis, tem sido limitada e muitas vezes dependente da experiência direta dos usuários ou testes com os funcionários da AACD. Este projeto se propõe a preencher essa lacuna crítica no desenvolvimento de palmilhas ortopédicas, criando um sistema de testes que permite a análise desses dispositivos, sem sistematizar o desenvolvimento de métricas para avaliar o desgaste.

O projeto busca inovar no campo das palmilhas ortopédicas, com ênfase na obtenção de dados consistentes para melhorar o desenvolvimento das palmilhas ao fornecer uma base sólida para futuras pesquisas que se apoiar para continuar o desenvolvimento.

## 1.2 Benchmark

Para compreender melhor o desempenho e a eficácia do nosso estudo, realizamos uma análise de benchmarking, avaliando equipamentos e possíveis soluções para a análise de palmilhas. Essa abordagem comparativa permitiu avaliar soluções existentes no mercado e adaptar conceitos já usados na solução a ser desenvolvida, dado que a AACD não possui a capacidade de adquirir esses equipamentos. Entre os equipamentos analisados se destacam os seguintes:

O Testador de Flexão de Sapatos Inteiros GT-KA01-2(Figura 1), pois além de sua aplicação convencional em avaliar a resistência à flexibilidade de calçados, destaca-se por sua versatilidade ao incorporar funcionalidades específicas, com potencial para testar palmilhas ortopédicas. Este equipamento oferece a capacidade única de avaliar não apenas a flexibilidade das solas, mas também a eficácia e durabilidade das palmilhas projetadas para proporcionar suporte ortopédico. Sua capacidade de ajuste preciso de ângulos e frequências permite a simulação precisa de condições variadas de uso, proporcionando insights valiosos sobre como as palmilhas ortopédicas se comportam sob diferentes pressões e movimentos. Além disso, o GT-KA01-2(Figura 1) é projetado para fornecer dados quantitativos e qualitativos, permitindo uma análise abrangente da performance das palmilhas, o que é crucial para garantir o conforto e a eficácia desses produtos para os usuários finais. Este equipamento representa, assim, uma ferramenta essencial para fabricantes e profissionais da área de saúde que buscam aprimorar continuamente a qualidade e a funcionalidade das palmilhas ortopédicas.



*Figura 1 Testador de Flexão de Sapatos Inteiros GT-KA01-2, nessa imagem os sapatos são presos internamente e flexionados na região do metatarso onde os aros brancos se encontram.*

A Prensa de Amostra Pneumática GT-C48-2(Figura 2) emerge como uma inovação significativa no domínio das máquinas de compressão de amostras, desde a caracterização de produtos até a pesquisa de novos materiais com propriedades específicas. Essa máquina, caracterizada por sua abordagem pneumática, representa um novo padrão em termos de eficiência e desempenho. Equipada com um cilindro de gás de 125 mm, a máquina oferece uma capacidade robusta de compressão, permitindo testes precisos e confiáveis em uma variedade de amostras. Sua abordagem pneumática não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também proporciona um controle mais preciso sobre a força aplicada, garantindo resultados consistentes e reproduzíveis. A GT-C48-2(Figura 2) destaca-se como uma ferramenta útil para laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, proporcionando uma plataforma versátil para a avaliação de materiais em diversas indústrias,



*Figura 2 Prensa de Amostra Pneumática GT-C48-2 mostrando o sistema onde o material é colocado e comprimido por meio do pistão circular.*

O Testador de Recuperação de Compressão GT-KB21(Figura 3) destaca-se como uma ferramenta especializada na avaliação da propriedade de recuperação de compressão de materiais, com foco particular em materiais para calçados. Esse equipamento utiliza um método preciso e confiável para medir a capacidade de um material retornar ao seu estado original após ser submetido a uma compressão controlada. Sua aplicabilidade a uma variedade de materiais amplia seu alcance, proporcionando uma plataforma versátil para

pesquisadores, fabricantes e profissionais da indústria calçadista, que buscam garantir padrões de qualidade superior em seus produtos. Este testador representa, assim, uma contribuição valiosa para o aprimoramento contínuo da qualidade e desempenho dos materiais utilizados na indústria do calçado.



*Figura 3 Testador de Recuperação de Compressão GT-KB21, nesse equipamento o material é colocado internamente entre os dois discos onde é medido a recuperação à compressão do material.*

Estes equipamentos inspiraram o design dos testes ao ressaltar a importância de funcionalidades específicas para avaliação precisa de produtos. Cada equipamento é descrito não só em termos de sua capacidade de teste, mas também ressaltando pontos que serão utilizados no desenvolvimento do sistema descrito abaixo, como ciclos (Figura 1), compressão por pistão pneumático (Figura 2) e testes que consigam ser flexíveis a diferentes materiais (Figura 3).

### **1.3 Escopo do projeto**

O projeto tem como objetivo primário a concepção de mecanismos de testes destinados à avaliação da resistência mecânica das palmilhas ortopédicas. Essa câmara permitirá a análise de uma ampla gama de parâmetros técnicos, como vida útil, capacidade de suportar peso e outros dados relevantes. Sua função principal será estabelecer um referencial comparativo para futuras inovações em palmilhas, desempenhando um papel fundamental na constante evolução dos produtos disponíveis para os pacientes.

Devido às restrições temporais (6 meses) e ao tamanho da equipe envolvida, foi necessário ajustar o escopo inicial em colaboração com a empresa patrocinadora do projeto. O escopo

final, portanto, foi delimitado para a criação de um sistema capaz de induzir alterações na palmilha através de dois tipos de testes flexível e modular: um estático e outro dinâmico, realizando múltiplos ciclos de estresse sobre a palmilha.

Esse escopo mais focado permitirá uma abordagem mais precisa dentro do prazo estabelecido, concentrando-se na viabilidade e eficiência do sistema proposto para modificar as propriedades da palmilha, sem comprometer a qualidade e a relevância do estudo para o desenvolvimento futuro de palmilhas ortopédicas.

#### **1.4 Revisão do Estado da Arte**

Dentre os avanços recentes no campo das análises de palmilhas, uma ênfase na pesquisa de integração de sensores inteligentes nas palmilhas de calçados tem se destacado (TAMM et al., 2014) [4], prometendo um impacto transformador na melhoria do desempenho esportivo e na reabilitação. Esse sistema inovador, caracterizado por sua leveza, maleabilidade, durabilidade e custo acessível, se integra perfeitamente à sola interna do sapato, permitindo a transmissão de dados para dispositivos móveis. O escopo potencial abrange diversos domínios: desde avaliar técnicas ergonômicas no esporte até criar calçados ortopédicos e monitorar atentamente pressões plantares elevadas, crucial em áreas médicas, especialmente na detecção precoce de complicações nos pés diabéticos. No centro dessa pesquisa estão as deliberações sobre vários tipos de materiais sensoriais, ponderando seus méritos e deméritos. A investigação analisa especialmente a reprodutibilidade do sinal em avaliações periódicas de pressão, a frequência de resposta e a estabilidade sustentada das leituras, especialmente sob condições prolongadas de carga. Avanços encorajadores surgiram na avaliação de sensores capacitivos e resistivos, destacando a adaptabilidade de uma plataforma eletrônica uniforme para ambas as variantes.

A análise da marcha é um processo diagnóstico médico importante com diversas aplicações em cuidados de saúde, reabilitação, terapia e treinamento físico. No entanto, a análise típica da marcha geralmente é realizada em laboratórios especializados, tornando-se não ideal para grande parte da população e incapaz de capturar a marcha de forma natural. Neste artigo (LIN et al., 2016) [5], é apresentado um dispositivo sensorial inovador, o Smart Insole, criado para viabilizar a monitorização eficiente da marcha na vida cotidiana. O Smart Insole incorpora uma matriz de sensores de pressão baseados em têxteis eletrônicos na palmilha, permitindo a medição completa da pressão plantar. Além disso, conta com uma unidade de medição inercial de baixo custo, incluindo acelerômetro de três eixos,

giroscópio de três eixos e magnetômetro de três eixos, para capturar as características da marcha em movimento. Esse dispositivo oferece aquisição precisa de informações sobre a marcha, é leve, fino e confortável de usar, proporcionando uma maneira discreta de realizar a monitorização da marcha. Além disso, foi desenvolvida uma interface gráfica para smartphone que exibe os dados dos sensores em tempo real via Bluetooth de baixa energia. Foram realizados experimentos em quatro cenários da vida real, incluindo caminhada em corredores, subida/descida de escadas e caminhada em declive, nos quais parâmetros e características da marcha foram extraídos. Por fim, são discutidas as limitações, melhorias, usabilidade, possíveis aplicações na área da saúde e trabalhos futuros do Smart Insole."

O estudo presente na revista "Journal *of Foot and Ankle Research*" avaliou a validade e confiabilidade de um novo sistema de palmilha (OpenGo, Moticon GmbH) capaz de medir continuamente parâmetros cinéticos e temporais espaciais da marcha, independentemente, ao longo de até 4 semanas (BRAUN et al., 2015) [6]. Doze indivíduos saudáveis tiveram seus dados de marcha coletados em uma esteira em duas velocidades diferentes, realizando seis tentativas de três minutos cada. A validação foi realizada com o Sistema FDM-S (Zebris). Mais de 10.000 passos foram usados para análise de confiabilidade interna dos sensores. Foram calculadas correlações intraclassa para diferentes parâmetros da marcha e realizada análise de variância. Concluiu-se que o sistema é viável para ensaios clínicos que demandam análises detalhadas e agrupadas da marcha ao longo de um período prolongado. Foi demonstrada uma validade e confiabilidade comparáveis a uma ferramenta de análise estacionária."

Esses avanços representam uma possível aplicação, que pode contribuir no futuro para a melhoria dos testes, impulsionando o desenvolvimento de palmilhas ortopédicas e a qualidade de vida de inúmeros pacientes.

## **2. Metodologia**

Para o desenvolvimento da metodologia do seguinte projeto, foi baseada no conceito de Biodesign [7] adotando uma abordagem sistemática para as necessidades médicas não atendidas e desenvolver soluções inovadoras (Sessão 5.1 Cronograma). O processo compreende várias etapas interligadas que buscam a eficácia na coleta de dados e o desenvolvimento de soluções práticas, trabalhando o tempo todo com o *feedback* gerado pelos Stakeholders. O estudo segue uma abordagem sistemática, com reiterações com

*stakeholders*, para desenvolver os testes para palmilhas ortopédicas. O processo é composto por diversas etapas interconectadas, visando a solução proposta.

Primeiramente, para o desenvolvimento do projeto, o conceito é testado em uma máquina universal de ensaios industrial INSTRON através de uma compressão, presente no laboratório de materiais do INSPER, com uma célula de carga acoplados em seu maquinário, e um pé protético fornecido pela AACD para transferir a força da máquina para a palmilha. O conceito avaliado é a variação da resposta da palmilha, conforme os ciclos são efetuados. Nesse primeiro teste a palmilha é submetida a três compressões com aumento de força progressivo até 80 Kg, durante 15 minutos, seguindo recomendações de condições iniciais oferecidas pela AACD. O objetivo dessa validação ver a variação das curvas, medidas pela máquina, à medida que a palmilha sofre os ciclos (Figura 5).

Em seguida, com o conceito validado, as palmilhas são testadas no Baropodômetro (*Baroscan*), um equipamento usado extensamente na AACD para avaliar a distribuição de peso e tipos de pisadas em pacientes. Para se obter um referencial do quanto as palmilhas sem nenhum teste conseguem reduzir a pressão no pé (Figura 6). Com os dados obtidos, parte-se para a nova fase de testes.

Nessa terceira fase, as palmilhas são submetidas aos testes planejados (estático e dinâmico), onde uma carga controlada (Sessão 5.3) é aplicada nas palmilhas por meio de um pistão. Durante o teste estático o pistão, acionado por uma válvula 3-2 vias, fica pressionando a palmilha através de um pé protético, para refletir ao máximo a pisada de um paciente (biomimética), durante um período de 5h, tempo considerado ideal pela AACD para os testes iniciais. Esse teste representa o perfil de um paciente permanecendo em pé por um grande período. Já no teste dinâmico o pistão desempenha vários choques com o pé na palmilha, novamente acionado pela mesma válvula 3-2 vias, junto com um sensor magnético e um contador que fazem o acionamento e desligamento da válvula, criando assim o efeito de ciclos no pistão 8000 vezes, quantidade indicada pela AACD. Esse teste, por sua vez, representa o andar de um paciente e os possíveis desgastes à palmilha, que isso ocasiona. Dessa forma, simular ao máximo a condição de um dia na vida do paciente. É importante destacar o caráter modular do sistema possibilitando a intercambialidade das peças (pistão, pé, contador) para outros com base na necessidade da AACD.

Após a conclusão dos testes, as palmilhas são levadas novamente ao baropodômetro, onde são realizados novamente os testes feitos inicialmente. Dessa forma é possível comparar as

forças absorvidas pela palmilha antes e depois dos ciclos e assim avaliar uma possível mudança nas propriedades da palmilha.

Por fim, os dados são coletados e comparados, a fim de encontrar mudanças entre as condições (antes e depois dos testes) e entre os testes (estático e dinâmico) para assim, uma vez identificada as mudanças, validar o sistema como uma forma efetiva de produzir mudanças na palmilha.

É importante ressaltar novamente que esse estágio de testes, não busca desenvolver métricas para o uso do equipamento, mas desenvolver um sistema que produza mudanças na palmilha, para que estudos futuros possam se basear nesse, e proponham métricas, ou melhorias mais adequadas para o uso desse sistema.

### **3. Resultados e discussões**

#### **3.1 Testes de Compressão e Variação de Propriedades**

Inicialmente, o conceito foi submetido a testes de compressão em uma máquina industrial especializada (Figura 4), monitorando as variações das propriedades das palmilhas ortopédicas conforme ciclos de compressão foram aplicados. Os resultados demonstraram uma variação nas resistências à aplicação de força (Figura 5), conforme esperado.



*Figura 4 Equipamentos para o teste conceito na máquina de compressão, na figura é visível a célula de carga medindo a compressão no pé, no laboratório de matérias do INSPER*

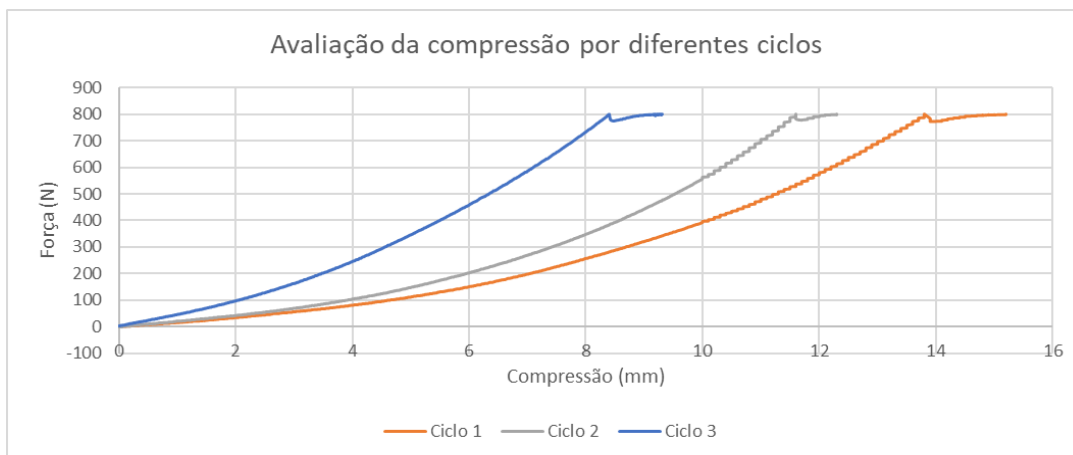


Figura 5 Resultados do teste de conceito, foi avaliado a resistência por compressão em diferentes ciclos de 15 minutos, mostrando que a cada ciclo é necessária mais força para uma mesma compressão

A partir desses resultados preliminares foi possível obter indicações que existe um desgaste e, que é possível ser avaliado a partir de um pé sendo pressionado contra a palmilha. Essa conclusão preliminar serviu como base para avaliação de novos testes.

### 3.2 Testes no Baropodômetro (Baroscan)

Os testes subsequentes realizados no Baropodômetro permitiram estabelecer um referencial sobre a capacidade das palmilhas em reduzir à pressão no pé (Figura 6), como nova forma de prova de conceito para a avaliação de desgaste de palmilha em pontos de pressão específicos após ciclos de compressão. Os dados coletados nessa fase indicam as pressões que são sentidas no pé com a palmilha, quando recebem uma força de 80Kg, e foram úteis para o direcionamento dos testes a seguir, fornecendo indicações sobre a distribuição

natural de esforços nos pés e sobre a aplicação das palmilhas e seu potencial de reduzir esforços nos pés.

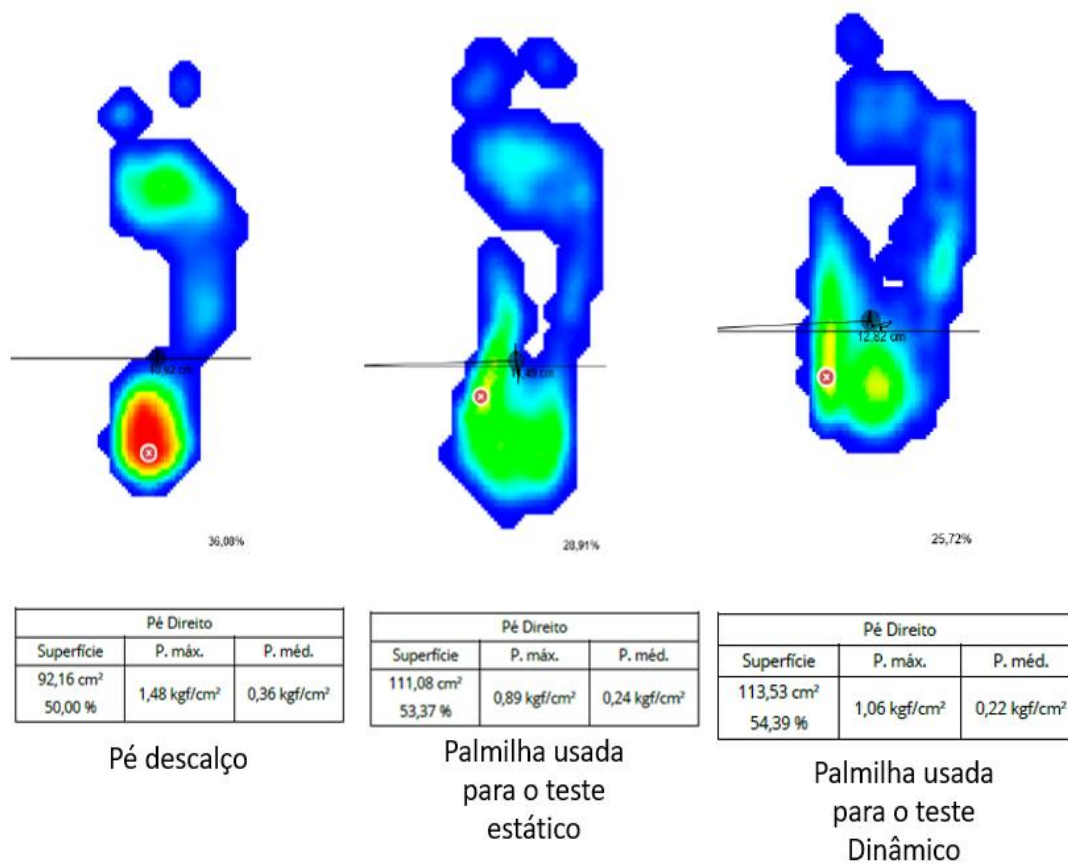


Figura 6 Pressões no pé descalço, e com palmilha, sem serem testados, avaliando a pressão nos pés por ampa de calor

Isso demonstra o potencial do Baropodômetro para avaliar a performance do dispositivo e das melhorias a serem implementadas no futuro

### 3.3 Testes Estáticos e Dinâmicos

Os testes estáticos e dinâmicos aplicados nas palmilhas, submetendo-as a situações simuladas de pressão e movimento, representativas do uso real por parte dos pacientes, revelaram resultados consistentes.

Durante o teste dinâmico (Figura 7 Figura 8), a palmilha apresentou um desgaste em algumas regiões da palmilha. Já no teste estático (Figura 8 ), os resultados indicaram uma possível necessidade de mais ciclos para notar mudanças mais significativas no exterior da palmilha.

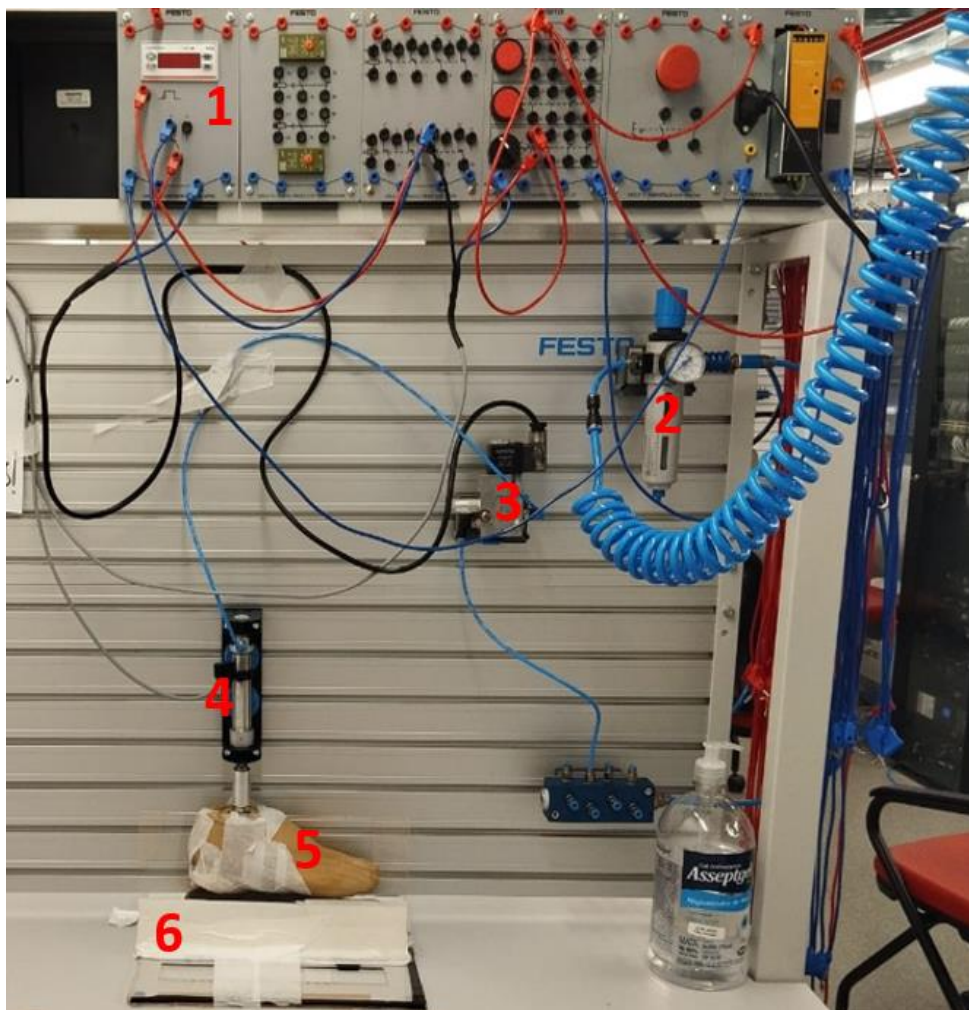


Figura 7 Teste dinâmico



Figura 8 Teste estático

### 3.4 Comparação Pós-Testes no Baropodômetro

Após a conclusão dos testes, uma nova análise no Baropodômetro foi conduzida para comparar as forças absorvidas pelas palmilhas antes e depois dos ciclos de teste. Essa análise inicial permitiu identificar mudanças nas propriedades das palmilhas, e indicações de desgastes em algumas regiões críticas da palmilha (metatarso e calcâneo) (Figura 9).

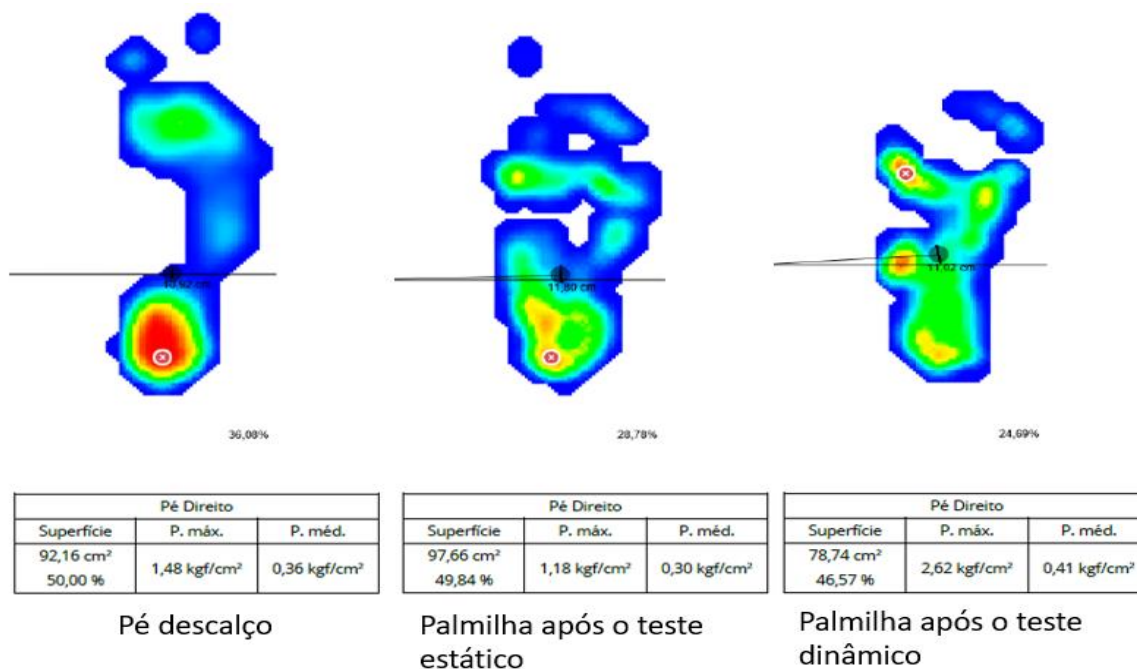


Figura 9 Pressões no pé descalço, e com palmilha, depois dos testes

Nas condições testadas os testes estáticos e dinâmicos demonstraram uma resistência consistente das palmilhas a cargas e movimentos simulados, refletindo um desempenho estável do dispositivo em condições representativas de uso diário. Apesar das condições limitadas dos testes, eles indicam a viabilidade do sistema proposto como uma solução efetiva para analisar situações do cotidiano e seus consequentes desgastes na palmilha.

Considerando o conjunto dos dados iniciais, os resultados obtidos dão indicações sobre a eficácia do sistema desenvolvido na promoção de mudanças nas propriedades das palmilhas ortopédicas. A variação na pressão máxima indicada pelo aparelho (Baroscan) indica uma sensibilidade do material à aplicação de força, sugerindo que o sistema consegue promover essas mudanças nas propriedades, com a ressalva da necessidade ainda de métricas adequadas e um protocolo adequado, para aperfeiçoar os testes e produzir resultados ainda mais significativos.

#### **4. Conclusão e trabalhos futuros**

Os resultados obtidos através dos testes realizados neste estudo forneceram insights valiosos para o desenvolvimento e avaliação de palmilhas ortopédicas. A implementação de um sistema de testes baseado em compressão, Baropodômetro e simulações estáticas e dinâmicas permitiu uma avaliação abrangente das propriedades e desempenho das palmilhas.

Os testes de compressão inicialmente revelaram uma variação nas propriedades das palmilhas conforme ciclos de compressão foram aplicados. Essa fase preliminar foi crucial para identificar possíveis desgastes e qualificar a continuidade do projeto, fornecendo um entendimento inicial da resposta das palmilhas à pressão exercida por um pé.

Os testes subsequentes no Baropodômetro foram úteis para estabelecer um referencial inicial, sobre a capacidade das palmilhas em reduzir a pressão nos pés. Eles forneceram informações sobre a distribuição natural de esforços nos pés.

Durante os testes estáticos e dinâmicos, observamos um desgaste em algumas regiões específicas das palmilhas. Embora tenhamos identificado mudanças, particularmente no teste dinâmico, sugerimos a necessidade de mais ciclos para notar alterações mais significativas na superfície das palmilhas. Eles também proporcionaram uma indicação da utilidade do dispositivo para os propósitos da AACD como teste de bocas prótese e design das palmilhas para desenvolvimento contínuo dos produtos.

A análise pós-testes no Baropodômetro revelou mudanças nas propriedades das palmilhas, identificando desgastes em regiões críticas, como o metatarso e o calcâneo. No entanto, os testes estáticos e dinâmicos demonstraram uma resistência consistente das palmilhas a cargas e movimentos simulados, validando o desempenho estável do dispositivo em condições representativas do uso diário.

Em resumo esse projeto levou a aplicação de um sistema modular pneumático que permite geometria de pés diferentes para testar mecanicamente palmilhas, abrindo assim um leque de oportunidades para novos trabalhos aprimorarem em cima desse estudo.

Os resultados sugerem a eficácia do sistema desenvolvido para promover mudanças nas propriedades das palmilhas. A sensibilidade do material à aplicação de força indica a capacidade do sistema em influenciar essas propriedades. No entanto, ressaltamos a necessidade de métricas mais refinadas para aprimorar os testes e alcançar resultados ainda mais significativos, por exemplo com a incorporação de parâmetros como temperatura e umidade para refletir condições biomiméticas mais adequadas dos pacientes e/ou sensores tecnológicos para uma aquisição de dados mais precisa (Sessão1.4).

## 5. Apêndice

### 5.1 Cronograma

Tarefas		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Análise do problema proposto	Definição dos objetivos do projeto.	■					
	Elaboração da estratégia geral do projeto.		■				
	Análise de recursos disponíveis e busca por possíveis soluções.		■				
	Pesquisa de mercado e estudos de casos.		■				
Proposta de solução e prototipação	Identificação das necessidades e expectativas da AACD		■				
	Definição dos requisitos técnicos do testador de palmilhas ortopédicas.		■				
	Design conceitual do dispositivo.		■	■			
	Desenvolvimento de protótipos iniciais.		■	■			
	Avaliação da viabilidade técnica.		■	■	■		
	Construção do protótipo funcional do testador.			■	■	■	
Conclusão do projeto	Testes preliminares para verificação da precisão.			■	■	■	
	Coleta de dados e análise dos resultados.			■	■	■	
	Aperfeiçoamento do design e da funcionalidade do dispositivo.			■	■	■	
	Testes finais nas palmilhas			■	■	■	
Validação do testador de palmilhas com base nos resultados dos testes.				■	■	■	
				■	■	■	
	Ajustes finais no projeto e no protótipo.			■	■	■	■

Figura 10 Cronograma

### 5.2 Stakeholders principais

Tabela 1 Stakeholders

Stakeholder	Papel/Interesse	Envolvimento no Projeto	Expectativas
AACD	Usuário do equipamento	Envolvimento direto, fornecedor das palmilhas e do dispositivo de testes	Produzir palmilhas mais resistentes e ter um equipamento para melhorar o desenvolvimento das palmilhas
Pacientes	Usuário das palmilhas	Não possui envolvimento direto no projeto, mas é o público final das palmilhas	Espera receber uma palmilha que dure mais, e seja adequada para suas necessidades

### 5.3 Controle da força no pistão

A força aplicada no teste pelo pistão foi calculada utilizando a fórmula da pressão. A pressão é definida como a força aplicada por unidade de área. A fórmula básica para calcular a pressão é:

$$P = \frac{F}{A} \quad (I)$$

Dada a informação de que o pistão tem um diâmetro de **20 mm**, podemos calcular a área da seção transversal do pistão. O diâmetro é **20 mm**, então o raio será metade do diâmetro, ou seja, **10mm** (0,01m).

O cálculo da área (**A**) da seção transversal do pistão usando o raio (**r**) é feito pela fórmula da área do círculo:

$$A = \pi \cdot r^2 \text{(II)}$$

Substituindo os valores conhecidos:

$$A = 3,14 \cdot 0,01^2 \text{(III)}$$

$$A \approx 0,000314 \text{ m}^2 \text{(IV)}$$

Agora, com a área encontrada, podemos calcular a força exercida pelo pistão a uma pressão de 10 Bar. Primeiro, é necessário converter 10 Bar para a unidade de pressão padrão, que é o Pascal (1Bar = 100000 Pascal)

Agora usando a fórmula da pressão rearranjada para isolar a força

$$F = P \cdot A \text{ (V)}$$

Substituindo os valores conhecidos:

$$F = 1000000 \text{ Pascal} \cdot 0,000314 \text{ m}^2 \text{ (VI)}$$

Portanto, quando um pistão de 20 mm de diâmetro é acionado a uma pressão de 10 Bar, ele aplica uma força de aproximadamente 314 Newton.

Dividindo essa força pela aceleração da gravidade ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) para obter o valor da força em Kg temos:

$$F(Kg) = \frac{\text{Força (N)}}{\text{Gravidade } (\frac{m}{s^2})} \text{ (VII)}$$

$$F(Kg) = \frac{314}{9,81} \text{ (VIII)}$$

$$F = 31,01 \text{ Kg (IX)}$$

## 6 Referências

[1] *CROSSLAND, S. R. et al. Evaluating the use of a novel low-cost measurement insole to characterise plantar foot strain during gait loading regimes. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 11, 17 ago. 2023.*

[2] *SANCHO-BRU, J. L. et al. Foot Sole Contact Forces vs. Ground Contact Forces to Obtain Foot Joint Moments for In-Shoe Gait—A Preliminary Study. **Sensors**, v. 23, n. 15, p. 6744–6744, 28 Jul. 2023.*

[3] *TANG, J. et al. Evaluation of in-shoe plantar pressure and shear during walking for diabetic foot ulcer prevention. **Journal of Wound Care**, v. 32, n. 9, p. 587–596, 2 set. 2023.*

[4] *TAMM, T. et al. Smart insole sensors for sports and rehabilitation. **Proceedings of SPIE**, 16 abr. 2014.*

[5] *LIN, F. et al. Smart Insole: A Wearable Sensor Device for Unobtrusive Gait Monitoring in Daily Life. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 12, n. 6, p. 2281–2291, dez. 2016.*

[6] *BRAUN, B. J. et al. Validation and reliability testing of a new, fully integrated gait analysis insole. **Journal of Foot and Ankle Research**, v. 8, n. 1, 22 set. 2015.*

[7] *YOCK, P. G. **Biodesign : the process of innovating medical technologies**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2015.*