



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Aline Souza Teodoro

**Desenvolvimento de dispositivo para análise da distribuição de cargas em
palmilhas com estruturas multicamada**

Blumenau

2024

Aline Souza Teodoro

Desenvolvimento de dispositivo para análise da distribuição de cargas em palmilhas com estruturas multicamada

Projeto de Defesa de Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina Campus Blumenau como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Têxtil.

Orientador: Dr. Leonardo Mejia Rincon
Coorientador: Prof. José Alexandre Borges Valle

Blumenau

2024

Teodoro, Aline

Desenvolvimento de dispositivo para análise da distribuição de cargas em palmilhas com estruturas multicamada / Aline Teodoro ; orientador, Leonado Mejia Rincon, coorientador, José Alexandre Borges Valle, 2024.
79 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Dispositivo de caracterização. 3. Distribuição de cargas. 4. Estrutura multicamadas. 5. Palmilhas. I. Rincon, Leonado Mejia . II. Valle, José Alexandre Borges. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Aline Souza Teodoro

Desenvolvimento de dispositivo para análise da distribuição de cargas em palmilhas com estruturas multicamada

O presente trabalho em nível de Mestrado avaliado e aprovado, em 10 de junho de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

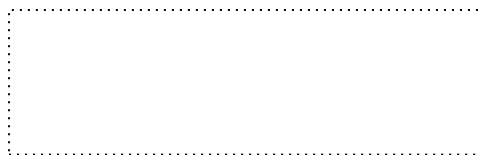
Profa. Dra. Fernanda Steffens
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Dr. Daniel Alejandro Ponce Saldias
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Têxtil.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon
Orientador

Blumenau, 2024

Dedico esta dissertação ao meu esposo Donizete Ferreira de Oliveira cujo apoio inabalável tornou este caminho possível, e a todos os professores que me inspiraram com mentorias e ensinamentos ao longo desta jornada acadêmica. Que este trabalho possa refletir não apenas meu esforço, mas também a generosidade e a sabedoria daqueles que me cercam.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo amor incondicional, apoio emocional e constante encorajamento ao longo deste percurso.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nas horas boas e más, trazendo alegria e companheirismo à minha vida.

Aos meus professores, cuja sabedoria e orientação moldaram meu pensamento e conhecimento, enriquecendo esta jornada acadêmica.

A todos os participantes e contribuintes deste trabalho, que generosamente compartilharam seu tempo, conhecimento e experiência para enriquecer esta pesquisa.

Agradeço profundamente a cada um de vocês, pois sem o apoio de vocês, este trabalho não teria sido possível.

RESUMO

Historicamente, os calçados evoluíram de meros elementos de proteção para se tornarem expressões significativas de estilo e conforto. As palmilhas, em particular, emergiram como componentes cruciais nessa transformação, influenciando de maneira decisiva tanto o conforto quanto o suporte oferecido pelos calçados. Neste estudo, desenvolvemos um dispositivo de caracterização de substratos têxteis destinado a analisar a absorção e a distribuição de carga em palmilhas com configurações multicamadas. Tal dispositivo foi projetado com sensores estrategicamente posicionados nos principais pontos de pressão dos pés (antepé, mediopé e retropé), possibilitando medições precisas. A metodologia incluiu uma fase de calibração, seguida por testes de carga estática e dinâmica, e avaliações da precisão do dispositivo. Comparando diferentes amostras de palmilhas multicamadas com um modelo padrão denominado como amostra A, foi possível discernir o impacto das variações composicionais na distribuição da pressão. A amostra A, constituída de papelão com 2 mm de espessura e 420 mm de comprimento, produzido com aparas de papel 100% reciclado, apresentou distribuição de carga uniforme e absorção de impacto moderada quando submetida a cargas de até 5 Newtons. Os experimentos de caracterização concentraram-se em substratos têxteis fabricados a partir de placas de Etileno Vinil Acetato (EVA) com dimensões de 400 x 600 mm e espessura de 2 mm, mescladas com malha de forro composta por 92,5% poliéster e 7,5% elastano, com gramatura de 110g/m². A quantidade de camadas foi a variável principal, sendo os experimentos realizados em três amostras diferentes (B, C e D): a amostra B, constituída por uma camada de EVA e uma camada de malha; a amostra C, constituída por duas camadas de EVA e malha; e a amostra D, constituída por três camadas de EVA e malha. A amostra D destacou-se significativamente na absorção de impacto quando comparada à amostra A. Mesmo com a carga máxima de 1000 g, a carga aplicada foi amortecida de forma superior à amostra A. Os resultados da amostra D apontaram uma leve pressão nos pontos de pressão do mediopé e uma uniformidade na distribuição de carga, descentralizando a pressão do antepé. Pode-se afirmar que, quanto maior a quantidade de camadas na amostra, maior a capacidade de absorção de impacto e de se equiparar à amostra A na busca por uniformidade na distribuição de pressão. Este estudo não apenas avança o conhecimento na área de substratos fibrosos utilizados em palmilhas, mas também destaca o potencial do dispositivo desenvolvido para aplicações tanto na pesquisa acadêmica quanto na indústria, visando a otimização do conforto e do desempenho dos calçados.

Palavras-chave: Dispositivo de caracterização; estrutura multicamadas; absorção de cargas; distribuição de cargas, palmilhas.

ABSTRACT

Historically, shoes have evolved from mere protective elements to become significant expressions of style and comfort. Insoles have emerged as crucial components in this transformation, decisively influencing both the comfort and support offered by shoes. In this study, we developed a textile substrate characterization device designed to analyze load absorption and distribution in insoles with multilayer configurations. This device was designed with sensors strategically positioned at the main pressure points of the feet (forefoot, midfoot and rearfoot), enabling accurate measurements.

The methodology included a calibration phase, followed by static and dynamic load tests, and device accuracy assessments. By comparing different samples of multilayer insoles with a standard model referred to as sample A, it was possible to discern the impact of compositional variations on pressure distribution. Sample A, made of cardboard 2 mm thick and 420 mm long, produced with 100% recycled paper scraps, showed uniform load distribution and moderate impact absorption when subjected to loads of up to 5 newtons. The characterization experiments focused on textile substrates manufactured from Ethylene Vinyl Acetate (EVA) sheets with dimensions of 400 x 600 mm and a thickness of 2 millimeters, mixed with a lining knitted fabric composed of 92.5% polyester and 7.5% elastane, with a weight of 110g/m². The number of layers was the main variable, with the experiments being carried out on three different samples (B, C and D): sample B, consisting of an EVA layer and a knitted fabric layer; sample C, consisting of two layers of EVA and knitted fabric; and sample D, consisting of three layers of EVA and knitted fabric. Sample D stood out significantly in terms of impact absorption when compared to sample A. Even with a maximum load of 1000 grams, the applied load was better damped than sample A. The results for sample D showed slight pressure at the points of midfoot pressure and uniformity in load distribution, decentralizing pressure from the forefoot. It can be stated that the greater the number of layers in the sample, the greater the capacity to absorb impact and to be on par with sample A in the search for uniformity in pressure distribution. This study not only advances knowledge in fibrous substrates used in insoles, but also highlights the potential of the device developed for applications in both academic research and industry, aiming to optimize the comfort and performance of footwear.

Keywords: Characterization device; multilayer structure; load absorption; load distribution, insoles.

Figura 1 – Resumo da história dos calçados.....	14
Figura 2 – Exemplo de calçados produzidos por impressão 3D.....	16
Figura 3 – Podoscópio de acrílico para avaliar a forma plantar.....	18
Figura 4 – Palmilha fabricada com EVA.....	24
Figura 5 – Exemplificação de uma palmilha com 4 camadas.....	26
Figura 6 – Zonas do pé que sofrem pressão ao caminhar.....	32
Figura 7 – Evolução de idéias deste primeiro Croqui do dispositivo.....	34
Figura 8 – Design do dispositivo Modelo 1.....	35
Figura 9 – Design do dispositivo Modelo 2.....	35
Figura 10 –Pontos de pressão ao caminhar.....	36
Figura 11 – Sensor de força marca PASCO $\pm 50N$	37
Figura 12 – Amostra A padrão papelão 2 mm.....	41
Figura 13 – Amostras B, C e D.....	42
Figura 14 – Dispositivo montado para experimentos com carga estática.....	43
Figura 15 – Dispositivo posicionado entre a rampa.....	44
Figura 16 – Carrinho com controle remoto.....	44
Figura 17 – Dispositivo com rampa montado.....	45
Figura 18 – Calibração sensor individual.....	45
Figura 19 – Dispositivo por seções de calibração simultânea.....	46
Figura 20 – Carga aplicada seção antepé.....	46
Figura 21 – Carga aplicada seção mediopé.....	47
Figura 22 – Carga aplicada na seção retropé.....	47
Figura 23 – Gráfico 2D da calibração.....	48
Figura 24 – Simulação Footprint Analyse.....	52
Figura 25 – Imagens tridimensionais dos resultados obtidos.....	53
Figura 26 – Resultado gráfico da calibração Aprovado.....	56
Figura 27 – Resultados seção antepé – carga 1200 g.....	57
Figura 28 – Resultados mediopé – carga 1200 g.....	57
Figura 29 – Resultados retropé – carga 1200 g.....	58
Figura 30 – Resultados seção antepé – carga 750 g.....	59
Figura 31 - Resultados seção 2 – carga 750 g.....	59
Figura 32 – Resultados seção 3 – carga 750 g.....	60
Figura 33 – Análise de combinação seção 1.....	60
Figura 34 – Análise de combinação seção 2.....	61

Figura 35 – Análise de combinação seção 3	61
Figura 36 – Resultado gráfico da calibração Aprovado	63
Figura 37 – Resultados carga dinâmica - carrinho vazio	64
Figura 38 – Resultados carga dinâmica - 1000 g	64
Figura 39 – Resultados carga dinâmica - carrinho vazio repetição	65
Figura 40 – Resultados carga dinâmica - 500 g	65
Figura 41 – Resultados carga dinâmica - 1000 g	66
Figura 42 – Análise carga estática 750 g seção antepé	67
Figura 43 – Análise carga estática 750 g seção mediopé	68
Figura 44 – Análise carga estática 750 g seção retropé	68
Figura 45 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x B	69
Figura 46 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x C	70
Figura 47 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x D	71
Figura 48 – Análise carga dinâmica carrinho 500 g A x B	72
Figura 49 – Análise carga dinâmica carrinho 500 g A x D	72
Figura 50 – Análise carga dinâmica carrinho 1000 g A x D	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição amostral	42
Tabela 2 – Tabela de correlação software x físico	49
Tabela 3 – Análise de resposta carga estática Experimentos 1 ao 18	54
Tabela 4 – Análise de resposta carga estática Experimentos 19 ao 60	55
Tabela 5 – Experimento com carga dinâmica.....	62
Tabela 6 – Tabela de classificação de coloração	67
Tabela 7 – Tabela de classificação das amostras	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira de Indústria Têxtil
EVA	Etileno Vinil Acetato
FSC	Forest Stewardship Council
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
2D	Dimensional
3D	Tridimensional
CBEB	Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	18
1.1.1	Objetivos Específicos	18
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	TÊXTEIS EM PALMILHAS.....	23
2.1.1	Importância das Camadas das Palmilhas	25
2.2	ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS	27
2.2.1	Processo de Análise da Distribuição de Cargas em Palmilhas	28
2.2.2	Considerações gerais	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO	32
3.1.1	Design Conceitual do Dispositivo	34
3.2	MÉTODO DOS EXPERIMENTOS LABORATORIAIS	41
3.2.1	Montagem do dispositivo com carga estática e dinâmica	43
3.2.1.1	<i>Método de calibração</i>	45
3.2.1.2	<i>Coleta de dados e transformação gráfica 2D</i>	48
3.2.1.3	<i>Coleta de dados e transformação gráfica 3D</i>	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1.1	Resultados carga estática	54
4.1.2	Resultados de carga dinâmica	62
4.1.3	Resultados tridimensionais	66
4.1.4	Discussões	74
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	75
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

A história dos calçados remonta a milênios e desempenhou um papel fundamental na evolução da humanidade. Desde os primórdios da civilização, o ser humano reconheceu a necessidade de proteger os pés, seja contra o ambiente hostil ou como uma expressão de *status* e estilo. A história dos calçados é um reflexo da complexa interação entre necessidades práticas, inovação tecnológica, cultura e moda. “A utilização dos primeiros calçados rudimentares, feitos de materiais como peles e fibras vegetais, estava ligada à sobrevivência, oferecendo proteção contra lesões e condições adversas.” Giorgio Riello e Peter McNeil (2006).

Esta progressão é uma das principais reflexões apresentadas por Giorgio Riello e Peter McNeil em sua obra: “*A History from Sandals to Sneakers*” (Berg, Oxford and New York, 2006). “À medida que as sociedades se desenvolveram, os calçados também passaram por uma significativa evolução, adotando novos materiais e avançadas técnicas de fabricação”. Giorgio Riello e Peter McNeil (2006) A trajetória evolutiva dos calçados é sucintamente dividida em duas grandes eras: antes de Cristo (a.C.) e depois de Cristo (d.C.), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Resumo da história dos calçados



Fonte: adaptada *history-shoes* (2024)

Na antiguidade, civilizações como os egípcios e romanos (1200 AC - 27 DC) desenvolveram calçados elaborados, muitas vezes refletindo a hierarquia social e a riqueza. Os sapatos eram frequentemente adornados com jóias e materiais luxuosos, e sua fabricação tornou-se uma arte altamente valorizada. Durante a Idade Média (entre os séculos V e XV), os calçados evoluíram para atender às demandas da cavalaria e das classes nobres, com botas e sapatos de couro ricamente decorados. Posteriormente, na Revolução Industrial (no período de cerca do ano 1760 a algum momento entre os anos 1820 e 1840), a produção em massa e a padronização tornaram os calçados acessíveis a uma gama mais ampla de pessoas.

No século XX, a evolução dos calçados se acelerou com avanços em materiais, como borracha e plástico, levando ao desenvolvimento de calçados esportivos, calçados de corrida e sapatos de moda. A história dos calçados é uma narrativa rica e multifacetada que abrange desde a necessidade básica de proteger os pés até a expressão de arte, moda e identidade. Sua importância transcende o aspecto estético, influenciando na saúde, conforto e até mesmo na mobilidade, tornando-se assim um elemento essencial na evolução da sociedade humana. Além do aspecto de moda, os calçados desempenham um papel crucial na saúde e no bem-estar. Sapatos adequados oferecem suporte anatômico, proteção contra lesões e contribuem para o equilíbrio e a postura corretos. *“Para grupos específicos, como atletas e profissionais da saúde, a escolha de calçados apropriados pode fazer a diferença no desempenho e na prevenção de lesões.”* Chen L. et al. (2013)

A indústria de calçados, uma das maiores globalmente, tem diversificado significativamente seus estilos, materiais e tecnologias empregadas. *“Os calçados não apenas servem um propósito prático, mas também são cruciais para a expressão cultural e individual, refletindo identidades pessoais e tendências sociais.”* Chen, L. et al. (2017) “Recentemente, a manufatura neste setor está sendo transformada por abordagens inovadoras que desafiam os métodos de produção tradicionais.” Azevedo (2011). Diferentemente da fabricação convencional, que geralmente envolve a remoção meticulosa de material para alcançar a forma desejada, técnicas emergentes como a manufatura aditiva permitem a construção de objetos camada por camada a partir de uma base inicial. Esta técnica possibilita a criação de calçados que se ajustam perfeitamente, levando em consideração características anatômicas específicas.

A impressão tridimensional (3D) permite ainda o uso de materiais inovadores com propriedades customizadas, tais como: leveza, flexibilidade e durabilidade para atender necessidades específicas dos usuários. Atualmente, a indústria de calçados demonstra um interesse crescente pela impressão 3D, com várias empresas explorando suas capacidades para desenvolver produtos altamente personalizados. Essa personalização vai além do ajuste anatômico, incluindo a seleção de materiais que otimizam conforto, desempenho e estilo.

Uma empresa de análise em mercado para tecnologias emergentes, [...] “espera-se que o mercado de calçados produzidos via impressão 3D alcance um valor de US\$ 6,3 bilhões até 2029, tornando-se o segmento de maior consumo dentro do setor de manufatura aditiva.” *SmarTech Analysis* (2024). A Figura 2 mostra um exemplo de calçados que podem ser produzidos a partir da impressão 3D, é possível identificar que a peça não tem emendas ou costuras diferentemente dos calçados tradicionais, destacando a integração entre sustentabilidade e avanço tecnológico, visando aumentar a produtividade na indústria de calçados.

Figura 2 – Exemplo de calçados produzidos por impressão 3D



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Em relação aos materiais constitutivos, os têxteis desempenham um papel importante na indústria de calçados, influenciando significativamente a funcionalidade, conforto e estilo dos sapatos. A relevância desses materiais se manifesta em várias dimensões, como conforto e ajuste, flexibilidade e mobilidade, controle de umidade, além de design e estilo. Além disso, [...] “os têxteis estão no centro de inovações voltadas para a sustentabilidade e a aplicação de tecnologia avançada na fabricação de calçados”. *SmarTech Analysis* (2024).

Particularmente nas palmilhas, que são peças inseridas dentro dos calçados, fundamentais para melhorar o conforto e o bem-estar dos usuários, além de terem uma significativa relevância na saúde musculoesquelética. Originárias de práticas milenares, as palmilhas têm passado por uma constante evolução, integrando avanços tecnológicos e científicos para satisfazer as exigências de uma população cada vez mais diversificada. Essa trajetória de inovação sublinha a importância dos têxteis no mercado de calçados, evidenciando como esses materiais contribuem para a qualidade e a eficácia dos produtos.

Apesar de serem amplamente utilizadas tanto na prática clínica quanto no cotidiano, as palmilhas ainda suscitam debates em muitos aspectos. Questões como a eficácia, personalização, os materiais utilizados, métodos de fabricação e a compreensão dos mecanismos pelos quais essas palmilhas impactam o corpo humano representam desafios significativos para profissionais de saúde, pesquisadores e pacientes.

Essas discussões são especialmente pertinentes considerando a diversidade anatômica dos pés, que podem ser classificados de várias formas. Segundo Righetto (2013), uma classificação relevante envolve o comprimento da formação do arco plantar e o comprimento dos dedos. Esta classificação é fundamental para entender como diferentes tipos de palmilhas podem ser mais ou menos eficazes, dependendo das características específicas do pé de cada indivíduo. Compreender a eficácia das palmilhas e sua personalização pode levar a avanços significativos na caracterização de têxteis, possibilitando tratamentos mais eficazes e personalizados para aqueles que enfrentam desconforto e limitações devido a problemas nos pés, tornozelos ou problemas associados.

Embora existam dispositivos disponíveis para a digitalização dos pés, os quais promovem a confecção personalizada de produtos com benefícios multifacetados, esta pesquisa foca exclusivamente na análise da literatura científica, deixando de lado qualquer abordagem comercial. O podoscópio um equipamento eletromédico projetado para melhorar a visualização da impressão plantar, permitindo que os profissionais de saúde examinem detalhadamente o apoio plantar do paciente, a morfologia do pé e a resposta do paciente a fim de prescrever, se necessário, palmilhas personalizadas foi um norteador para esta pesquisa. A Figura 3 ilustra um modelo comercializado atualmente.

Figura 3 – Podoscópio de acrílico para avaliar a forma plantar



Fonte: elaborada pela autora (2024)

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste estudo consiste em caracterizar as estruturas multicamadas da absorção e distribuição de cargas de um substrato têxtil.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram definidos para investigar as características dos substratos têxteis em palmilhas e avaliar seu impacto na distribuição de pressão. Esses objetivos específicos, detalhados a seguir, são fundamentais para impulsionar o avanço da pesquisa na área:

- Projetar e fabricar um dispositivo de caracterização que permita uso de substratos têxteis e papelão, que inclua sensores de pressão capazes de medir a distribuição de carga, com ênfase nas palmilhas de calçados.
- Avaliar o comportamento de diferentes tipos de substratos têxteis quando submetidos a cargas variáveis, identificando como esses materiais afetam a distribuição de pressão nos pés.
- Comparar os resultados obtidos com substratos têxteis utilizados em palmilhas com uma amostra padrão, possibilitando uma análise crítica das propriedades de absorção de carga dos materiais.

- Investigar a influência da composição multicamada dos substratos têxteis na distribuição de carga e absorção de impacto, considerando a quantidade de camadas.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em 4 capítulos: (1) Introdução, (2) Fundamentação Teórica, (3) Materiais e Métodos e (4) Resultados e discussões (5) Conclusões e sugestões. Ao final deste estudo é apresentada uma lista de referências utilizadas.

Neste estudo são apresentados os métodos para construção e validação de um dispositivo para medição de distribuição de cargas em uma palmilha. Dividido em 3 tópicos:

- Têxteis frequentemente utilizados em confecção de palmilhas: incluindo materiais como o EVA, que é conhecido por sua capacidade de absorção de choque e conforto, bem como tecidos especiais de fibras sintéticas que proporcionam durabilidade e resistência, e outros materiais comuns como espumas de poliuretano, poliéster e até mesmo tecidos de fibra de carbono para palmilhas de alto desempenho. Essa variedade de materiais têxteis permite que as palmilhas atendam a diferentes necessidades, desde o suporte e a absorção de choque em calçados esportivos até o conforto e a estabilidade em calçados casuais;
- Camadas das palmilhas: palmilhas são frequentemente compostas por camadas de substratos têxteis, cada uma desempenhando um papel específico na melhoria do conforto, suporte e desempenho dos calçados. As camadas são combinadas de maneira estratégica para atender às necessidades específicas de cada tipo de calçado e às preferências individuais de conforto. A escolha das camadas e dos materiais varia de acordo com o propósito das palmilhas, seja para melhorar o suporte em calçados esportivos, proporcionar conforto em calçados casuais ou atender a outras necessidades específicas dos usuários.
- Absorção e distribuição de cargas: a caracterização da distribuição de carga nos pés é fundamental para avaliar o conforto e o suporte oferecidos pelos calçados, sendo de extrema importância para a saúde e o bem-estar das pessoas. A distribuição inadequada de carga pode resultar em desconforto, dor e problemas ortopédicos. Dispositivos como sensores de pressão, plataformas de medição de carga e sistemas de análise de pegadas são usados para estudar essa distribuição.

Os próximos capítulos do presente documento descrevem a metodologia do estudo e apresentam os resultados da pesquisa, contribuindo assim para uma compreensão mais completa do papel dos têxteis nas palmilhas e como a escolha do têxtil pode impactar na saúde e no bem-estar humano.

Como introduzido previamente, os têxteis desempenham um papel crucial no contexto das palmilhas, influenciando diretamente a absorção e distribuição de cargas. Este estudo dos substratos têxteis sob carga é essencial para aprimorar o conforto e o suporte oferecidos pelos calçados, sendo particularmente relevante para atletas e indivíduos com condições ortopédicas, além de oferecer benefícios significativos para o público em geral.

Durante a caminhada, o pé transita do estado estático para o dinâmico, conectando-se ao movimento cinemático do corpo. Em ambas as fases e em suas transições, é essencial manter o equilíbrio corporal. O papel do pé nesse processo é duplo: passivamente, atua como amortecedor, absorvendo a força de impacto contra o solo, enquanto ativamente transfere as forças do corpo para o solo durante o impulso.

A terceira lei de Newton, que descreve a relação de ação e reação, influencia esse processo, interagindo entre o corpo e o solo. Ao medir as forças exercidas pelo pé no solo, é possível quantificar as cargas extremas que o corpo enfrenta durante atividades como corrida, caminhada e prática esportiva (Rosenbaum e Becker 1997). Essas cargas são identificadas e medidas por meio das pressões plantares.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como caracteriza a história do calçado remonta a civilizações antigas, no entanto, o desenvolvimento significativo das palmilhas ocorreu durante o século 19, com o crescimento da indústria de calçados. Foi nessa época que surgiram as primeiras palmilhas anatômicas, [...] “*projetadas para se ajustar à forma dos pés dos usuários*”. Giorgio Riello e Peter McNeil (2006). Com o avanço da tecnologia, o design de calçados experimentou numerosas transformações, evoluindo para formas cada vez mais complexas e precisamente adaptadas às diversas necessidades humanas.

A necessidade de palmilhas surgiu como uma resposta às limitações das solas dos sapatos, que muitas vezes eram rígidas e desconfortáveis. As palmilhas foram introduzidas para proporcionar conforto adicional, amortecer o impacto durante a caminhada e corrigir problemas de alinhamento dos pés.

O estudo das palmilhas é fundamental para entender como esses componentes têm evoluído dentro do universo do calçado e qual sua influência na saúde e bem-estar dos indivíduos. A revisão de literatura sobre palmilhas revela sua importância na biomecânica dos pés e destaca como elas podem ser refinadas para atender às demandas específicas de cada usuário.

A abordagem envolve a análise crítica e a síntese de informações provenientes de fontes confiáveis, permitindo identificar lacunas, tendências e áreas de interesse para futuros estudos.

A fim de assegurar a abrangência e eficácia da revisão, foram consultados diversos tipos de documentos, incluindo artigos científicos, livros, teses, relatórios técnicos e documentos de apoio. Recursos online, como o Google Scholar (Google Acadêmico), SciELO (Biblioteca Eletrônica Científica Online) e BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), provaram ser valiosos para acessar artigos revisados por pares e outras publicações relevantes, fundamentais para embasar esta pesquisa.

A busca foi realizada utilizando palavras-chave como 'palmilhas', 'distribuição de cargas', 'têxteis', 'sensores', 'dispositivo', 'caracterização', 'calçados', 'avaliação plantar' e 'absorção'. Dentre as publicações encontradas nas diversas bases de dados científicas, destacam-se: a pesquisa do Dr. Smith et al. (2020) “*Advanced Textile Materials for Footwear Insoles*” que fornece informações sobre o desenvolvimento de materiais têxteis avançados para palmilhas de calçados; a pesquisa da Dra. Johnson

et al. (2019) "*Customized Textile Insoles for Foot Comfort*" que explora a personalização de palmilhas com base nas necessidades individuais dos usuários; e a pesquisa do Dr. Brown et al. (2018) "*Durability Assessment of Textile Materials in Insoles*" que aborda a questão da durabilidade dos materiais têxteis em palmilhas.

A revisão bibliográfica realizada foi crucial para enriquecer o entendimento do tema, fundamentando a pesquisa e garantindo a robustez dos resultados obtidos. Neste estudo, foram abordados três aspectos principais:

- Têxteis em palmilhas: compreender os materiais mais usados é crucial para o desenvolvimento do dispositivo.
- Camadas das palmilhas: conhecer a estrutura das palmilhas, pois cada camada influencia na absorção e distribuição de carga no resultado.
- Absorção e distribuição de cargas: a revisão traz informações sobre como materiais e estrutura afetam esses aspectos.

A análise das informações bibliográficas apresentadas neste capítulo estabelece a base inicial para a investigação voltada ao desenvolvimento de um dispositivo de caracterização que permita uso em substratos têxteis.

De acordo com artigo DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE PRESSÃO PLANTAR EM PALMILHAS apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica em 2016 (CBEB) é possível utilizar sensores piezoelétricos comerciais de fácil acesso e baixo custo para analisar movimentos e intensidade de pressão plantar.

Assim como o artigo *Monitoring insole (MONI): A low power solution toward daily gait monitoring and analysis evidencia a possibilidade de [...]* “desenvolver um sensor que permite o monitoramento das ondas de pulso do pulso e um sistema de detecção de pressão em forma de palmilha sem fio monitorando as distribuições de pressão e a cinética da marcha durante a caminhada.” HUA; WANG (2019)

Certamente estas pesquisas são valiosas e proporcionaram reflexões de extensão particularmente nas palmilhas de calçados, no entanto a presente pesquisa tem como foco principal analisar a capacidade de absorção de impacto das multicamadas dos substratos têxteis. Apesar dos sensores piezoelétricos serem baixo custo e capazes de medir e monitorar os movimentos durante a caminhada são passivos de não se adaptar ao uso das amostras sugeridas. Desta forma também é possível identificar as vantagens do dispositivo desenvolvido, o qual não é de exclusividade têxtil, podendo ser usado para demais materiais como: papelão, EVA, tecido, plástico, madeira, ferro, entre outros adaptando a necessidade da pesquisa.

A pesquisa é conduzida em torno da questão central: 'Como os substratos têxteis multicamadas respondem em termos de absorção de impacto? Para embasar e enriquecer este estudo, considera-se referências bibliográficas que exploram a distribuição de [...] *“carga nos pés e a influência de variáveis como calçados, órteses e diferentes condições de saúde nesse processo.”* Smith et al. (2020) foca na distribuição da pressão plantar e análise da marcha em pacientes diabéticos, evidenciando a importância de entender esses aspectos para a saúde dos pés. De forma complementar, [...] *“discutem como o design dos calçados pode impactar a distribuição da pressão plantar, ressaltando a necessidade de projetar calçados ergonomicamente eficazes.”* Brown et al. (2019)

O artigo de Johnson et al. (2018) investiga os efeitos das palmilhas ortopédicas na distribuição da pressão em pacientes com pé plano, contribuindo para a compreensão das intervenções ortopédicas eficazes. Por fim, uma visão abrangente sobre têxteis integrados com sensores de pressão, destacando a [...] *“importância crescente desses materiais na biomecânica e na análise da carga.”* Chen et al. (2018)

Essas obras foram fundamentais para a pesquisa, proporcionando uma base sólida para aprofundar a compreensão dos fenômenos relacionados à distribuição de carga nos pés e ao uso de materiais têxteis especializados nesse contexto.

2.1 TÊXTEIS EM PALMILHAS

Os materiais têxteis têm uma função fundamental na produção de palmilhas de calçados, impactando diretamente no conforto, na capacidade de absorção de impacto e na distribuição da carga nos pés. Esta seção visa examinar os materiais têxteis mais frequentemente empregados nas palmilhas e enfatizar o impacto que eles exercem nas características delas.

Os têxteis desempenham um papel crucial na composição das palmilhas de calçados, influenciando diretamente o conforto e o suporte oferecidos aos pés. No cenário atual, as palmilhas apresentam uma ampla variedade de materiais e tecnologias, refletindo os avanços na ciência dos materiais e na fabricação de dispositivos médicos.

Além dos materiais convencionais como espuma, gel, silicone, plástico rígido, algodão, poliéster e EVA as palmilhas incorporam materiais inovadores e avançados para proporcionar benefícios adicionais aos usuários. Por exemplo, alguns fabricantes

utilizam materiais de absorção de impacto, como polímeros viscoelásticos ou elastômeros termoplásticos, que oferecem uma combinação única de amortecimento e suporte.

Esses materiais são projetados para se adaptar dinamicamente aos movimentos dos pés, proporcionando conforto e estabilidade em uma ampla gama de atividades. A Figura 4 exemplifica uma palmilha fabricada com EVA.

Figura 4 – Palmilha fabricada com EVA



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Outras inovações incluem materiais de tratamento antimicrobianos de última geração para prevenir infecções, revestimentos de carbono ativado para controle de odor e tecidos respiráveis para manter os pés secos e confortáveis durante todo o dia. Na sequência, são apresentadas algumas características relevantes sobre têxteis em palmilhas:

- Absorção de umidade: muitos tecidos têxteis têm a capacidade de absorver a umidade, o que é fundamental para manter os pés secos e confortáveis. Fibras como o algodão são conhecidos por sua absorção eficaz.
- Respirabilidade: a capacidade de permitir a circulação de ar é crucial para evitar a transpiração excessiva e o mau odor. Fibras como o nylon e o poliéster são valorizados por sua respirabilidade.
- Elasticidade e flexibilidade: a elasticidade dos tecidos têxteis pode proporcionar um ajuste mais confortável e adaptável aos pés. Materiais como o elastano conferem essa característica.
- Durabilidade: a resistência ao desgaste é importante, especialmente em palmilhas que serão usadas com frequência.

- Amortecimento: Alguns têxteis são projetados para oferecer amortecimento adicionais, proporcionando conforto extra durante a caminhada ou corrida.
- Propriedades antimicrobianas: tecidos tratados com agentes antimicrobianos ajudam a prevenir o crescimento de bactérias e odores desagradáveis.

2.1.1 Importância das Camadas das Palmilhas

Qualquer material inserido entre a sola do calçado e o pé que influencie as forças de pressão exercidas no membro é considerado uma palmilha, “as palmilhas ortopédicas, um tipo de órtese plantar, têm a finalidade de realinhar o esqueleto, reduzir impactos, *fricções e aliviar áreas sujeitas a pressões excessivas*” Oliveira (2013). Além disso, “*contribuem para a uniformização do centro de gravidade corporal e corrigem o equilíbrio do pé tanto em repouso quanto em movimento*”. Pauk et al., (2015) Atualmente, existe uma ampla variedade de órteses plantares disponíveis para atender a diferentes necessidades e finalidades. Existem palmilhas esportivas [...] “*especializadas para corredores, praticantes de exercícios em ambientes fechados, entre outras atividades*” Rao; Baum (2006). As palmilhas médicas são prescritas para prevenir lesões em diabéticos, realinhar o pé e melhorar a postura.

As camadas das palmilhas desempenham um papel relevante na experiência de conforto e suporte proporcionada pelos calçados. Cada camada possui funções específicas que influenciam a absorção de impacto, a distribuição de carga e a estabilidade dos pés. Não existe uma quantidade exata de camadas pode ser de uma camada ou seis camadas para palmilhas mais elaboradas, normalmente para fins ortopédicos. Uma palmilha dupla [...] “*produz reduções significativas nas forças de reação do solo em comparação com a palmilha de uma camada, sugerindo um possível benefício na redução do risco de lesões.*” FONG; Shirley (2009).

Para melhor compreensão pode-se estratificar as camadas em superior, amortecimento, suporte, base, controle de odor e umidade. A camada superior fica em contato direto com o pé do usuário, geralmente consiste em materiais macios, como espumas de EVA. Sua função principal é proporcionar conforto e absorver parte do impacto durante a caminhada. A camada de amortecimento, localizada logo abaixo

da camada superior, é frequentemente composta por materiais mais densos, como espumas de poliuretano. Sua responsabilidade é absorver e distribuir uniformemente o choque do impacto ao caminhar, reduzindo a pressão em áreas específicas.

Algumas palmilhas possuem uma camada de suporte abaixo da camada de amortecimento, geralmente feita de materiais mais rígidos, como plástico ou fibra de vidro, que visa proporcionar estabilidade ao arco do pé. A Figura 5 exemplifica uma palmilha com 4 camadas, sendo três de EVA e uma de poliéster, respectivamente.

Figura 5 – Exemplificação de uma palmilha com 4 camadas



Fonte: elaborada pela autora (2024)

A camada de base é a parte inferior da palmilha, em contato com a sola do calçado, é geralmente confeccionada com materiais resistentes, como borracha. Sua principal função é proteger as camadas superiores da palmilha contra o desgaste causado pelo atrito com a sola do calçado.

Algumas palmilhas têm uma camada adicional que é incorporada para controlar odores e umidade, frequentemente composta por materiais antimicrobianos ou absorventes de umidade, contribuindo para manter os pés frescos e secos. Para atender necessidades médicas específicas que podem incluir camadas adicionais com características especiais para o tratamento de condições como diabetes ou pé plano são utilizadas camadas adicionais.

Compreender as propriedades e funções de cada camada é essencial para o design eficaz de palmilhas que atendam às necessidades individuais dos usuários. Além disso, as camadas das palmilhas desempenham um papel significativo na distribuição de carga e na prevenção de lesões nos pés, tornando-as um componente crucial nos calçados modernos.

2.2 ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS

A distribuição e absorção de cargas são aspectos significativos no estudo do comportamento dos tecidos em contato com o corpo humano. A distribuição de cargas envolve a análise da pressão exercida em diferentes pontos de contato, como os pés, e é fundamental para compreender como os materiais têxteis interagem com o corpo sob diversas condições. Isso é especialmente relevante no desenvolvimento de dispositivos de caracterização, calçados e palmilhas, onde a distribuição adequada de cargas pode impactar o conforto e a saúde dos usuários.

Por sua vez, a absorção de cargas refere-se à capacidade dos materiais têxteis de amortecer impactos e proteger o corpo contra lesões. Essa propriedade é fundamental em aplicações esportivas e de proteção, bem como na busca por calçados mais confortáveis e ergonômicos. Portanto, a análise da distribuição e absorção de cargas dos substratos têxteis oferece oportunidades de pesquisa e inovação significativas, estes estudos podem ser úteis para uma variedade de partes interessadas:

- A indústria têxtil pode se beneficiar diretamente, utilizando as descobertas para otimizar processos de fabricação e melhorar a qualidade dos produtos.
- Pesquisadores acadêmicos podem usar os resultados como base para pesquisas adicionais, potencialmente levando a avanços em materiais condutores e técnicas de fabricação.
- Empresas de tecnologia e eletrônicos que desenvolvem dispositivos vestíveis podem melhorar a funcionalidade e durabilidade de seus produtos com base nessas descobertas.
- O setor médico pode explorar aplicações em dispositivos médicos, como roupas de compressão para terapia de recuperação.
- Os consumidores podem se beneficiar indiretamente com o desenvolvimento de produtos têxteis mais avançados, duráveis e funcionais.

É um campo interdisciplinar que integra conhecimentos em engenharia, biomecânica, materiais e design, com potencial para impactar positivamente a qualidade de vida das pessoas.

2.2.1 Processo de Análise da Distribuição de Cargas em Palmilhas

A análise da distribuição de cargas em palmilhas é um processo fundamental para compreender como diferentes materiais e estruturas afetam a pressão exercida sobre os pés. *“Este processo envolve várias etapas, incluindo coleta de dados, processamento de dados, análise estatística, comparação de condições e avaliação de resultados.”* Chuang; Lin, (2014). O primeiro passo é a coleta de dados experimentais que pode ser realizado por meio de sensores de pressão embutidos nas palmilhas ou sistemas de análise de marcha. Durante o teste, os participantes caminham ou realizam atividades específicas, enquanto os sensores registram a pressão em vários pontos dos pés.

Os dados coletados são processados para criar mapas de pressão que representam a distribuição de cargas. Esses mapas fornecem informações visuais sobre as áreas de maior e menor pressão nos pés. A análise estatística dos dados é realizada para extrair informações quantitativas. Isso inclui a determinação de médias, desvios padrão, variações e diferenças significativas entre grupos ou condições.

A distribuição de cargas em diferentes situações é comparada. Isso pode envolver a análise da distribuição de pressão em palmilhas de materiais variados, em indivíduos com diferentes tipos de pisada ou antes e depois da aplicação de correções ortopédicas. Os resultados da análise são submetidos a uma avaliação em consonância com os objetivos da pesquisa. Essa avaliação pode abranger a identificação de áreas com elevada pressão que possam potencialmente originar desconforto ou lesões, a análise do impacto de diferentes materiais na distribuição de carga e a determinação da eficácia de intervenções específicas.

Para realizar a análise, são utilizadas diversas ferramentas e tecnologias, incluindo sensores de pressão, plataformas de força e software de análise. A análise da distribuição de cargas em palmilhas tem várias aplicações práticas, incluindo o design de palmilhas mais eficazes, pesquisa biomédica, otimização de calçados e avaliação de intervenções ortopédicas.

Além da distribuição de cargas em palmilhas, a absorção de cargas por tecidos também desempenha um papel crucial na saúde dos pés. Este aspecto é essencial para entender como os materiais têxteis afetam a pressão e a absorção de choque nos calçados.

2.2.2 Considerações gerais

Como comentado no início deste capítulo, os resultados obtidos nesta pesquisa tiveram uma abordagem interdisciplinar que une tecnologia, ciência dos materiais e engenharia para avançar no entendimento e inovação da indústria têxtil. Diante da lacuna na literatura o estudo das camadas das palmilhas oferece oportunidades significativas de atuação em várias áreas, como por exemplo:

Design de calçados: desenvolver calçados com palmilhas otimizadas para diferentes atividades e necessidades específicas dos usuários, considerando a composição e a interação das camadas.

Saúde e bem-Estar: contribuir para o desenvolvimento de palmilhas terapêuticas que auxiliem no tratamento de condições ortopédicas, como pé plano ou pronação excessiva, por meio do ajuste das camadas.

Esportes e atividades Físicas: projetar palmilhas esportivas que melhorem o desempenho e reduzam o risco de lesões, considerando as camadas de amortecimento e suporte.

Pesquisa de materiais: investigar materiais avançados para melhorar a durabilidade, resistência e conforto das camadas das palmilhas.

Personalização: explorar a personalização das camadas das palmilhas com base na análise da biomecânica individual dos usuários, adaptando-as de acordo com suas necessidades específicas.

Considerando a mesma linha de pesquisa é possível estudar amostras do mesmo substrato têxtil com mais camadas ou estudar amostras com diferentes substrato têxtis com objetivo de caracterizar a influência do substrato têxtil na distribuição uniforme das cargas e absorção de impacto.

Outra oportunidade de estudo é analisar o substrato têxtil em sua vida útil, planilhas com desgaste e na estrutura têxtil malha x tecido, tipo de estrutura confeccionada. Como por exemplo, estudar amostras de palmilhas usadas com objetivo de analisar a influência do desgaste na distribuição uniforme de cargas e absorção de impacto. Amostra nova x amostra com 100 quilômetros de uso, ou ainda estudar amostras de palmilhas com diferentes usuários (atleta x não atleta), (infantil x adulto) e (masculino x feminino).

Ampliando as pesquisas para área química é possível estudar amostras de palmilhas com substratos têxtis hidrofílicos e hidrofóbicos com objetivo de analisar a

influência da transpiração na distribuição uniforme de cargas e absorção de impacto. Substrato de linho x substrato de algodão tratado.

Direcionando a visão para área da tecnologia podem ser desenvolvidos software de análise que pode receber atualizações de simulação instantânea, manipulação de dados, incluir realidade virtual entre muitas outras opções tecnológicas. Estudos relevantes para linha de pesquisa voltados a tecnologia, por exemplo, aprimorar dispositivo de caracterização de distribuição de cargas apresentado neste estudo com o objetivo de projetar palmilhas automaticamente com menor custo e máxima uniformidade na distribuição de carga e maior absorção de impacto., ou aprimorar software 3D de caracterização de distribuição de cargas apresentado neste estudo com o objetivo de analisar e interpretar dados de transformação gráfica ampliando os níveis de aplicação na área acadêmica ou industrial, e ainda desenvolvedor aplicativo para leitura em tempo real da distribuição de carga durante a pisada.

Estes estudos podem ser úteis para uma variedade de partes interessadas, a indústria têxtil pode se beneficiar diretamente, utilizando as descobertas para otimizar processos de fabricação e melhorar a qualidade dos produtos.

Pesquisadores acadêmicos podem usar os resultados como base para pesquisas adicionais, potencialmente levando a avanços em materiais condutores e técnicas de fabricação. E as empresas de tecnologia e eletrônicos que desenvolvem dispositivos vestíveis podem melhorar a funcionalidade e durabilidade de seus produtos com base nessas descobertas.

O setor médico pode explorar aplicações em dispositivos médicos, como roupas de compressão para terapia de recuperação. Assim como os consumidores podem se beneficiar indiretamente com o desenvolvimento de produtos têxteis mais avançados, duráveis e funcionais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão explorados os princípios-chave que irão direcionar o desenvolvimento do dispositivo de caracterização e os passos que possibilitam a reprodução dos ensaios. Embasado no histórico sólido e contemporâneo, foi projetado e construído o dispositivo utilizado nos experimentos laboratoriais para análise de distribuição de cargas sobre a superfície de um substrato têxtil multicamadas. A estrutura desta pesquisa abrange as seguintes etapas:

Desenvolvimento do dispositivo: projeto e fabricação de um dispositivo de caracterização de tecidos com sensores de pressão para medir a distribuição de carga, incluindo calibração e ensaios de precisão.

Experimentos laboratoriais: realização de experimentos para investigar como palmilhas multicamadas de substratos têxteis se comportam sob cargas variáveis, considerando sua espessura, densidade e elasticidade.

Comparação com a amostra padrão: comparação dos resultados obtidos com amostra de palmilha padrão para avaliar o desempenho dos materiais têxteis em relação à distribuição de pressão.

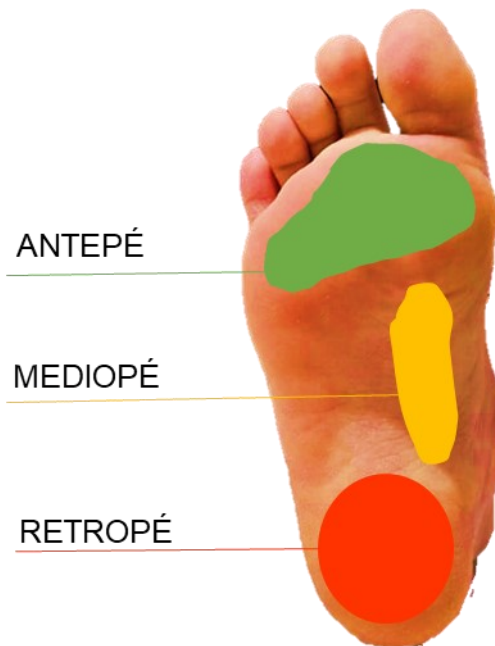
Análise da influência dos materiais: investigação da influência da composição e estrutura dos tecidos têxteis na distribuição de carga nos pés.

Potencial de otimização do design de calçados: exploração de oportunidades para aprimorar o *design* de calçados e palmilhas, visando proporcionar maior conforto e suporte aos usuários, embora isso não seja uma garantia absoluta.

Contribuição para pesquisas futuras: os resultados desta pesquisa têm o potencial de contribuir para avanços no campo da caracterização de tecidos e servir como base para pesquisas futuras.

A análise da distribuição de cargas é crucial para fundamentar a defesa deste estudo. Assim, torna-se necessária a concepção e construção de um dispositivo que permita a medição das cargas próximo as zonas dos pés que sofrem pressão ao caminhar. As três zonas são: antepé, mediopé e retropé. A Figura 6 ilustra cada uma dessas zonas.

Figura 6 – Zonas do pé que sofrem pressão ao caminhar



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Isso envolve também a definição precisa dos experimentos e da amostra padrão para comparações subsequentes. O projeto para fabricar um dispositivo de caracterização de força, especificamente moldado aos formatos dos pés, exige uma série de etapas e considerações técnicas. Essas etapas serão utilizadas como referências para os experimentos e servirão como premissas fundamentais na análise dos resultados.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

O dispositivo foi projetado e construído com base nas necessidades específicas dessa pesquisa, visando medir e analisar como os tecidos interagem com a absorção e a distribuição de carga sob a superfície de um substrato têxtil multicamadas, contribuindo para a compreensão das propriedades dos materiais têxteis nesse contexto. O escopo do dispositivo tem como base as etapas:

Design conceitual: determinar os tipos de forças que serão medidas, os sensores a serem utilizados e o formato do dispositivo.

Seleção de sensores: definir tipos sensores: de pressão, sensores de carga, células de carga ou acelerômetros, dependendo das necessidades específicas.

Design mecânico: desenvolver uma estrutura que simule as características físicas de um pé humano, como forma, tamanho e articulações.

Integração dos sensores: instalação e integração dos sensores no pé artificial, garantindo que eles estejam posicionados adequadamente para medir as forças de maneira precisa.

Eletrônica e interface: desenvolver a eletrônica necessária para coletar, processar e exibir os dados de força. Isso pode envolver placas de circuito, microcontroladores e *software* de interface.

Calibração: calibrar os sensores para garantir que as medições sejam precisas e confiáveis. Isso geralmente envolve a aplicação de cargas conhecidas e a comparação com as leituras dos sensores.

Construção do invólucro: criar um invólucro resistente e durável para o dispositivo, protegendo os componentes eletrônicos e mecânicos e garantindo a sua integridade em diferentes ambientes.

Testes e validação: realizar testes para garantir que o dispositivo funcione conforme o esperado. Isso inclui testes de carga, testes de repetibilidade e avaliação da precisão das medições.

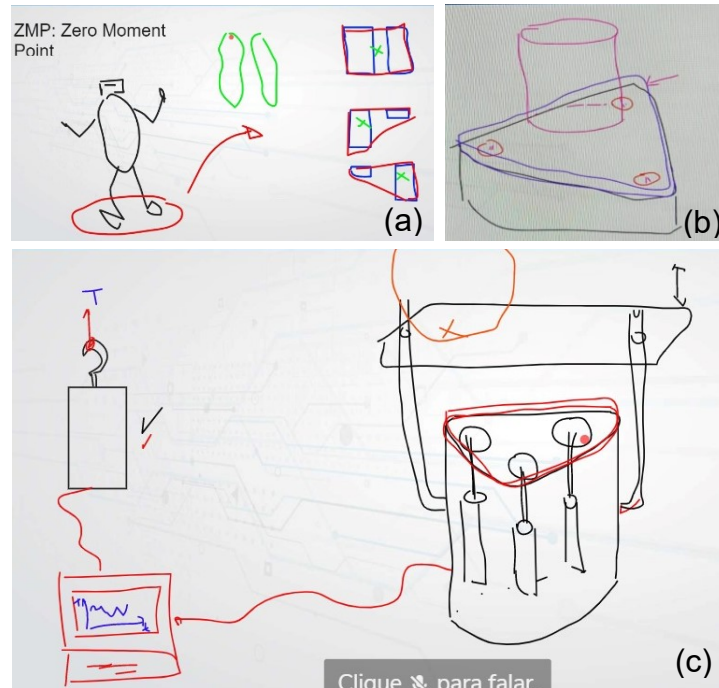
Ajustes e aprimoramentos: com base nos resultados dos testes, fazer ajustes e aprimoramentos no dispositivo, se necessário, para otimizar o desempenho.

O dispositivo, embora tenha sido uma fermenta do método, também é considerado um resultado, uma vez que foi a solução desenvolvida para possibilitar a medição dos experimentos.

Considerando a lista de itens (formato, objetivo e recursos disponíveis) após um compartilhamento de idéias tem-se: A Figura 8 que mostra a evolução deste o primeiro croqui e apresenta o modelo de base que havia sido definido.

A Figura 7(a) ilustra o desenho, onde está considerando o ponto de zero momento, onde as cargas estariam em equilíbrio. Na Figura 7(b) tem-se a forma geometria da base inicialmente definida, e a parte de sensor desenhada conforme Figura 7(c).

Figura 7 – Evolução de idéias deste primeiro Croqui do dispositivo



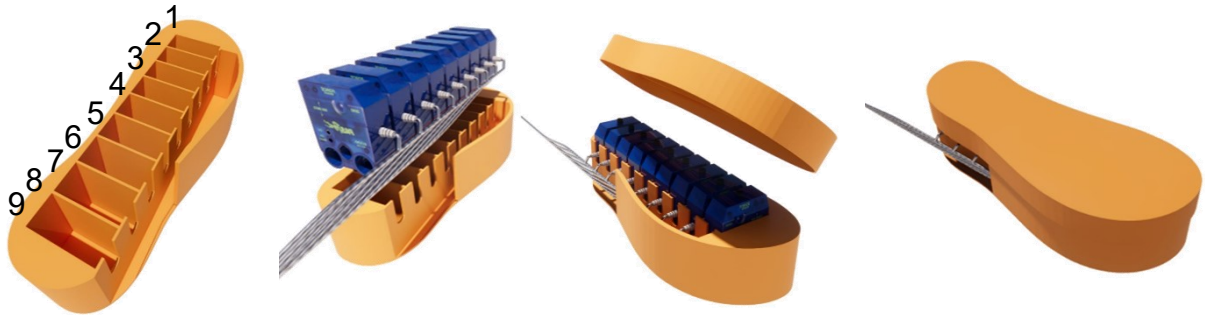
Fonte: elaborado pela autora (2024)

O design conceitual definido combina praticidade e oportunidade ao criar um dispositivo em formato de pé que mede forças aplicadas nos pontos de pressão. Este dispositivo é projetado para acomodar variações padrão de tamanho de calçados brasileiros, com um comprimento entre 200 e 600 mm. A ênfase está na adaptabilidade, permitindo que ele seja colocado em diferentes tamanhos de calçados, garantindo que a medição de pressão seja precisa em várias situações.

3.1.1 Design Conceitual do Dispositivo

O modelo 1 de design, o foco está na conformidade com o tamanho, forma e nos pontos de pressão dos pés. Os sensores foram estrategicamente posicionados verticalmente para manter a integridade de sua forma original e ao mesmo tempo alinhar-se com os pontos de pressão nos pés. Isso resulta em uma forma de dispositivo com aproximadamente 350 mm de comprimento e um encaixe eficaz dos sensores. Na figura 8 mostra o dispositivo no formato vertical com 9 encaixes para acomodar os sensores.

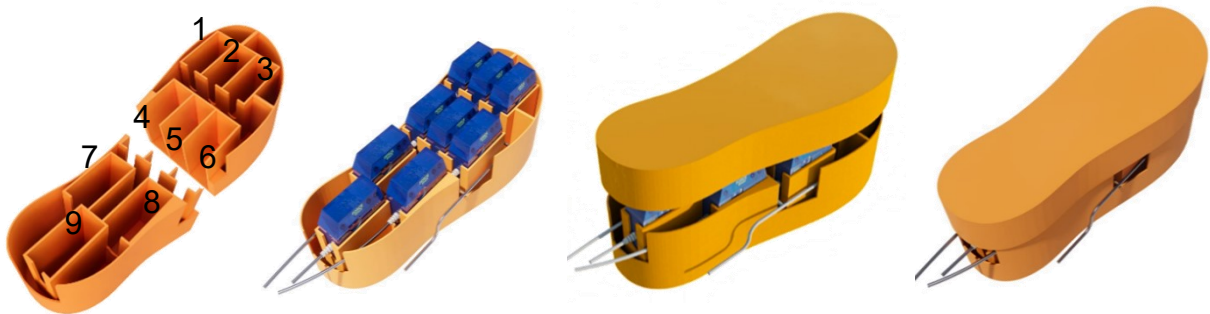
Figura 8 – Design do dispositivo Modelo 1



Fonte: elaborado pela autora

No modelo 2 de design, a ênfase está na correspondência precisa com os pontos de pressão. Os sensores foram estrategicamente posicionados ao longo da forma (3, 3, 2 e 1) para respeitar o formato original do pé e a saída dos cabos, resultando em um dispositivo com cerca de 400 mm de comprimento.

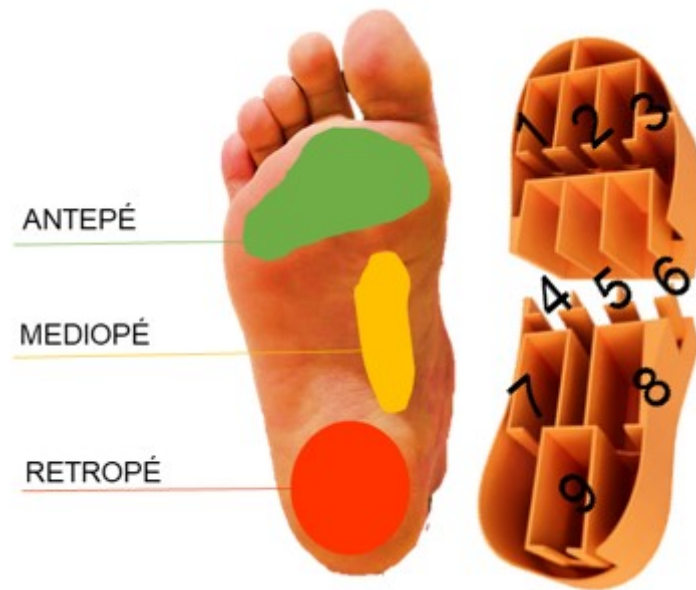
Figura 9 – Design do dispositivo Modelo 2



Fonte: elaborado pela autora

O segundo modelo se destaca como a opção mais apropriada, devido à precisão na correspondência com os pontos de pressão: garante que as medições sejam altamente representativas da distribuição de carga real. A Figura 10 mostra o layout do modelo 2, onde tem-se 3 sensores cobrindo a seção do antepé, 5 sensores cobrindo a seção do mediopé e 1 sensor cobrindo a seção do retopé.

Figura 10 –Pontos de pressão ao caminhar



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Aderência ao objetivo da pesquisa: o objetivo do dispositivo é caracterizar os substratos têxteis multicamadas quando a força aplicada. O segundo modelo se adapta melhor a esse objetivo, fornecendo medições que são mais relevantes para a pesquisa em questão, pois acompanha os pontos de pressão com maior precisão garantindo uma análise mais realista do comportamento dos substratos têxteis sob carga.

Portanto, com base nas considerações e na adequação do segundo modelo aos objetivos da pesquisa, não há dúvida de que ele representa a escolha certa. Ambos os modelos podem ser impressos em uma impressora 3D como peça única ou em várias partes, dependendo da capacidade da impressora. No caso deste dispositivo em particular, optou-se por imprimir em duas partes. A escolha entre imprimir em uma única peça ou em partes separadas pode depender das limitações da impressora e das considerações de fabricação, mas ambas as opções são viáveis para a produção do dispositivo.

Apesar do dispositivo ter formato de pé direito deve-se observar que a distribuição dos sensores é simétrica, portanto, a leitura dos sensores permite facilmente realizar medições tanto em um pé direito quanto em um pé esquerdo.

Os sensores utilizados para integrar-se ao dispositivo e possibilitar a medição da pressão quando aplicado a força foi o sensor de força de 50N. Características relevantes na definição do sensor:

- Faixa de medição adequada: $\pm 50\text{N}$ ampla abrangência.
- Precisão e sensibilidade: detectar variações pequenas nas forças aplicadas.
- Compatibilidade com equipamentos: simplificando a configuração e a coleta de dados em laboratório.
- Facilidade de uso: documentação clara e instruções.
- Custo-benefício: equilíbrio entre custo e desempenho.

A Figura 11 ilustra os sensores definidos para integrar ao dispositivo para experimentos laboratoriais.

Figura 11 – Sensor de força marca PASCO $\pm 50\text{N}$



Fonte: extraída de <https://www.pasco.com/> (2024)

O Sensor de Força se conecta a uma interface PASPORT ou registrador de dados e registra força na faixa de $\pm 50\text{ N}$ a uma taxa de até 1.000 amostras por segundo. Por padrão, o sensor coleta 20 amostras por segundo. Ele pode coletar dados tão rápido quanto 1.000 amostras por segundo (ou até 5.000 amostras por

segundo se conectado a uma Interface Universal 850 ou 550) ou tão lentamente quanto uma amostra a cada 24 horas. Detalhes *vide datasheet* em anexo.

Um design mecânico de um dispositivo em formato de pé, criado para acomodar 9 sensores de força, foi produzido por meio de impressão 3D. Este dispositivo foi projetado com a finalidade de permitir a medição simultânea de forças exercidas em diferentes pontos da superfície do pé. O design inclui nove cavidades de encaixe estrategicamente posicionados, cada um projetado para acomodar um sensor de força de maneira precisa e segura. As cavidades são organizadas de forma a cobrir áreas-chave da planta do pé, permitindo uma análise abrangente das forças aplicadas durante diversas atividades ou experimentos. O design mecânico também incorpora um material robusto e leve, compatível com a impressão 3D, para garantir a durabilidade e a capacidade de suportar cargas e pressões típicas de experimentos de medição de força. A finalidade deste dispositivo é facilitar a coleta precisa de dados de força em aplicações educacionais ou de pesquisa que requerem a análise do comportamento das forças exercidas em um substrato têxtil multicamadas em formato do pé humano.

3.1.2 Integração do dispositivo

Os sensores foram instalados e integrados no dispositivo em formato de pé de maneira a assegurar um posicionamento preciso para a medição das forças. Estão distribuídos de maneira uniforme pelo dispositivo, possibilitando medições tanto em conjunto quanto individualmente. As paredes do dispositivo foram ajustadas para se alinharem perfeitamente com o design dos sensores, minimizando as tolerâncias ao máximo. Embasado na teoria [...] *“Em alguns casos é possível obter informações importantes da forma das equações de movimento sem resolvê-las, utilizando os métodos de similaridade e dimensão”*. Vladimir Arnold (1989). A ideia principal nestes métodos é escolher uma mudança de escala (de tempo, comprimentos, massa etc.) sob a qual as equações de movimento preservem sua forma.

Para possibilitar o controle de liga/desliga dos sensores foi utilizado um hub para conexão USB. A decisão foi utilizar o próprio software da PASCO para a eletrônica do dispositivo devido à compatibilidade e integração perfeita entre os sensores e seu software. Isso simplifica a configuração e a coleta de dados, pois o

software é projetado para trabalhar de forma harmoniosa com os sensores, facilitando a aquisição e a análise das medições.

Os dados gráficos obtidos têm representação bidimensional, onde apenas o comprimento e a largura são considerados, sem nenhuma altura ou profundidade (2D), para uma interpretação visual os dados foram transformados em uma representação tridimensional, onde o comprimento, a largura e a altura são consideradas (3D). O software utilizado foi MATLAB devido aos recursos disponíveis como por exemplo: A ampla gama de ferramentas e funções dedicadas à criação de visualizações 3D de alta qualidade, linguagem de alto nível que é acessível para pessoas com diferentes níveis de experiência em programação.

A interface intuitiva permite que os usuários escrevam códigos mais rapidamente e com menos esforço e a vasta comunidade de usuários, além de documentação extensa e suporte técnico.

A compatibilidade com várias outras linguagens e ferramentas, o que facilita a integração de seus resultados com outras soluções de software, se necessário e as funcionalidades de álgebra linear robustas, o que é fundamental para manipular dados multidimensionais.

Portanto, a combinação do poder de processamento do MATLAB, recursos de visualização 3D, facilidade de uso, suporte da comunidade e sua longa história de sucesso em pesquisa e academia fazem dele uma opção sólida e superior para a transformação de dados 2D em 3D.

3.1.3 Testes e Validação do Dispositivo

A calibração do dispositivo é dividida em duas etapas. A primeira etapa é a calibração do sensor em si, no *datasheet* orienta a *tara* individual que envolve o uso de um botão de "zerar" para garantir a precisão das medidas. Em seguida, há a calibração das medições individuais dos 9 sensores e das medições em conjunto, esta calibração é opcional de acordo com *datasheet*, no entanto foi aplicado nesta pesquisa devido ao formato de dispositivo desenvolvido para os experimentos. Para isso, é utilizada amostra padrão A, a "palmilha de papelão", que é comparada com outras três amostras. Devido à rigidez da amostra padrão, a distribuição da carga é mais uniforme. Essa calibração é realizada a cada experimento para garantir resultados precisos e confiáveis.

Para garantir o funcionamento adequado do dispositivo, são realizados testes abrangentes. Isso engloba testes de carga para avaliar a capacidade de suportar diferentes níveis de pressão, testes de repetibilidade para verificar a consistência das medições ao longo do tempo e avaliação da precisão das medições para garantir resultados confiáveis.

Os sensores passam por validação tanto individualmente quanto em conjunto de acordo *datasheet*. Durante os testes, as cargas são medidas com precisão, e pontos de referência são estabelecidos para garantir que as cargas estejam posicionadas de maneira consistente. As amostras são comparadas com o padrão em três seções diferentes: antepé, mediopé e retropé. Isso garante uma avaliação completa das medições e a conformidade do dispositivo com os padrões estabelecidos.

3.1.4 Ajustes e Aprimoramentos

Foi desenvolvido um invólucro, que é uma tampa protetora, para preservar as paredes do dispositivo durante o transporte, evitando danos ou variações indesejadas. Os sensores são cuidadosamente colocados e removidos a cada experimento para garantir a qualidade e confiabilidade das medições.

A impressão do dispositivo foi realizada em uma impressora com capacidade limitada, conforme definido. Isso não afetou o experimento em questão. No entanto, identificou-se uma oportunidade de aprimoramento ao considerar a impressão em uma máquina com capacidade para imprimir a peça como um todo. Também é viável considerar a alteração do material, embora para fins acadêmicos o material atual atenda bem ao seu propósito.

Para assegurar a precisão das medidas, as paredes do dispositivo foram reforçadas e ajustadas para um encaixe preciso dos sensores. Para preservar os cabos dos sensores e evitar danos, foi feita uma pequena incisão estrategicamente posicionada. Esse ajuste pode ser facilmente modificado, se necessário, ao alterar milimetricamente a projeção de impressão do dispositivo. Isso garante a integridade dos sensores e a qualidade das medições, enquanto proporciona flexibilidade para ajustes futuros.

3.2 MÉTODO DOS EXPERIMENTOS LABORATORIAIS

Os experimentos podem ser divididos em duas etapas a primeira com foco na validação do dispositivo e a segunda em experimentos para caracterização de substratos têxteis multicamadas.

Amostra padrão é constituída de papelão espessura: 2 mm e 420 mm de comprimento, produzido com aparas de papel 100% reciclado possui certificação *Forest Stewardship Council (FSC)*. A amostra tem formato de pegada acompanhando o dispositivo. A Figura 12 mostra a foto da amostra A padrão usada em todos os experimentos laboratoriais.

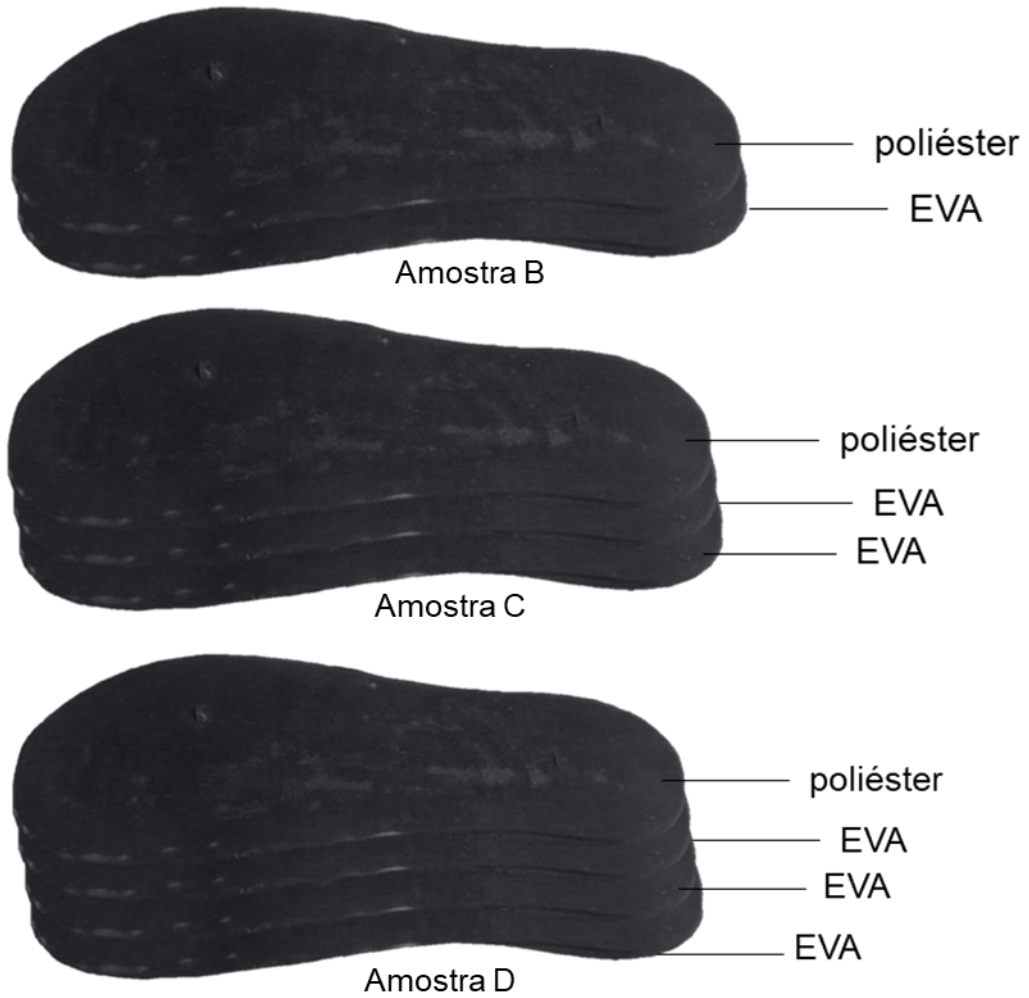
Figura 12 – Amostra A padrão papelão 2 mm



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Os experimentos de caracterização concentram-se em substratos têxteis fabricados a partir de placas de EVA com dimensão 400 x 600 mm e espessura de 2 mm mesclado com de malha de forro composição 92,5% poliéster e 7,5% elastano com gramatura 110g/m². Para selar as camadas foi utilizado cola universal da marca pegamil. A Figura 13 mostra a foto das amostras B, C e D.

Figura 13 – Amostras B, C e D



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Para leitura e interpretação gráfica a descrição amostral é dada conforme Tabela 4.

Tabela 1 – Descrição amostral

Amostra	Composição	camada têxtil	camada EVA
A	papelão 2 mm	-	-
B	EVA 2 mm + malha	1	1
C	EVA 2 mm + malha	1	2
D	EVA 2 mm + malha	1	3

Fonte: elaborado pela autora (2024)

3.2.1 Montagem do dispositivo com carga estática e dinâmica

A montagem completa do dispositivo poder ser concluída em até 15 minutos, o passo a passo consistente em:

1. Unir bases (dispositivo em formato de pés) em duas partes sobre a bancada ou mesa.
2. Posicionar delicadamente os sensores, cada qual em sua respectiva posição (para garantir a precisão os sensores foram numerados).
3. Encaixar as partes funcionais cabos, hubs dos sensores.
4. Abrir o software Pasco.

O dispositivo montado e apto para uso de validação da calibração e ensaios com carga estática pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Dispositivo montado para experimentos com carga estática

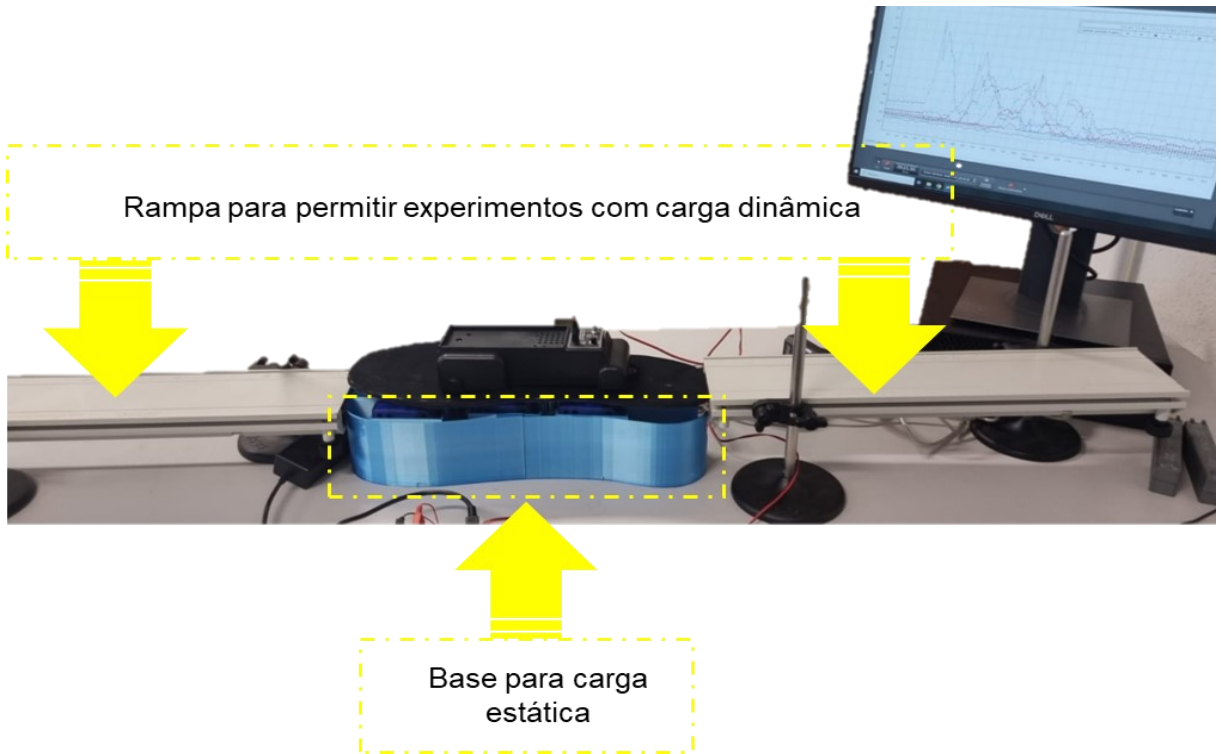


Fonte: elaborada pela autora (2024)

Para possibilitar os experimentos com carga dinâmica e necessário adaptar o dispositivo, a montagem completa do dispositivo poder ser concluída em até 20 minutos, o passo a passo consistente em:

1. Preparar a base do dispositivo seguindo passo a passo conforme mostra Figura 14.
2. Posicionar dispositivo entre a rampa. O dispositivo deve estar alinhado em ambos (lados indicados na Figura 15)
3. Conectar o controle remoto ao “carrinho” de carga conforme Figura 16.
4. Dispositivo pronto para iniciar experimentos.

Figura 15 – Dispositivo posicionado entre a rampa



Fonte: elaborada pela autora (2024)

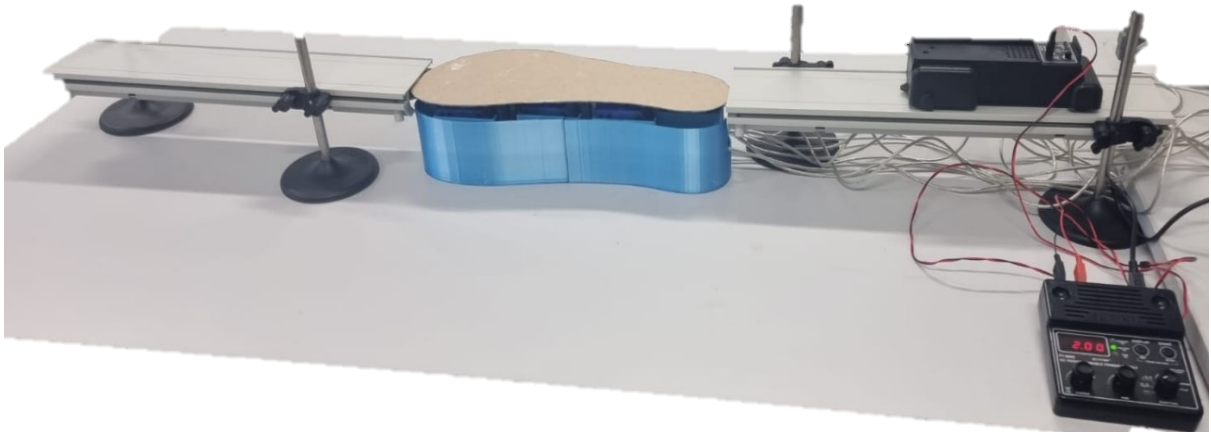
Figura 16 – Carrinho com controle remoto



Fonte: elaborada pela autora (2024)

O dispositivo montado e apto para uso em ensaios com carga dinâmica pode ser visualizado na Figura 17.

Figura 17 – Dispositivo com rampa montado



Fonte: elaborada pela autora (2024)

3.2.1.1 Método de calibração

Com o dispositivo montado inicia leitura do sensor de força, a análise gráfica mostra sensores com força 0 N (calibrado), com variações entre +- 0,5N (tolerâncias definidas nesta pesquisa). Para calibrar (zerar) o sensor individual basta acionar o botão e pressionar por alguns segundos. Detalhes de calibração disponível no *datasheet*. Conforme figura 18.

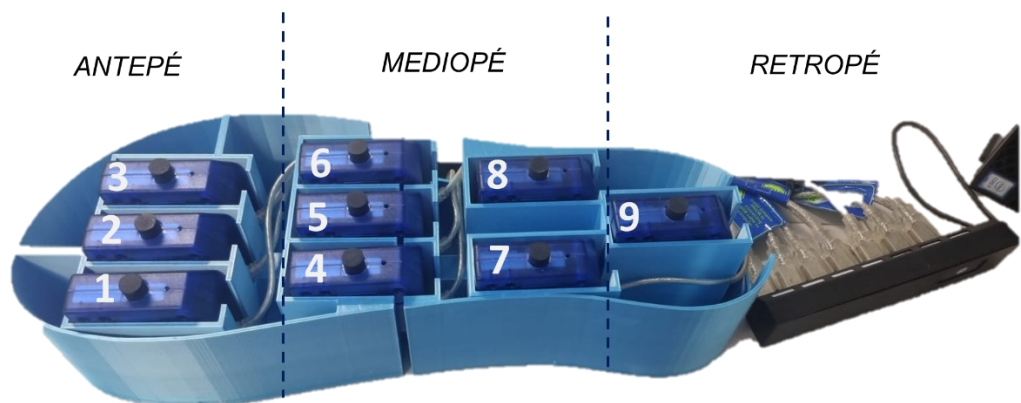
Figura 18 – Calibração sensor individual



Fonte: extraído de <https://www.pasco.com/products/sensors/pasport/ps-2104> (2024)

Após a calibração individual os nove sensores do dispositivo são calibrados simultaneamente. Sobre a amostra padrão é aplicada uma carga de 1000 g em 3 pontos sendo: seção antepé (resposta esperada dos sensores 1, 2 e 3), na seção mediopé (resposta esperada dos sensores 4, 5, 6, 7 e 8) e na seção retropé (resposta esperada dos sensores 7,8 e 9). A Figura 19 mostra a seção de cada área para aplicação de força e classificação dos pontos.

Figura 19 – Dispositivo por seções de calibração simultânea



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Aplicação de força na seção antepé ilustra Figura 20, os resultados dos sensores 7,8 e 9 devem ser 0 ou dentro da tolerância ($\pm 5N$).

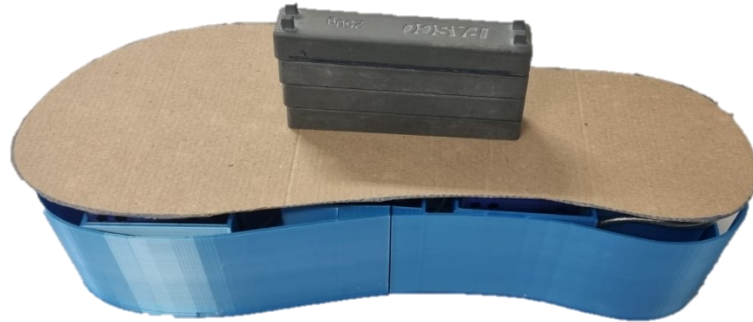
Figura 20 – Carga aplicada seção antepé



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Aplicação de força na seção mediopé ilustra Figura 21, os resultados dos sensores 1,2,3 e 9 devem ser 0 ou dentro da tolerância ($\pm 5N$).

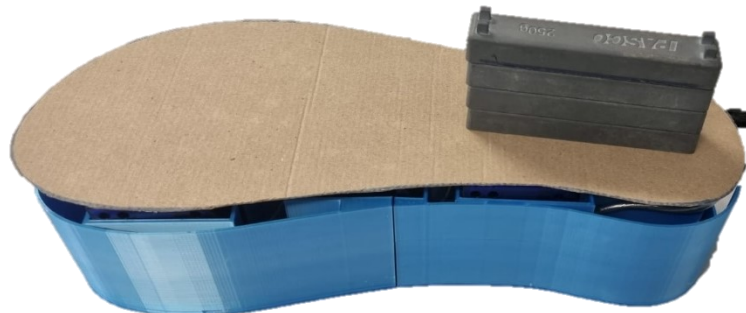
Figura 21 – Carga aplicada seção mediopé



Fonte: elaborada pela autora (2024)

Aplicação de força na seção retropé ilustra Figura 22 os resultados dos sensores 1,2,3,4,5 e 6 devem ser 0 ou dentro da tolerância (+- 5N).

Figura 22 – Carga aplicada na seção retropé



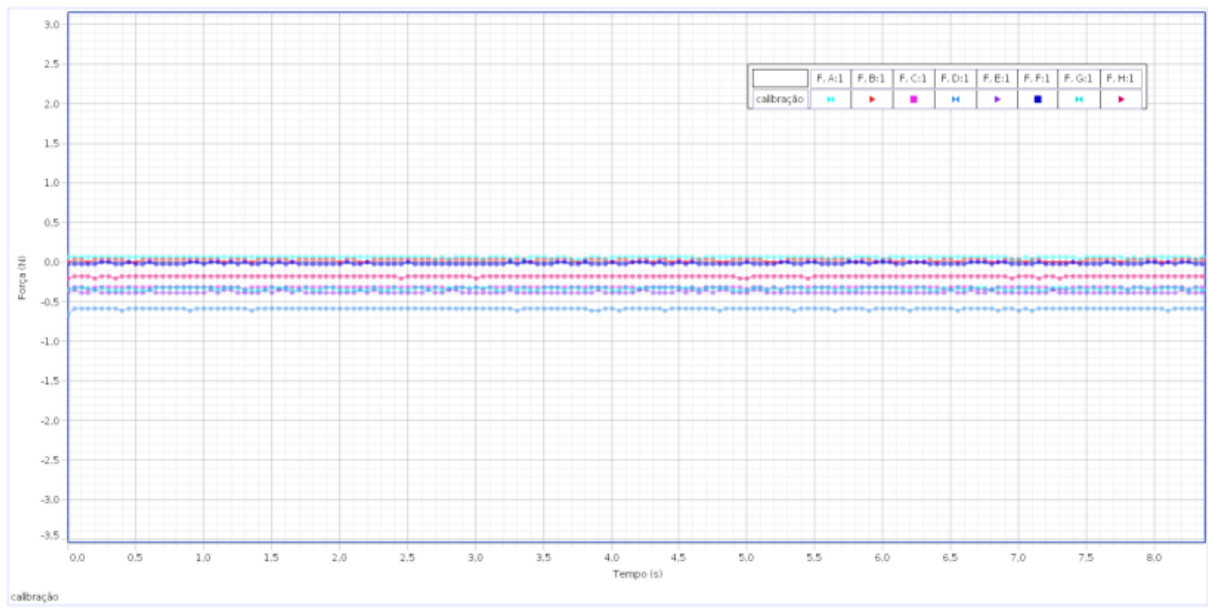
Fonte: elaborada pela autora (2024)

Os ensaios de calibração devem ser realizados a cada experimento, por exemplo se alterar a carga de 1000 g para 250 g sugere uma nova calibração visando garantir a precisão dos dados coletados. Em caso movimentação do dispositivo, ajuste de rampa ou quaisquer alterações que podem interferir na coleta de dados, a recalibração se faz necessária.

3.2.1.2 Coleta de dados e transformação gráfica 2D

O processo de experimentação laboratorial é conduzido de maneira rigorosa para garantir a eficácia e precisão do dispositivo. Começando pela etapa de calibração, que é realizada em cada experimento, inclui testes de carga para determinar a capacidade de suportar diferentes níveis de pressão, testes de repetibilidade para garantir a consistência das medições ao longo do tempo e avaliação da precisão das medições para garantir resultados confiáveis. Após a coleta dos dados, ocorre a etapa de exportação para um formato de planilha (xlxs), A Figura 23 mostra um gráfico de calibração em 2D com variação aceitável de $\pm 0,5\text{N}$.

Figura 23 – Gráfico 2D da calibração



12/08/2023 09:38:02

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Com o intuito de otimizar o tempo dos experimentos, os nomes e sequenciamento dos sensores permaneceram o padrão do software. Para facilitar as análises é utilizado a tabela de correlação com o dispositivo físico. De acordo com a Tabela 1.

Tabela 2 – Tabela de correlação software x físico

Nomenclatura Software	Posição software	Nomenclatura física	Posição física
F, E1	5	Sensor 1	1
F, A1	1	Sensor 2	2
F, C1	3	Sensor 3	3
F, G1	7	Sensor 4	4
F, D1	4	Sensor 5	5
F, F1	6	Sensor 6	6
F, H1	8	Sensor 7	7
F, I1	9	Sensor 8	8
F, B1	2	Sensor 9	9

Fonte: elaborado pela autora (2024)

3.2.1.3 Coleta de dados e transformação gráfica 3D

Esse processo garante que os resultados obtidos sejam confiáveis, precisos e representativos da distribuição de carga nos substratos têxteis. A integração do MATLAB na análise de dados proporciona uma visualização mais clara e informativa, permitindo uma compreensão mais profunda do comportamento dos materiais sob diferentes condições de carga.

O algoritmo implementado para a representação tridimensional das forças da pegada é baseado na função gaussiana da probabilidade conjunta, também conhecida como distribuição gaussiana multivariada. Após a obtenção da nuvem de pontos da distribuição estatística das forças, um pós-processamento gráfico baseado na superfície é utilizado para a suavização nas regiões de contorno, permitindo uma visualização contínua e mais precisa do fenômeno.

Na sequência serão discutidos de maneira sucinta estas duas ferramentas e posteriormente será apresentado o *pseudo algoritmo* implementado para a representação tridimensional da força de pegada.

A função gaussiana da probabilidade conjunta é uma generalização da distribuição gaussiana univariada para múltiplas variáveis aleatórias, usada para modelar conjuntos de variáveis aleatórias que estão correlacionadas e têm uma distribuição de probabilidade conjunta que segue uma distribuição gaussiana. A função de densidade de probabilidade para a distribuição gaussiana multivariada é dada por:

$$F(x, y) = fX(x) * fY(y) \quad (1)$$

em que:

$$fX(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_X^2}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma_X^2}} \quad (2)$$

$$fY(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_Y^2}} e^{-\frac{(y-\bar{Y})^2}{2\sigma_Y^2}} \quad (3)$$

Onde:

- “fX(x)” e “fY(y)” são os valores da função gaussiana;
- “X” e “Y” são as médias da distribuição, que determinam o valor central da função;
- “σ” é o desvio padrão, que controla a dispersão dos valores em relação à média;
- “e” é a base do logaritmo natural (aproximadamente 2.71828).

As superfícies NURBS são definidas por um conjunto de pontos de controle (também chamados de vértices de controle) e uma grade de funções de base. Cada ponto de controle possui coordenadas tridimensionais e uma ponderação associada, o que dá flexibilidade extra às NURBS em relação a outras representações.

A equação paramétrica de uma superfície NURBS é dada por:

$$S(\mu, \vartheta) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m R_{i,p}(\mu) \cdot R_{j,q}(\vartheta) \cdot P_{i,j} \cdot \omega_{i,j} \quad (4)$$

Onde:

- $S(\mu, \vartheta)$ é a posição 3D na superfície NURBS para os parâmetros μ e ϑ .

- n e m são os índices máximos para os pontos de controle nas direções μ e ϑ .
- $R_{i,p}(\mu)$ e $R_{j,q}(\vartheta)$ são as funções de base NURBS nas direções μ e ϑ .
- $P_{i,j}$ são os pontos de controle (coordenadas 3D) na posição (i,j) .
- $\omega_{i,j}$ são as ponderações associadas aos pontos de controle.

As funções de base NURBS são definidas recursivamente e dependem do seu grau e da configuração dos nós, que determinam a forma das funções de base. A forma exata dessas funções de base é calculada usando algoritmos eficientes, como o algoritmo de *De Boor*. Representação do *Pseudo algoritmo* da força de pegada em modelo tridimensional é dado por:

#Código

Input: Matriz contendo a leitura dos sensores ([S1, ... , S9]);

Input: Valores mínimo e máximo da simulação (LowVal, TopVal);

Output: Máximo valor obtido para cada sensor (Mv);

Output: Quantidade de leituras realizadas (Ni);

for i = LowVal : 1 : TopVal

try:

 Normalize os vetores S1,...,S9 (Sn/Mv para n=1:9);

 Determine o tamanho amostral da área de atuação de cada sensor;

 Determine o desvio padrão da amostra para cada sensor;

 Determine as médias da distribuição ("X" e "Y") para cada sensor;

 Calcule os valores de $f_X(x)$ e $f_Y(y)$ para cada sensor;

 Calcule a função de densidade de probabilidade ($F(x,y) = f_X(x)*f_Y(y)$);

 Calcule os pontos de controle de ajuste para a curva NURBS;

 Grafique a curva NURBS ajustada;

 Grafique individualmente o comportamento de cada sensor;

catch:

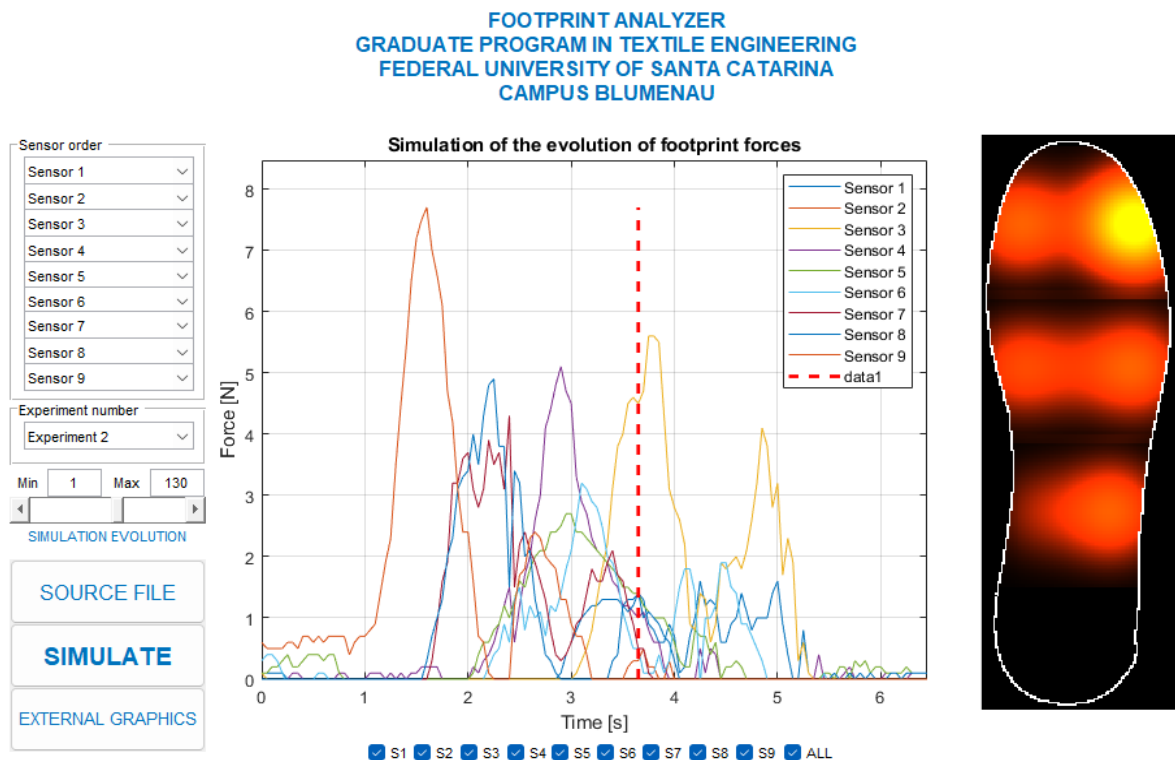
print ("Error, Verifique a amostra")

end

end

O software ilustrado na Figura 24 permite a visualização individual ou agrupada dos sensores, podendo também ser carregados vários experimentos. O recurso de retrocesso ao um tempo específico também é permite nesta versão. Como resultados preliminares o software atende a necessidade de resolução gráfica e permite compreensão dos resultados experimentais.

Figura 24 – Simulação Footprint Analyse

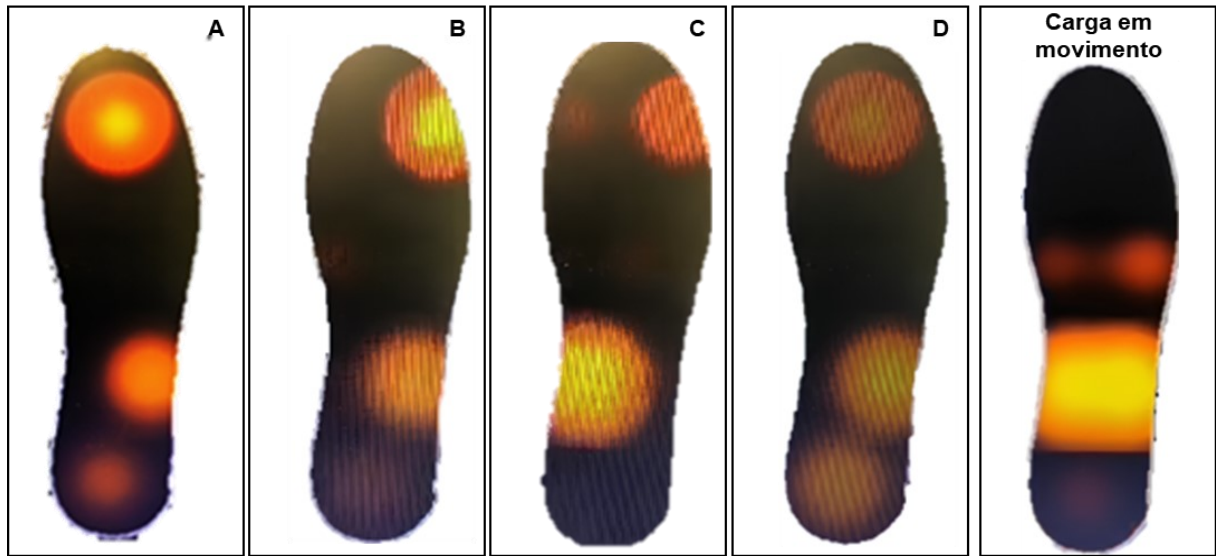


Fonte: elaborado pela autora (2024)

A Figura 25 ilustra a representação gráfica 3D que simula a pressão exercida ao longo do tempo em três pontos estratégicos: antepé, mediopé e retropé. Esses gráficos comparam as diferentes amostras com o padrão:

- Amostra A: padrão, fabricada em papelão
- Amostra B: simples, fabricada com uma camada de EVA + tecido
- Amostra C: dupla, fabricada com duas camadas de EVA + tecido
- Amostra D: tripla, fabricada com três camadas de EVA + tecido

Figura 25 – Imagens tridimensionais dos resultados obtidos



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Essas representações gráficas fornecem uma visão clara da distribuição de pressão em cada amostra e como se compara ao padrão. Isso é essencial para avaliar o desempenho e o comportamento das diferentes amostras sob carga, o que ajuda a identificar as características distintas de cada uma e a determinar sua adequação para diferentes aplicações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, iniciando com a ênfase na aplicação de carga estática sobre os substratos têxteis em cada seção do dispositivo: à esquerda (1), no centro (2) e à direita (3). Posteriormente, serão discutidos os resultados dos testes iniciais de aplicação de carga dinâmica, que simula a pisada sobre os substratos têxteis. A duração dos testes de simulação variou de 5 a 10 segundos para a carga estática e de 10 s a 30 s para a carga dinâmica.

4.1.1 Resultados carga estática

Os experimentos laboratoriais somam 580 ensaios sendo 68% deste total analisando carga estática nas três sessões do dispositivo (totalmente a esquerda (1), centro (2) e totalmente a direita (3)). As Tabela 3 e 4 contém a estratificação dos ensaios, cargas aplicadas (0 e 250 e 500 g) e repetições.

Tabela 3 – Análise de resposta carga estática Experimentos 1 ao 18
(continua)

Experimento	Carga (g)	Amostra	Seção	Repetições
1	0	(A) Padrão	1	5
2	0	(A) Padrão	2	5
3	0	(A) Padrão	3	5
4	0	(B) simples	1	5
5	0	(B) simples	2	5
6	0	(B) simples	3	5
7	0	(C) dupla	1	5
8	0	(C) dupla	2	5
9	0	(C) dupla	3	5
10	0	(D) tripla	1	5
11	0	(D) tripla	2	5
12	0	(D) tripla	3	5
13	250	(A) Padrão	1	5
14	250	(A) Padrão	2	5
15	250	(A) Padrão	3	5
16	250	(B) simples	1	5
17	250	(B) simples	2	5
18	250	(B) simples	3	5

Fonte: elaborado pela autora (2024)

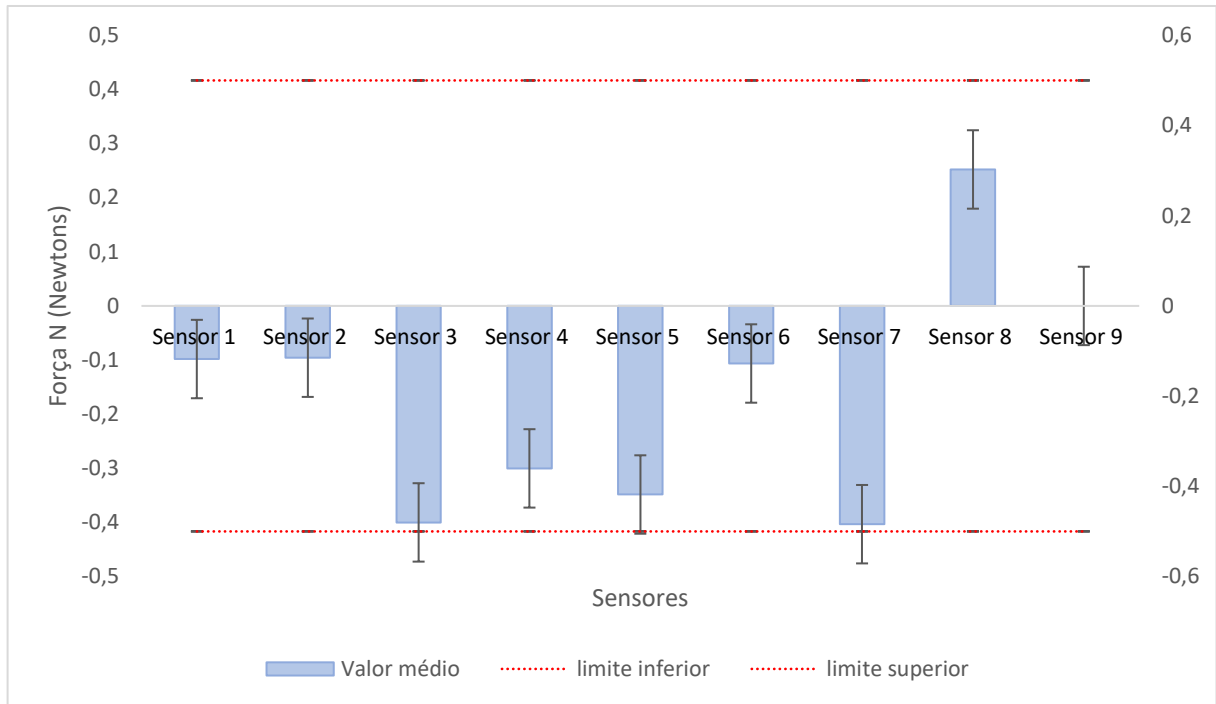
Tabela 4 – Análise de resposta carga estática Experimentos 19 ao 60
(conclusão)

Experimento	Carga (g)	Amostra	Seção	Repetições
19	250	(C) dupla	1	5
20	250	(C) dupla	2	5
21	250	(C) dupla	3	5
22	250	(D) tripla	1	5
23	250	(D) tripla	2	5
24	250	(D) tripla	3	5
25	500	(A) Padrão	1	5
26	500	(A) Padrão	2	5
27	500	(A) Padrão	3	5
28	500	(B) simples	1	5
29	500	(B) simples	2	5
30	500	(B) simples	3	5
31	500	(C) dupla	1	5
32	500	(C) dupla	2	5
33	500	(C) dupla	3	5
34	500	(D) tripla	1	5
35	500	(D) tripla	2	5
36	500	(D) tripla	3	5
37	750	(A) Padrão	1	5
38	750	(A) Padrão	2	5
39	750	(A) Padrão	3	5
40	750	(B) simples	1	5
41	750	(B) simples	2	5
42	750	(B) simples	3	5
43	750	(C) dupla	1	5
44	750	(C) dupla	2	5
45	750	(C) dupla	3	5
46	750	(D) tripla	1	5
47	750	(D) tripla	2	5
48	750	(D) tripla	3	5
49	1.200	(A) Padrão	1	5
50	1.200	(A) Padrão	2	5
51	1.200	(A) Padrão	3	5
52	1.200	(B) simples	1	5
53	1.200	(B) simples	2	5
54	1.200	(B) simples	3	5
55	1.200	(C) dupla	1	5
56	1.200	(C) dupla	2	5
57	1.200	(C) dupla	3	5
58	1.200	(D) tripla	1	5
59	1.200	(D) tripla	2	5
60	1.200	(D) tripla	3	5

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Testes de calibração realizado aprovado, sensores calibrados dentro da tolerância +- 5N, ilustrado na Figura 26.

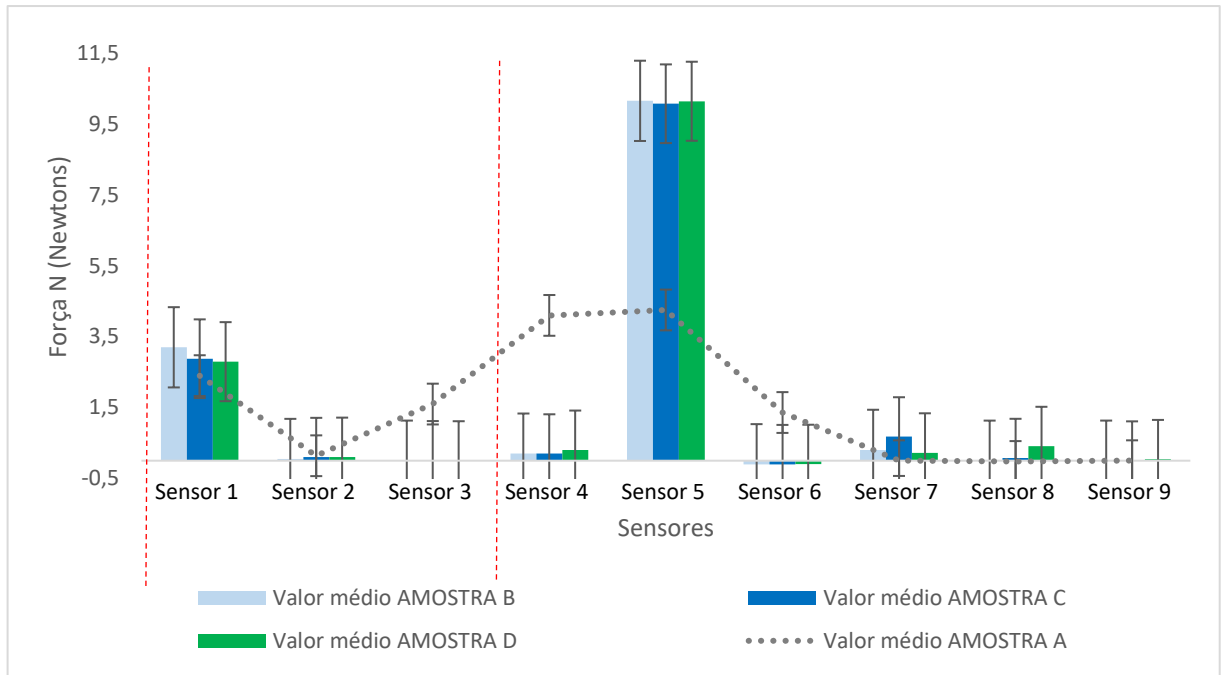
Figura 26 – Resultado gráfico da calibração Aprovado



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Comparando os resultados obtidos na seção antepé (sensores de 1 a 4) das amostras B, C e D em relação a amostra A ilustrado na Figura 27, é identificado que a amostra D apresenta uma distribuição mais uniforme enquanto a amostra B apresenta maior variação.

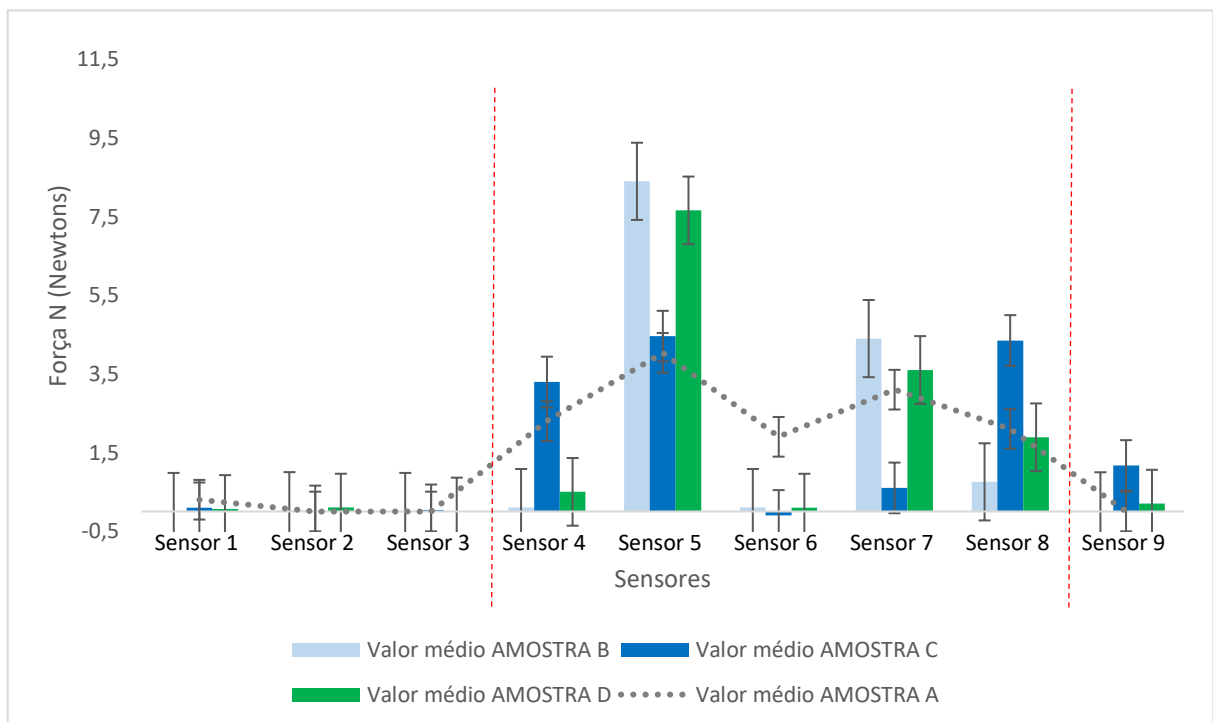
Figura 27 – Resultados seção antepé – carga 1200 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Comparando os resultados obtidos na seção mediopé (sensores de 4 a 8) as amostras B e C tem maior variação, resultados ilustrado na Figura 28.

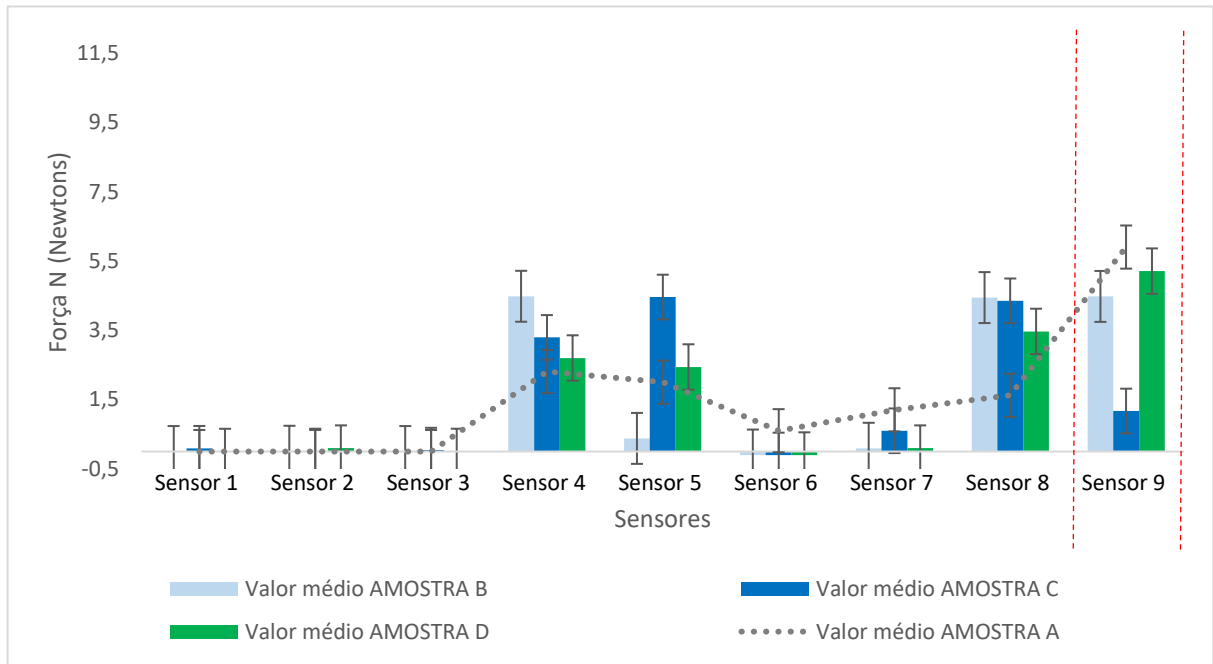
Figura 28 – Resultados mediopé – carga 1200 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Comparando os resultados obtidos da seção retopé (sensor 9), ilustrado na Figura 29 com amostras B, C e D em relação a amostra A é identificado que a amostra D apresenta uma distribuição mais uniforme enquanto a amostra B apresenta maior variação.

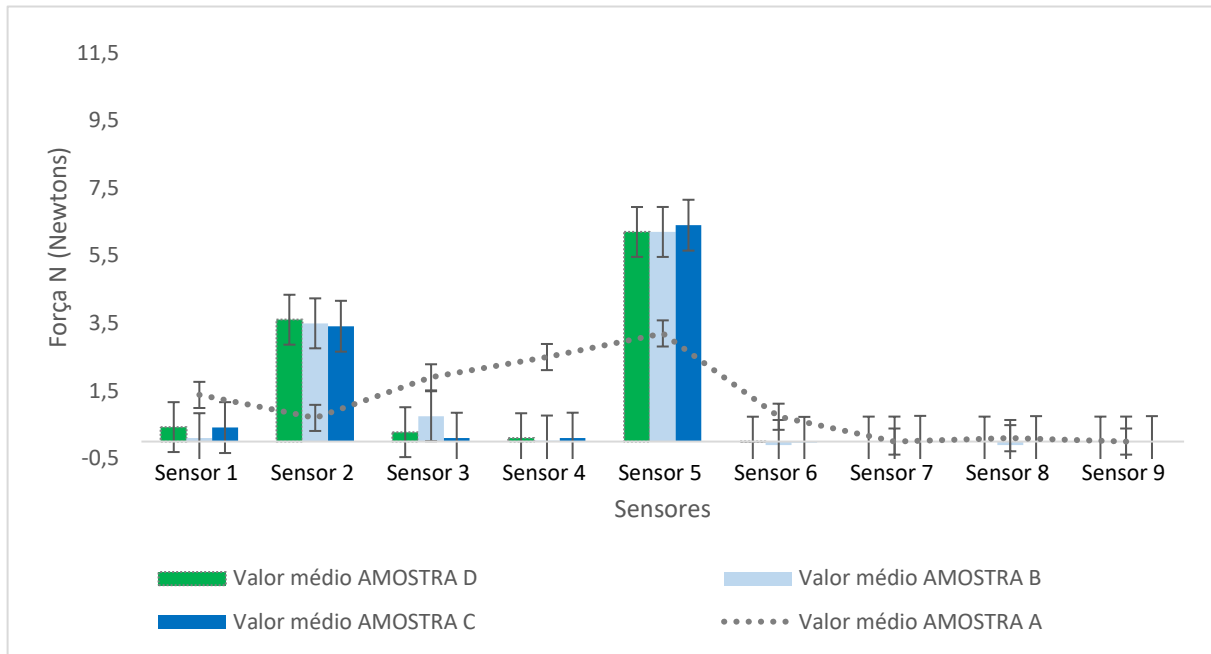
Figura 29 – Resultados retopé – carga 1200 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Com o intuito de analisar a influência da carga, os experimentos foram repetidos em mesma condição em cada seção. A Figura 30 mostra a comparação dos resultados na seção 1 com carga dinâmica de 750 g. A distribuição de carga concentra-se nos sensores 2 e 5. A leitura inferior a 1N dos sensores 7 e 8 evidencia que a área de contato foi reduzida: quanto menor área, maior a força aplicada e menor a distribuição de cargas. E a amostra B apresenta maior deformidade na distribuição.

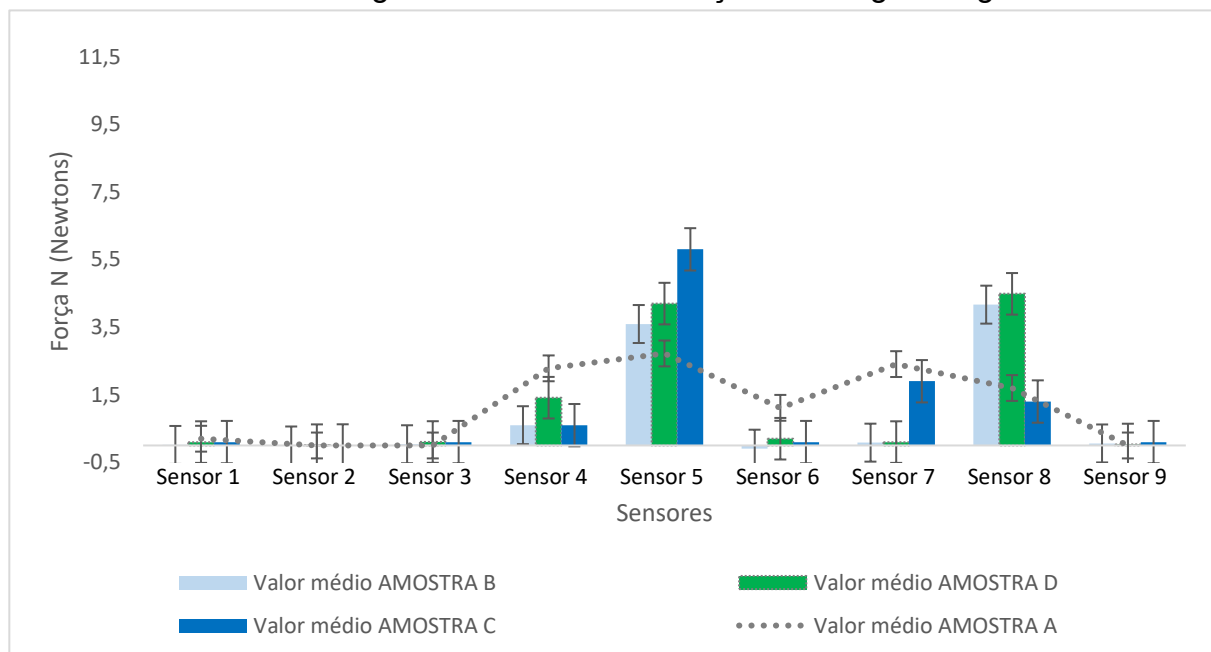
Figura 30 – Resultados seção antepé – carga 750 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

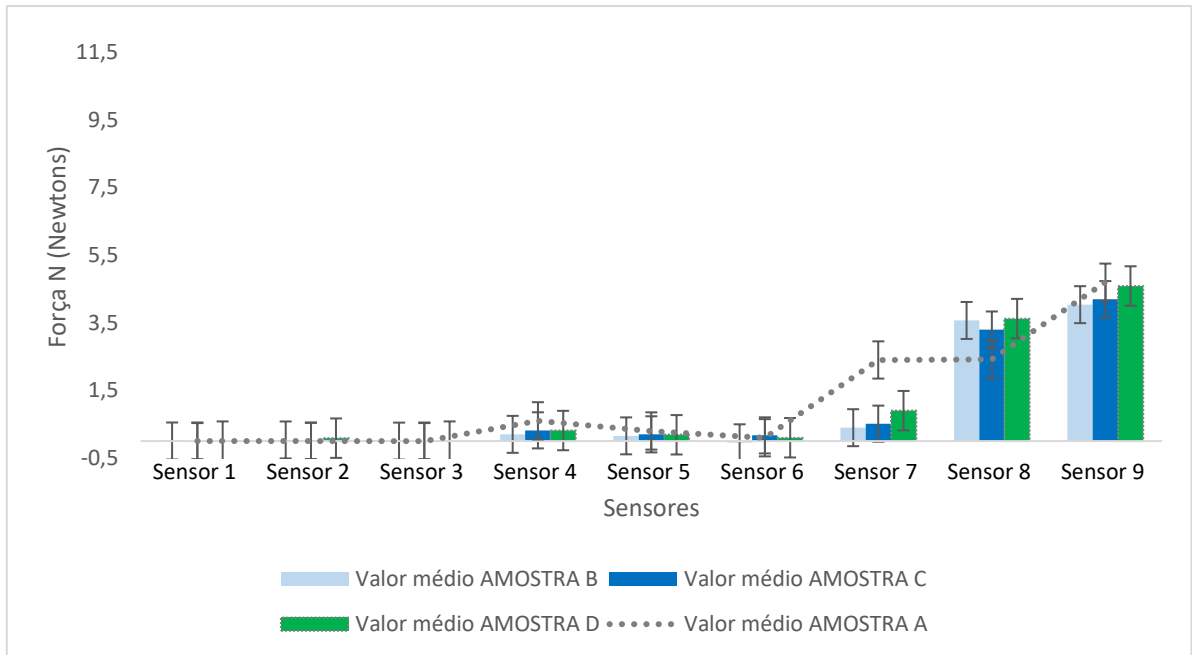
Em ambas as seções a distribuição de carga das amostras B e C não tem proximidade com a amostra A. Na seção mediopé a amostra D tem distribuição de carga próximo à amostra A, especialmente nos sensores 5 e 8. Na seção 3 a amostra C apresenta uma distribuição de carga mais uniforme comparado aos demais seções, porém ainda menor quanto comparado a distribuição de carga da amostra D.

Figura 31 - Resultados seção 2 – carga 750 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

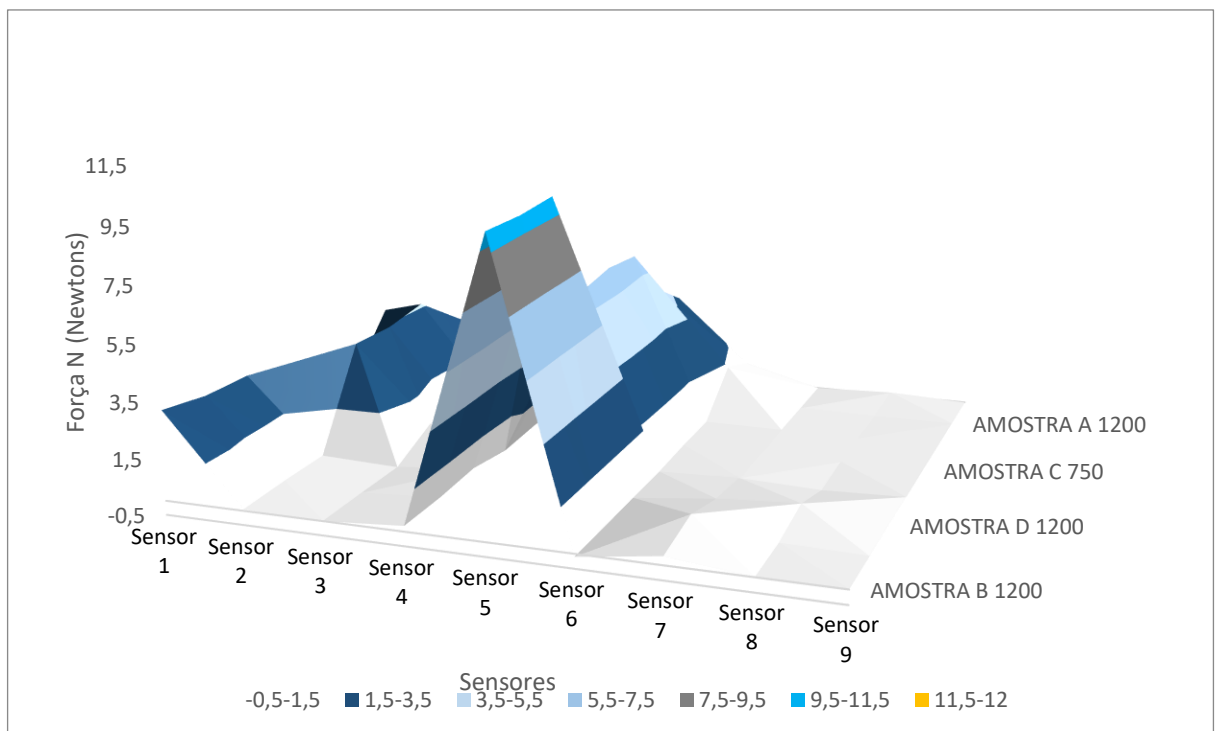
Figura 32 – Resultados seção 3 – carga 750 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

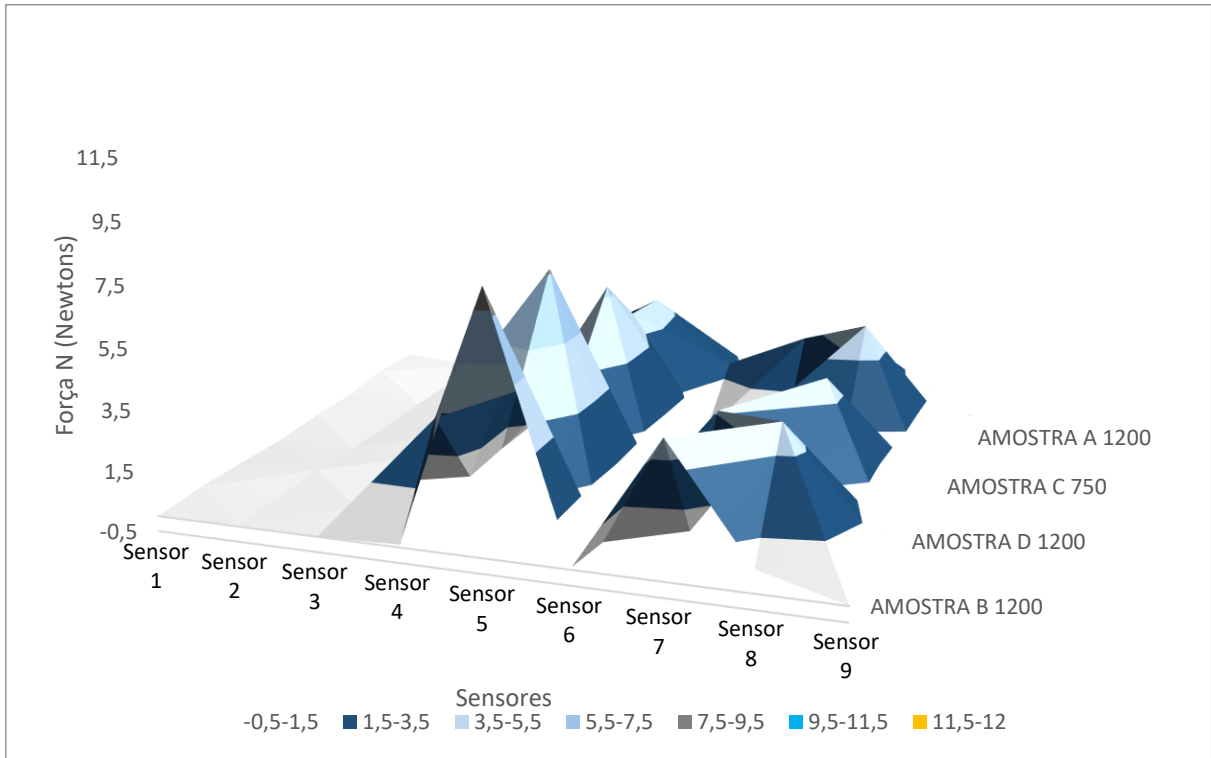
A análise de combinação entre cargas em cada seção mostra que a distribuição de cargas em cada sensor tem pouca variação dentre os intervalos de valores.

Figura 33 – Análise de combinação seção 1



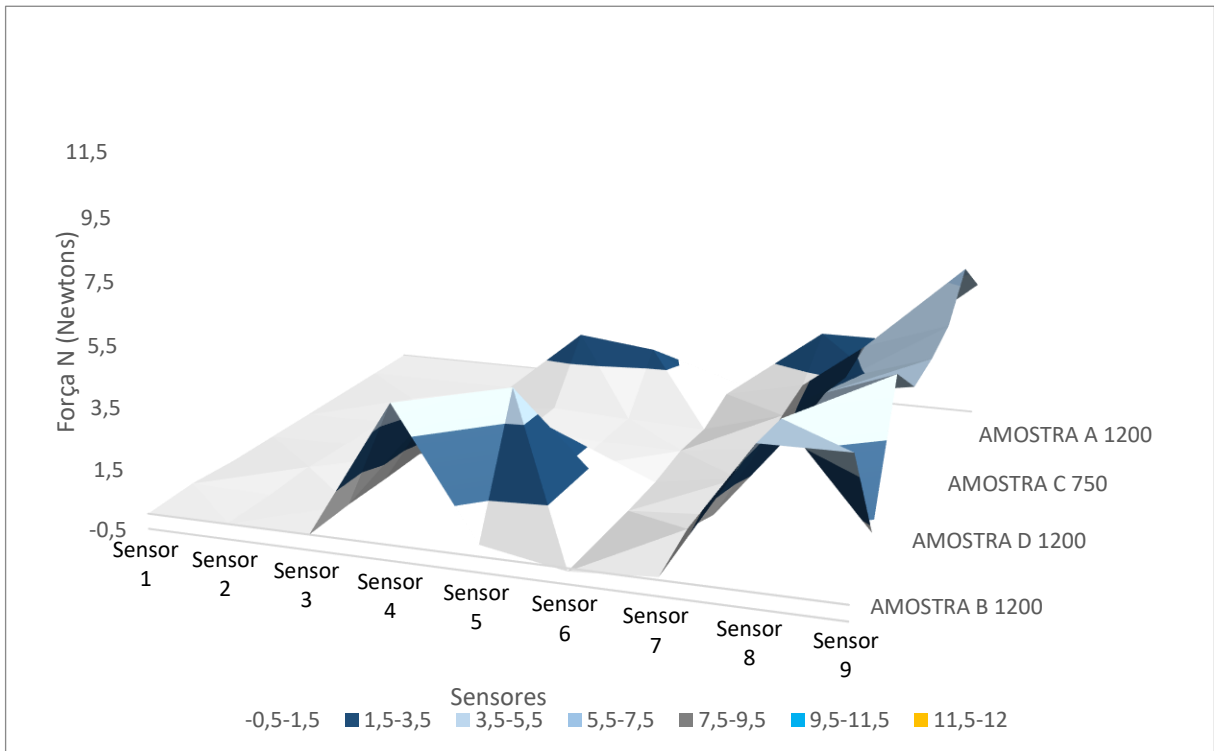
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Figura 34 – Análise de combinação seção 2



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Figura 35 – Análise de combinação seção 3



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Os experimentos mostram que a amostra D substrato têxtil fabricado com uma camada de malha forro mais três camadas de EVA apresenta distribuição de carga próximo a amostra A.

Considerando que a amostra A é rígida é possui baixo absorção de impacto conclui que o substrato têxtil da amostra D tem alta influência na distribuição e maior absorção de impacto que o padrão, ou seja, a resposta do substrato sobre a carga é semelhante a resposta da amostra A mesmo com menor rigidez do material.

4.1.2 Resultados de carga dinâmica

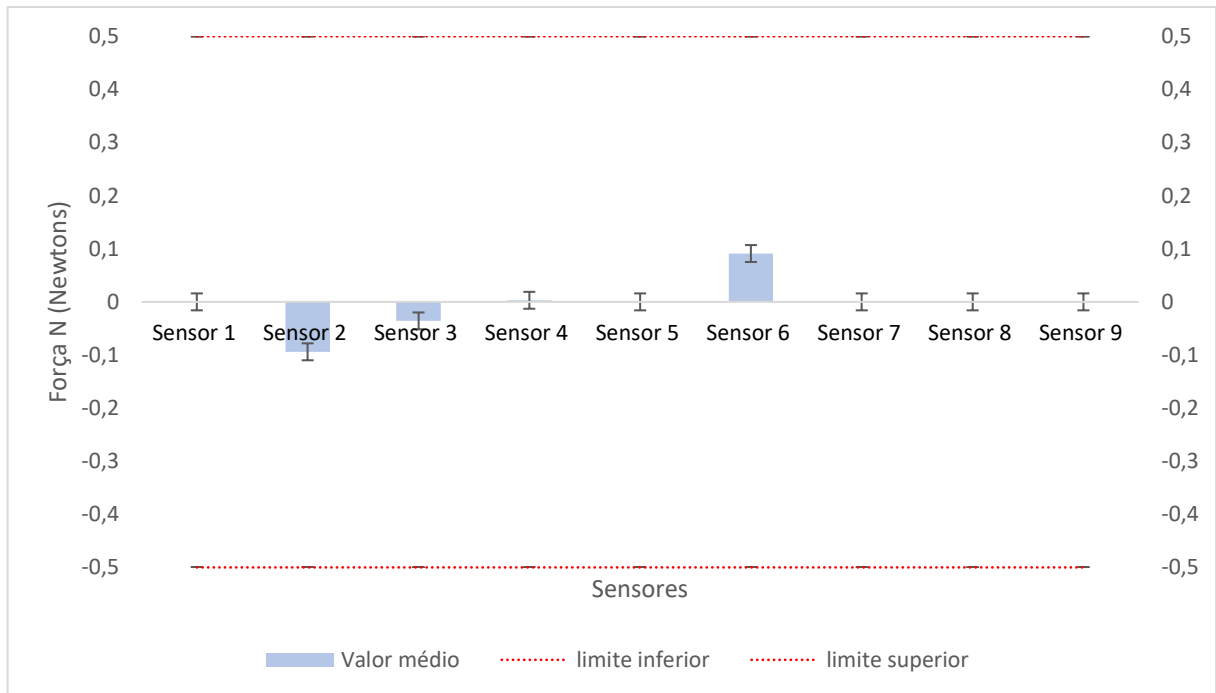
Para simular a pegada foi adicionado uma rampa ao dispositivo que permitiu aplicar uma carga dinâmica com velocidade constante através de uma tensão de 2 Volts. O mecanismo “carrinho” arrasta a carga sobre o substrato têxtil simulando o movimento de pegada. Os experimentos e variações de carga aplicada em cada amostra estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Experimento com carga dinâmica

Experimento	Carga (g)	Amostra	Velocidade km/h	Repetições
1	0	(A) Padrão	2	5
2	0	(B) simples	2	5
3	0	(C) dupla	2	5
4	0	(D) tripla	2	5
5	1000	(A) Padrão	2	5
6	1000	(B) simples	2	5
7	1000	(C) dupla	2	5
8	1000	(D) tripla	2	5
1	0	(A) Padrão	2	10
2	0	(B) simples	2	10
3	0	(C) dupla	2	10
4	0	(D) tripla	2	10
5	250	(A) Padrão	2	10
6	250	(B) simples	2	10
7	250	(C) dupla	2	10
8	250	(D) tripla	2	10
9	500	(A) Padrão	2	10
10	500	(B) simples	2	10
11	500	(C) dupla	2	10
12	500	(D) tripla	2	10
13	1000	(A) Padrão	2	10
14	1000	(B) simples	2	10
15	1000	(C) dupla	2	10
16	1000	(D) tripla	2	10

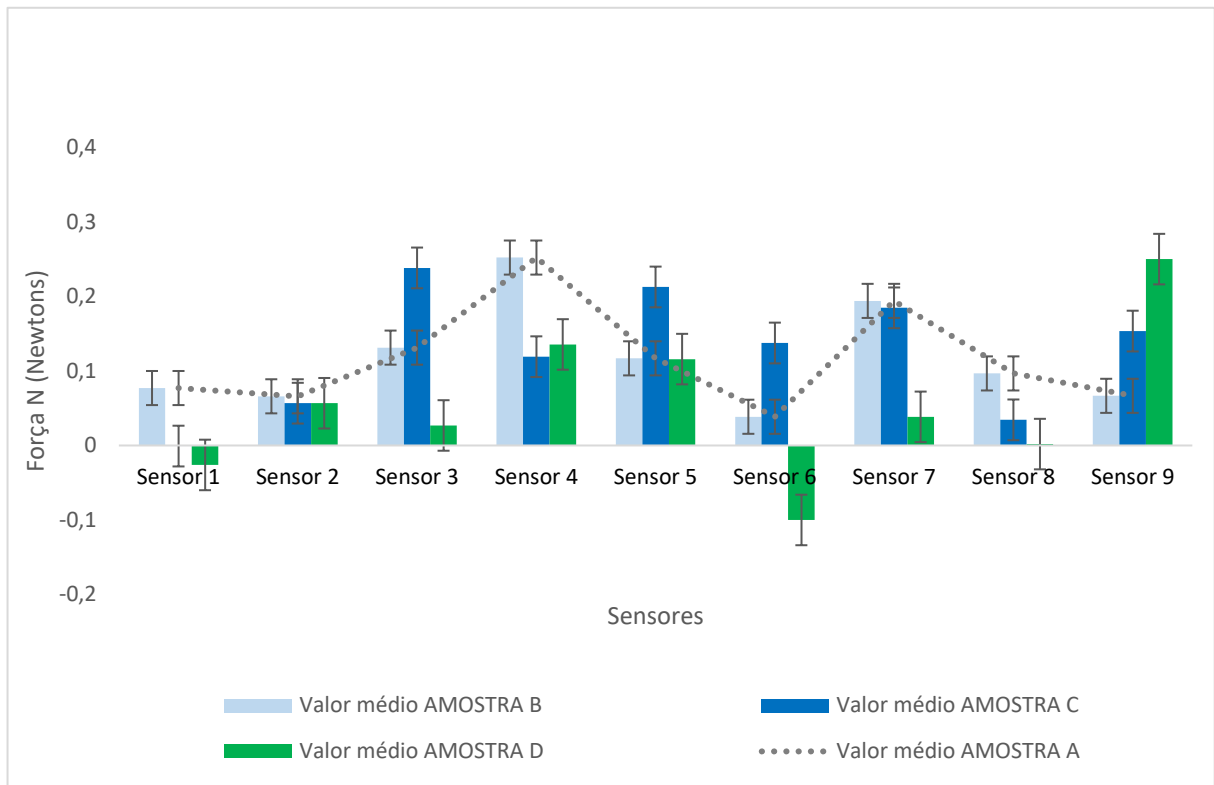
O teste de calibração realizado apresentou dentro da tolerância $\pm 5\text{N}$ sendo aprovado para iniciar os testes. A aprovação pode ser observada na Figura 36. Inicialmente, para analisar *in loco* a simulação da pegada, realizou-se o experimento com carga 0 dinâmica nas quatro amostras, resultados apresentado na Figura 37.

Figura 36 – Resultado gráfico da calibração Aprovado



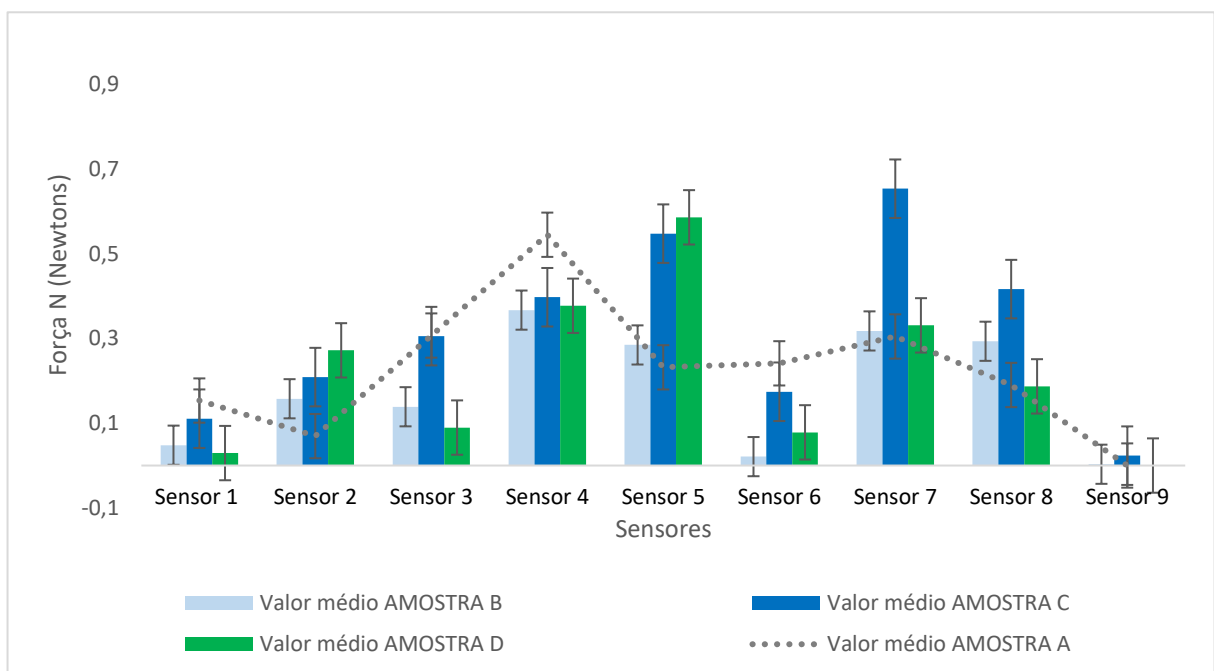
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Figura 37 – Resultados carga dinâmica - carrinho vazio



Fonte: elaborado pela autora (2024)

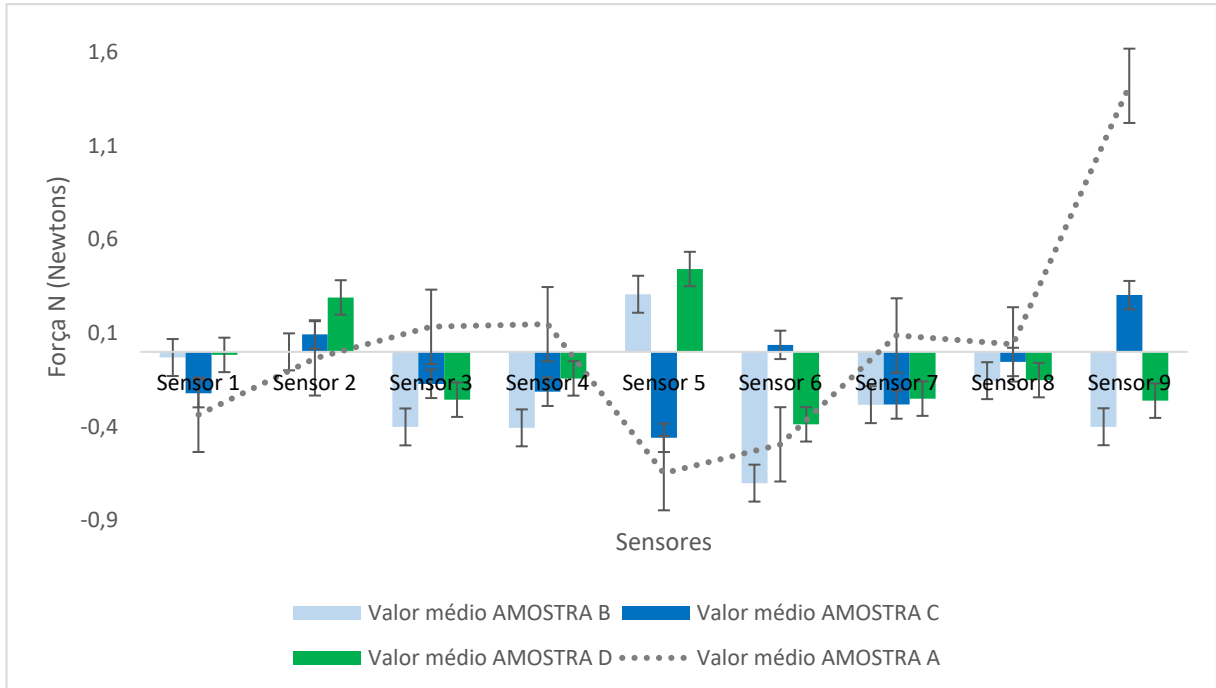
Figura 38 – Resultados carga dinâmica - 1000 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

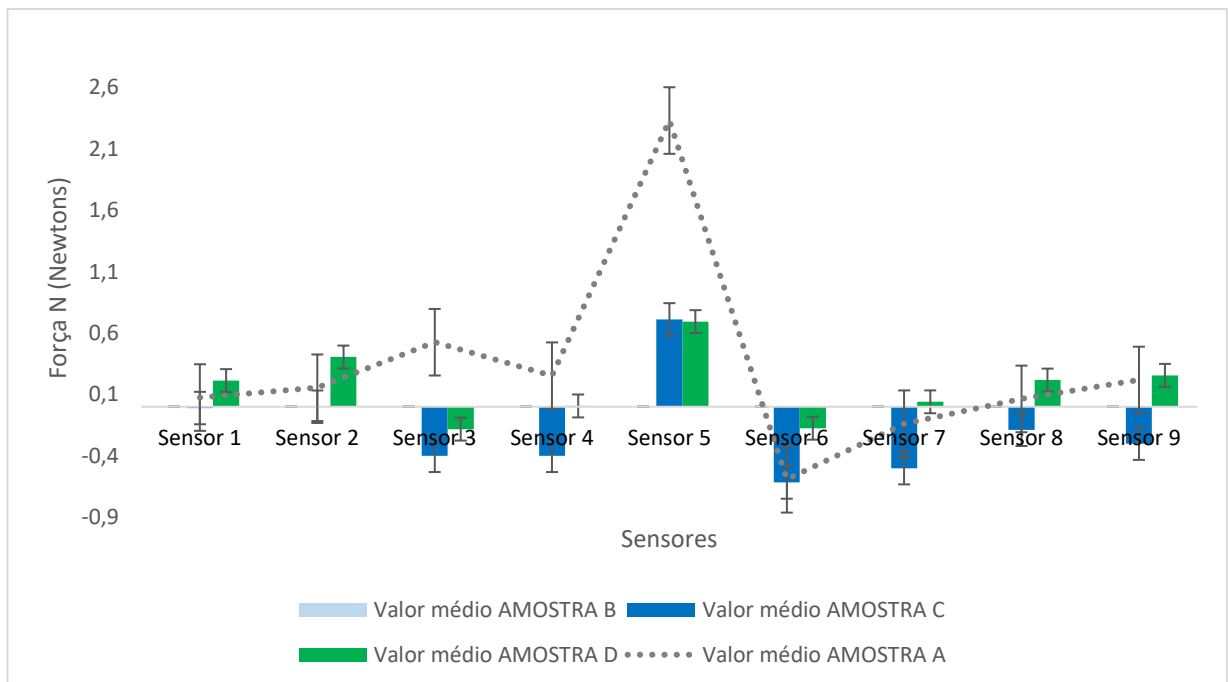
Considerando as variações encontradas novos experimentos foram realizados aumentando a repetição de cinco para dez para cada. Os resultados podem ser observados nas imagens 39, 40 e 41 respectivamente.

Figura 39 – Resultados carga dinâmica - carrinho vazio repetição



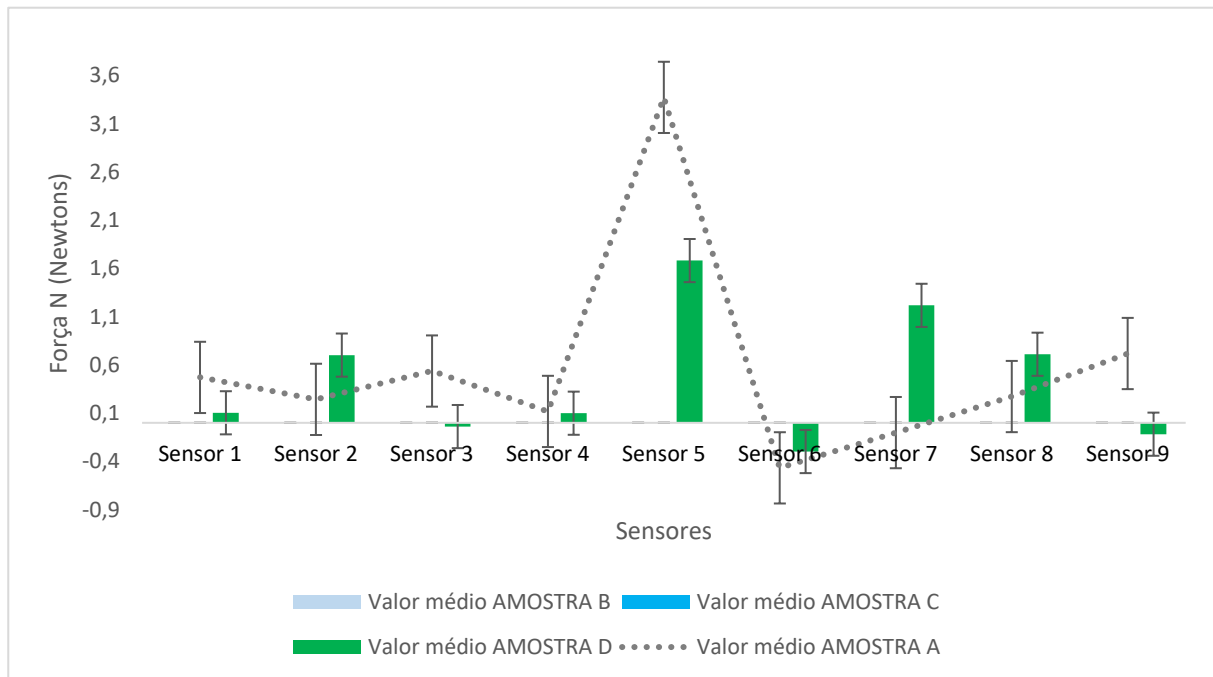
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Figura 40 – Resultados carga dinâmica - 500 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Figura 41 – Resultados carga dinâmica - 1000 g



Fonte: elaborado pela autora (2024)

4.1.3 Resultados tridimensionais

Considerando os resultados obtidos os dados foram tratados para análise no software tridimensional. Primeiramente, tem-se a análise de comparação de carga estática e posteriormente a carga dinâmica. Os resultados tridimensionais da carga estática representam as leituras até o momento T1, sendo T1= 5 segundos com o intuito de eliminar a variável tempo. Embora as variáveis, conforme demonstrado, tem baixa relevância. Para os experimentos com carga dinâmica tem-se T2, sendo T2= 10, pois durante os experimentos algumas amostras bloquearam a carga (o carrinho travou sob o substrato têxtil) e na representação gráfica de coordenadas não é possível visualizar.

As análises tridimensionais observadas apresentaram coloração que auxiliam na interpretação e indicam a intensidade da força aplicada através da leitura de cada sensor. Algumas áreas têm cor intensa e outras uma mescla, ou seja, a tentativa de o substrato têxtil absorver o impacto. Diante desta observação definiu uma tabela de classificação de coloração conforme tabela 6.

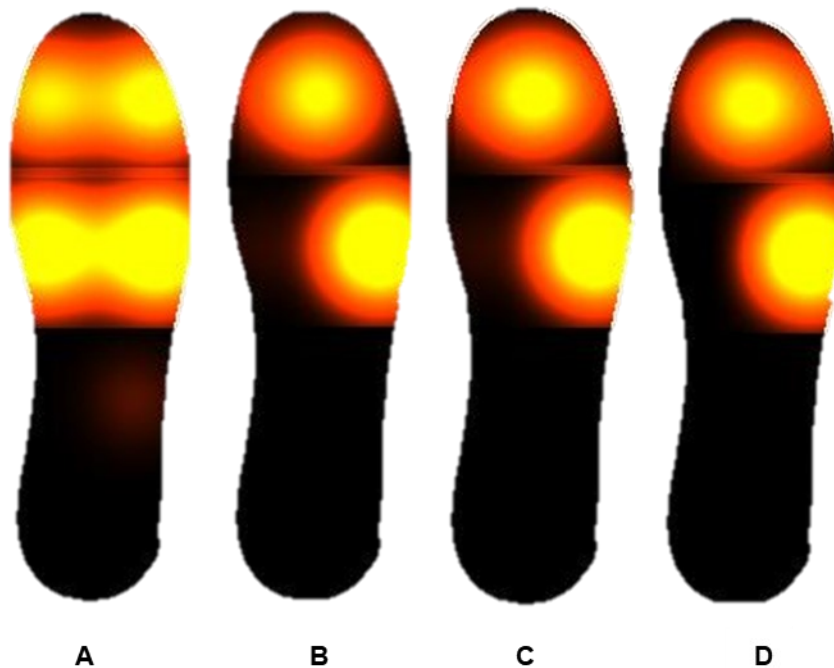
Tabela 6 – Tabela de classificação de coloração

Coloração	Descrição	Intensidade
vermelha	zona de impacto	alta
amarela	zona de impacto	moderada
avermelha	zona de impacto	moderada para alta
amarelada	zona de impacto	baixa para moderada

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Quando comparado as seções em sua individualidade sob a mesma força alterando as amostras é observado que as três amostras têm pontos muito similares conforme mostra Figura 42.

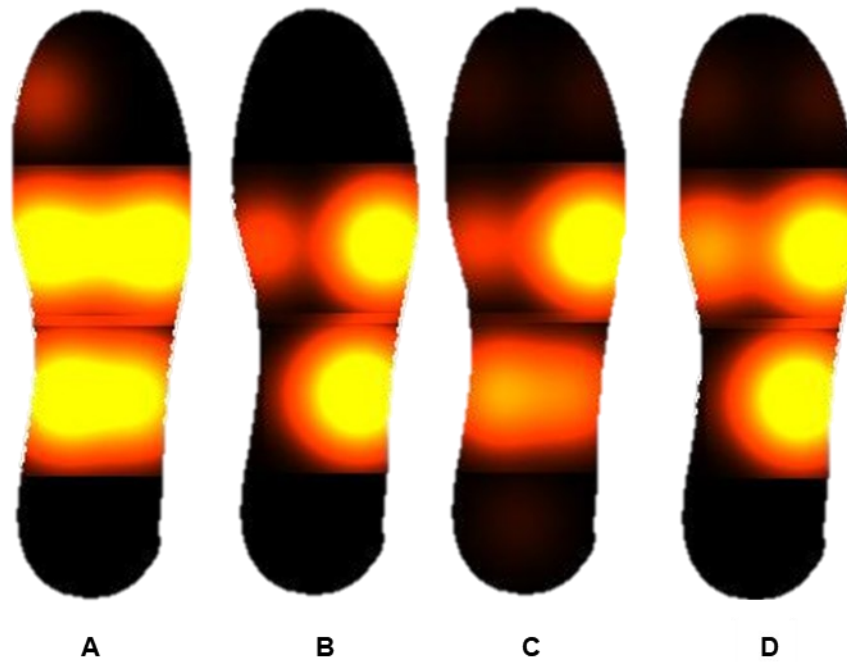
Figura 42 – Análise carga estática 750 g seção antepé



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Na seção antepé a amostras B, C e D apresentam distribuição de carga em pontos similares. A amostra D apresenta maior absorção de impacto. A Figura 43 mostra a distribuição na seção do mediopé.

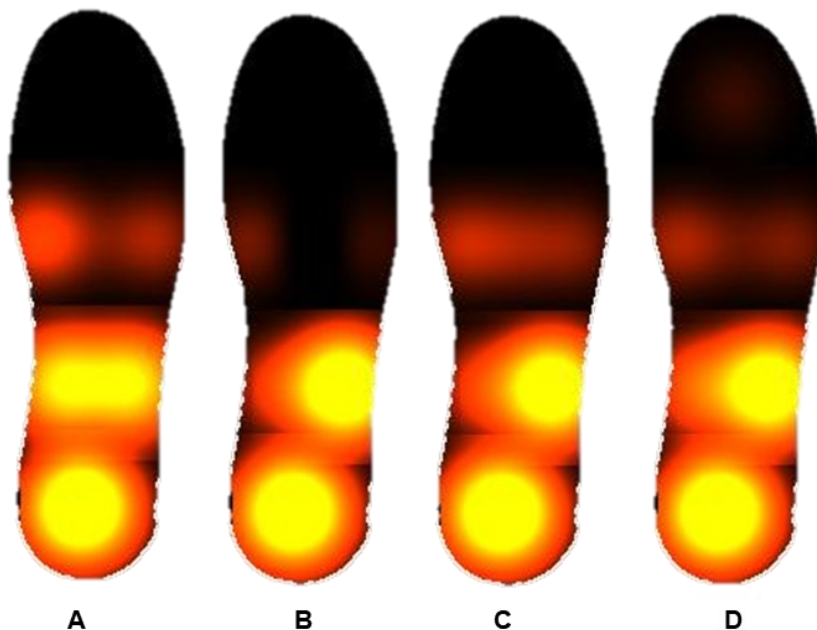
Figura 43 – Análise carga estática 750 g seção mediopé



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Na seção mediopé a amostra D apresenta a tendência de distribuição de carga se aproximar da amostra A. E na seção retropé as amostras C e D apresentaram projeção de distribuição de carga muito semelhante, mais ainda assim a amostra D segue a tendência de se aproximar da amostra A ilustrado na Figura 44.

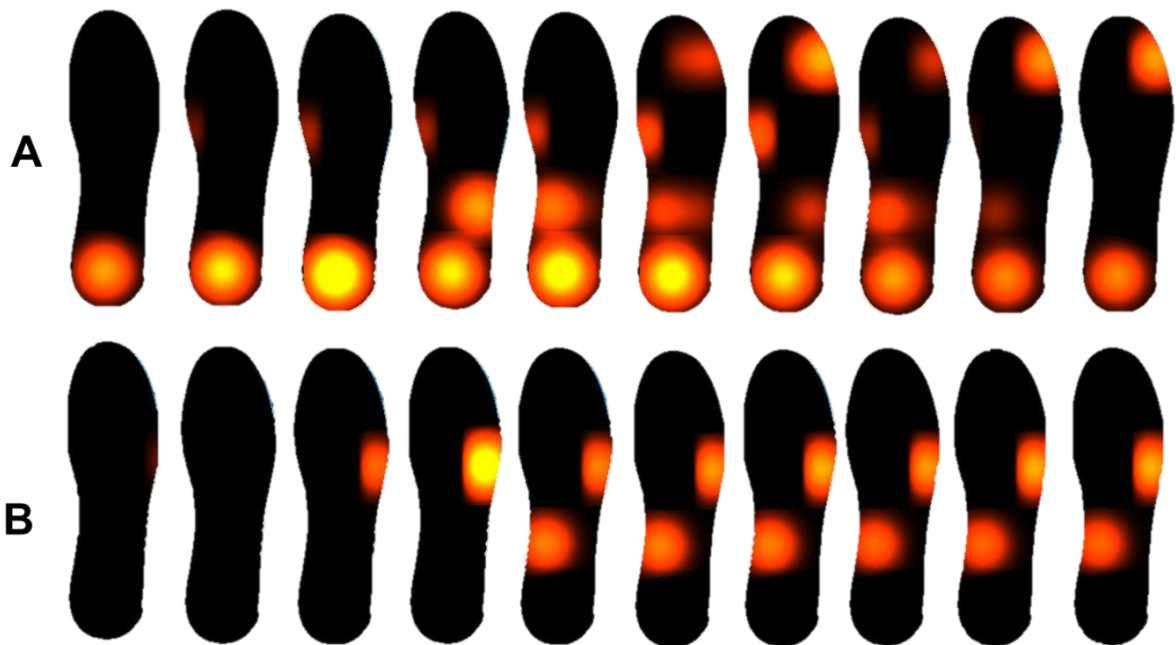
Figura 44 – Análise carga estática 750 g seção retropé



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Para os experimentos de carga dinâmica os resultados de cada amostra são comparados no intervalo de tempo $S = 1$, $S = 5$ e $S = 10$ para ter uma análise real do comportamento de cada amostra em cada segundo. A Figura 45 mostra os resultados obtidos no intervalo de 10 segundos.

Figura 45 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x B

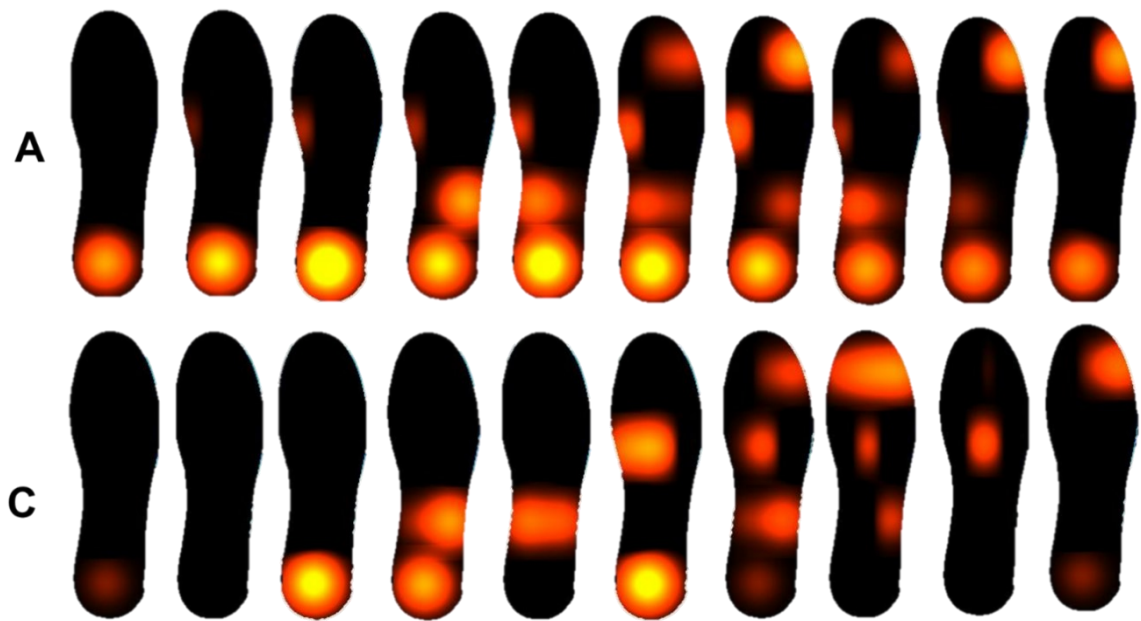


Fonte: elaborado pela autora (2024)

A amostra B apresentou um leve travamento ao iniciar a simulação da pegada, após o deslocamento do carrinho o trajeto fluiu normalmente. Nos intervalos S_1 , S_5 e S_{10} respectivamente, é visível a diferença de distribuição de carga apresentada pelo substrato têxtil de uma camada conforme observado na Figura 47.

A análise tridimensional da amostra C apresentado na Figura 48 revela que o substrato têxtil com duas camadas possui semelhanças na distribuição de carga em $S_3, 4, 7$ e 10 . No $S = 7$ os pontos de distribuição recebem mais impacto apresentado coloração avermelhada quando comparado a amostra A que apresenta melhor definido os pontos de intensidade moderada.

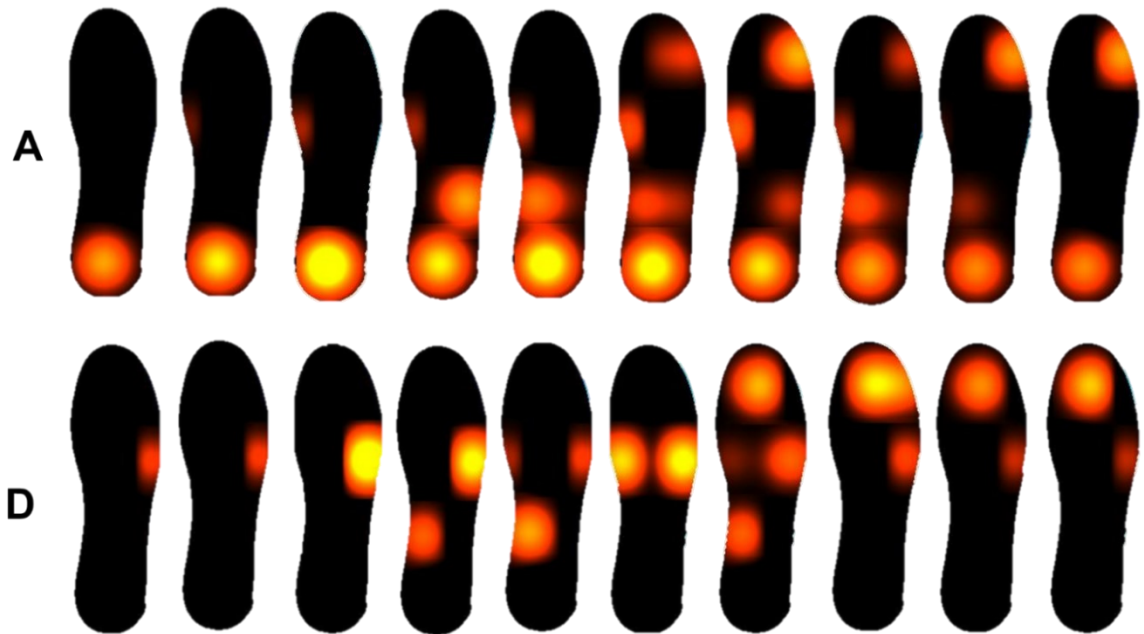
Figura 46 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x C



Fonte: elaborado pela autora (2024)

O substrato têxtil de camada tripla apresentou um resultado tridimensional com distribuição uniforme com tendência ao centro da pegada essa interpretação é visual no S= 6 da Figura 49 onde a distribuição se concentra ao meio e proporcional em ambo os lados. No instante S = 7 a distribuição se torna mais ampla mais ainda, não estende ao início da pegada diferentemente da amostra A, em todos os segundos a leitura dos sensores respondem a passagem do carrinho alternando a intensidade no S = 3 a intensidade moderada é predominante e a partir do S = 7 mescla e migra para intensidade alta.

Figura 47 – Análise carga dinâmica carrinho vazio A x D



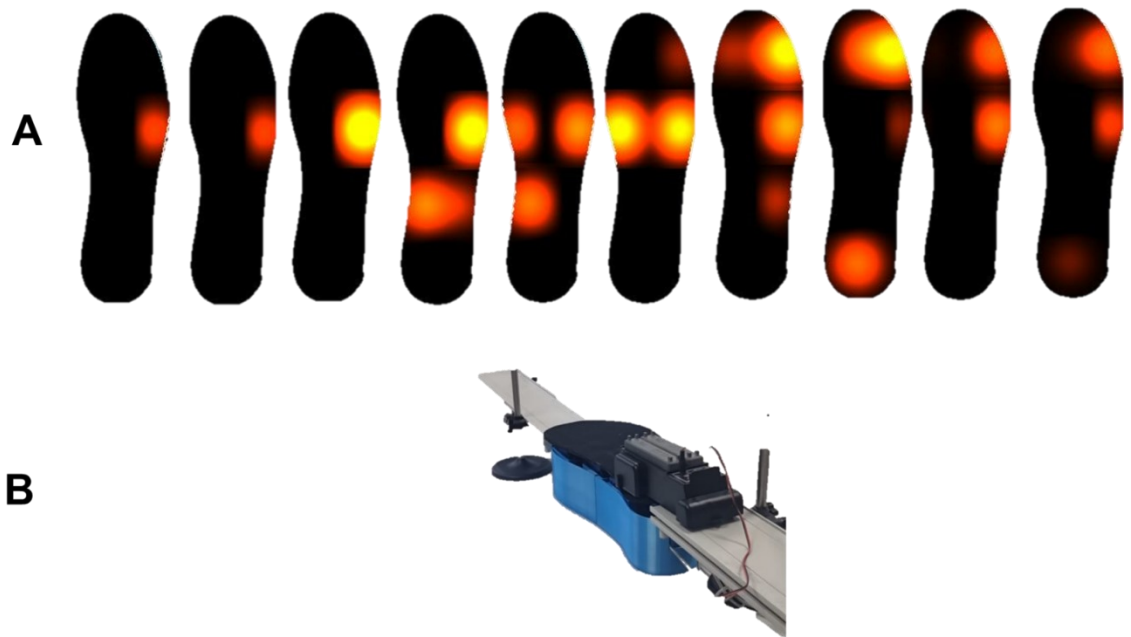
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Para avaliar a resposta do substrato têxtil com carga foi adicionado ao carrinho barras somando 500 g. As 3 amostras foram submetidas a passagem do carrinho com carga e após capturado a resposta tridimensional para amostra.

Logo após o início do teste a amostra B o carrinho com carga travou sobre o substrato têxtil de uma camada. Conforme os ensaios se repetiam as travas reincidiam, em apenas 1 ensaio o carrinho conseguiu migrar da ponte para o substrato têxtil, mas sem sucesso na trajetória. A amostra então foi classificada como: sem resposta.

Para as amostras C e D o carrinho passou sobre os substratos sem travas bruscas respondendo cada qual com sua distribuição. A amostra C teve um pouco mais de resistência nas passagens principalmente entre a transição do centro para parte frontal e aproximadamente a partir do $S = 5$ não teve mais resposta, a amostra então teve como classificação: baixa resistência ao impacto e distribuição de carga inferior a amostra padrão (amostra A).

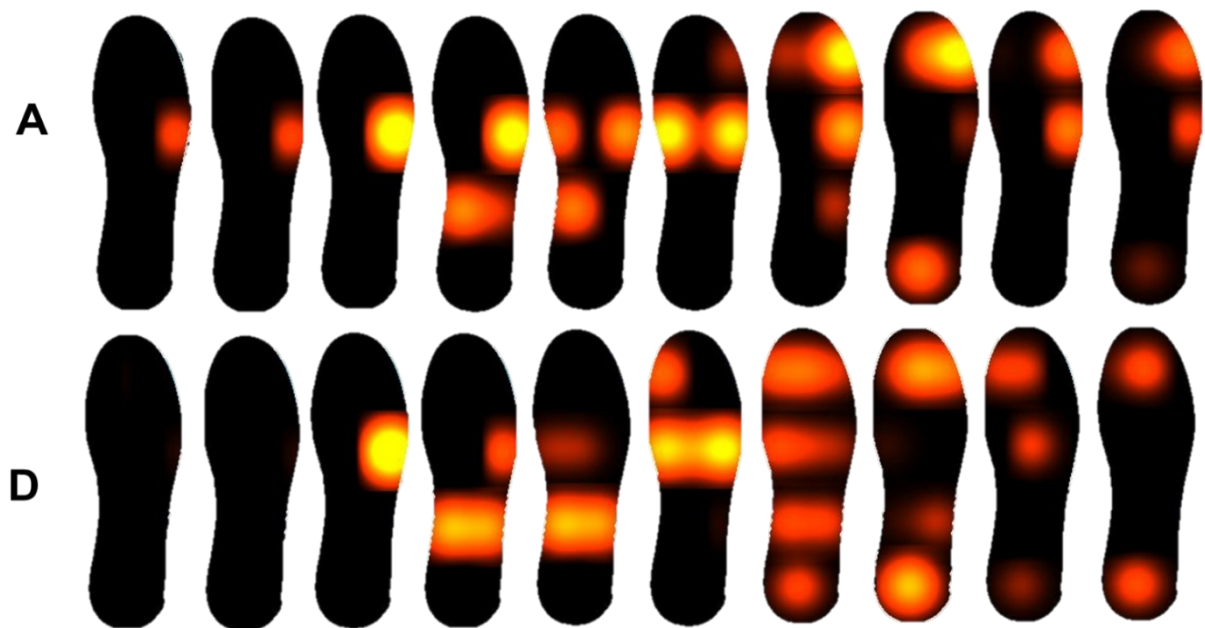
Figura 48 – Análise carga dinâmica carrinho 500 g A x B



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Os resultados tridimensionais e análise de comparação das amostras B e D em relação a amostra A podem ser observadas nas figuras 49 e 50.

Figura 49 – Análise carga dinâmica carrinho 500 g A x D



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Buscando embasamento para classificação de resposta das amostras apresentada neste estudo mais uma rodada de ensaios com carga dinâmica foi realizada com carga máxima equivalente a 1000 g.

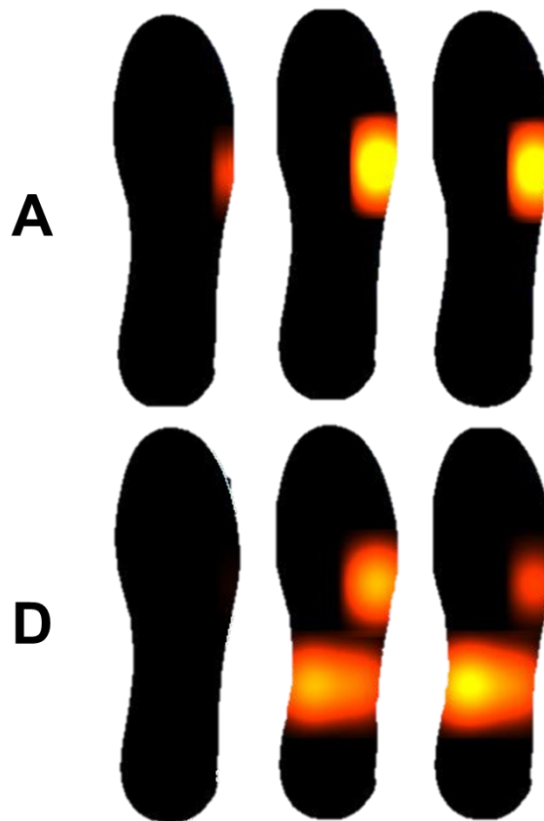
A amostra padrão A não apresentou dificuldades durante o experimento apenas notou-se um aumento de 2 segundos na travessia em relação a carga anterior (500 g), ou seja, a passagem foi mais lenta, mas não ultrapassou 15 segundos.

A amostra B mesma resposta que no experimento com carga 500 g: sem resposta.

A amostra C que apresentou resposta parcial com carga de 500 g neste com carga de 1000 g o carrinho travou em todas as repetições e amostra foi classificada como: sem resposta.

A amostra D apresentou resposta próxima a padrão em alguns pontos e superior em outros comparado a amostra A, conforme observa-se na Figura 50.

Figura 50 – Análise carga dinâmica carrinho 1000 g A x D



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Baseado nos resultados dos experimentos apresentado nesta pesquisa as amostras analisadas receberam classificação conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela de classificação das amostras

Amostra	Composição	camada têxtil	camada EVA	Classificação	Distribuição de carga	Absorção de impacto
A	papelão 2 mm	-	-	padrão	padrão não uniforme	baixo
B	EVA 2 mm + malha	1	1	sem resposta	sem resposta	sem resposta
C	EVA 2 mm + malha	1	2	inferior a padrão	discreta	moderado
D	EVA 2 mm + malha	1	3	superior a padrão	discreta	alto

Fonte: elaborado pela autora (2024)

4.1.4 Discussões

Analisando os resultados, observa-se que o dispositivo projetado possibilitou a análise. Diante de todos os resultados apresentados é importante incluir ressalvas para esclarecer dúvidas pertinentes aos leitores. Nos ensaios de carga dinâmica quando a força é aplicada à amostra A, fica evidente que os pontos de pressão são mais sensíveis na região do retopé. No entanto, à medida que as amostras são alteradas as regiões sensíveis também. No caso da amostra B passa ao mediopé. A amostra C para mediopé com uma distribuição de carga mais uniforme e amostra D antepé, mediopé e retopé com uma distribuição uniforme e com baixo impacto.

Embasado nos resultados da amostra B, composta por apenas uma camada, não houve amortecimento significativo de impacto, e a pressão se espalhou. Em contrapartida os resultados obtidos da amostra C, possui áreas de coloração amarela se tornam mais evidentes, sugerindo que a segunda camada auxiliou na absorção do impacto, mas devido a maleabilidade do substrato a distribuição de carga é inferior a distribuição padrão.

A amostra D o substrato têxtil de 3 camadas EVA + 1 camada malha se destacou e contribui significativamente na absorção de impacto na Figura 53 quando a amostra é comparada ao padrão, mesmo com carga máxima (1000 g) a carga aplicada foi amortecida e teve leitura 0 neste instante superando a amostra padrão A que teve uma leve pressão nos pontos de pressão do mediopé. Além disso mostra proximidade notável com a amostra padrão (A) na uniformidade de distribuição de carga descentralizando a pressão do antepé. Pode-se então afirmar que quanto mais camadas na amostra, maior a capacidade de absorção de impacto e a capacidade de se equiparar à amostra padrão em busca da uniformidade na distribuição de carga.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo principal e os objetivos específicos esperados nesta pesquisa foram atingidos. A duração média de cada experimento foi de 20 minutos, com aproximadamente 580 experimentos divididos em duas fases: carga estática e carga dinâmica. A pesquisa concentrou-se na análise comparativa de resultados entre quatro variações, onde a amostra A padrão é constituída de papelão com espessura de 2 mm e comprimento de 420 mm, enquanto as três outras amostras são substratos têxteis fabricados a partir de placas de EVA com dimensões de 400 x 600 mm e espessura de 2 mm, mesclados com uma camada de malha composta por 92,5% poliéster e 7,5% elastano com gramatura de 110g/m², variando a quantidade de camadas.

Os resultados dos experimentos com carga estática indicam que a amostra D, apesar de ser menos rígida em sua composição material, apresentou desempenho semelhante ao da amostra padrão. Concluiu-se que as amostras B, C e D apresentam distribuição de carga em pontos similares na seção do antepé. Nas seções do mediopé e retropé, a amostra D se destacou por sua maior tendência a se aproximar da amostra A. Para simular o movimento de pisada na segunda fase, foi adicionada uma rampa ao dispositivo, permitindo a aplicação de uma carga dinâmica com velocidade constante através de uma tensão de 2 Volts, onde o mecanismo de “carrinho” arrasta a carga sobre o substrato têxtil. Nesta fase, algumas amostras bloquearam a carga, impossibilitando a simulação completa da pisada. Os resultados de cada amostra foram comparados em três intervalos de tempo (em segundos): $S = 1$, $S = 5$ e $S = 10$.

A análise tridimensional revelou nuances na distribuição de carga em cada intervalo de tempo avaliado. A amostra padrão apresentou uma distribuição de carga não uniforme e baixa absorção de impacto. A amostra B não obteve resposta satisfatória em nenhum dos critérios avaliados. A amostra C foi classificada como inferior ao padrão em termos de distribuição de carga, com uma absorção de impacto moderada. Por fim, a amostra D destacou-se como superior ao padrão em ambos os critérios, apresentando uma distribuição de carga uniforme e alta absorção de impacto. Pode-se afirmar que, à medida que aumenta o número de camadas na amostra, sua capacidade de absorção de impacto e a uniformidade na distribuição de carga também aumentam.

Os resultados desta pesquisa refletem uma abordagem realista e pragmática que une tecnologia, ciência dos materiais e engenharia. Essa combinação de áreas permite uma análise fundamentada e aplicada, abrindo caminho para estudos futuros em diferentes segmentos.

Como sugestão para futuros estudos destacam-se:

Quantidade de camadas em substratos têxteis: estudar amostras do mesmo substrato têxtil desta pesquisa com mais camadas, visando determinar a quantidade máxima de camadas para obter a distribuição uniforme das cargas.

Estudar amostras com diferentes substratos têxteis para caracterizar a influência do substrato na distribuição uniforme das cargas e absorção de impacto.

Influência do desgaste e do usuário: analisar a influência do desgaste na distribuição uniforme de cargas e absorção de impacto, comparando amostras novas e usadas (com 100 quilômetros de uso).

Estudar amostras de palmilhas com diferentes perfis de usuários (atleta x não atleta, infantil x adulto, masculino x feminino) para analisar a influência do usuário na distribuição uniforme de cargas e absorção de impacto.

Substratos têxteis hidrofílicos e hidrofóbicos: estudar amostras de palmilhas com substratos têxteis hidrofílicos e hidrofóbicos para analisar a influência da transpiração na distribuição uniforme de cargas e absorção de impacto, comparando substratos de linho e algodão tratado.

Aprimoramento do dispositivo e software: aprimorar o dispositivo de caracterização de distribuição de cargas para projetar palmilhas automaticamente, com menor custo, máxima uniformidade na distribuição de carga e maior absorção de impacto.

Aprimorar o software 3D de caracterização de distribuição de cargas para analisar e interpretar dados de transformação gráfica, ampliando os níveis de aplicação na área acadêmica e industrial.

Desenvolvimento de aplicativo: desenvolver um aplicativo para leitura em tempo real da distribuição de carga durante a pisada.

Que esta pesquisa sirva como um alicerce para futuros estudos e desenvolvimentos que contribuam para a melhoria da qualidade e do desempenho de produtos têxteis, beneficiando tanto consumidores quanto a indústria como um todo.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, V. **Mathematical Methods of Classical Mechanics 1989**, Volume 60 ISBN : 978-1-4419-3087-3 Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K Data de publicação 1 junho 1989.
- AZEVEDO, J.O **Pé e o Calçado**. Retirado de <http://podologia.sapo.pt/14296.html>. 09 jan. 2011
- Brown et al. (2018) **Durability Assessment of Textile Materials in Insoles**, 2019.
- BROWN, A. et al. **The Impact of Footwear Design on Plantar Pressure Distribution**. Journal of Biomechanical Engineering, 141(6), 061007, 2019.
- CAVANAGH, P. R., & Rodgers, M. M. The arch index: **A Useful Measure From Footprints**. Journal of Biomechanics, 20(5), 547-55, 1987.
- CHEN, L. et al. **A Review of Textile-Based**, 2017.
- CHEN, W. M., Lee, P. V. S., Lee, H. S., & Lin, C. F. **Effects of Hardness of Heel Cup Material of Insoles on Biomechanical Performance of Running Shoe**. Procedia Engineering, 60, 327-331, 2013.
- CHEN, Y. C., Lou, S. Z., & Huang, C. Y. **Design and Development of a Shoe-based Insole Plantar Pressure Measurement System**. Measurement, 95, 111-120, 2017.
- CHUANG, C. H., & Lin, C. W. **A Force Sensing Resistor-Based Fabric Sensor and a Parallel Structure for Wearable Plantar Pressure Measurement System**. Sensors, 14(1), 1009-1025, 2014.
- FONG, Shirley S. M. et al. **Effects of Dual Foot Orthotic on Lower Limb Kinematics and Kinetics during Drop Landing in Individuals with Varus Alignment**. Journal of Sports Science & Medicine, [S.I.], v. 8, n. 4, p. 668-676, 2009.
- GARCIA-GUTIERREZ, A., & Barbosa, T. M. **A wearable Insole Pressure System Based on a New Low-cost Low-power Piezoresistive Pressure Sensor**. IEEE Sensors Journal, 19(5), 1670-1677, 2019.
- GEFEN, A., Megido-Ravid, M., Itzchak, Y., & Arcan, M. **Biomechanical Analysis of the Three-dimensional Foot Structure During Gait: A Basic Tool for Clinical Applications**. Journal of Biomechanical Engineering, 123(5), 387-393, 2001.
- GERDT, D. W., & Solomon, E. **Low-cost Force Feedback Using a Portable Wearable Haptic Device for Motion-impaired Users**. IEEE Transactions on Haptics, 9(1), 1-13, 2016.

HONG, W. H., Lee, Y. H., & Lin, Y. H. **Effect of Shoe Heel Height and Total Contact Insert on Muscle Loading and Foot Stability while Walking.** *Foot & Ankle International*, 26(11), 901-905, 2005.

HUA, Rui; WANG, Ya. **Monitoring Insole (MONI): A Low Power Solution Toward Daily Gait Monitoring and Analysis.** *IEEE sensors journal*, v. 19, n. 15, p. 6410-6420, 2019.

JOHNSON, R. et al. **Customized Textile Insoles for Foot Comfort**, 2019.

JOHNSON, R. et al. **Effects of Orthotic Insoles on Plantar Pressure Distribution in Patients with Flatfoot.** *Journal of Orthopaedic Research*, 36(4), 1105-1111, 2018.

Li, R., Wang, L., & ZHANG, W. **Application of a new sensor technology for plantar pressure measurements in a static stance.** *Journal of Medical Engineering & Technology*, 42(7), 525-534, 2018.

LIN, D. C., & WANG, H. **Review of MEMS-based Force Sensors for Biomedical Applications.** *Sensors and Actuators A: Physical*, 200(2007), 35-41, 2007.

LIN, L., CHEN, C., & Hsieh, S. **Development of a New Testing Device for Dynamic Measurement of Foot Pressure.** *Journal of Medical and Biological Engineering*, 38(5), 729-738, 2018.

M.E.M. Vieira, J.J.A. Mendes Jr, M.B. Pires e S.L. Stevan Jr. **Dispositivo para Análise de Pressão Plantar em Palmilhas Utilizando Piezoelétricos de Baixo Custo.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Brasil, 2016.

MILLS, K., Blanch, P., & Vicenzino, B. **Identifying Clinically Meaningful Tools for Measuring Comfort Perception of Footwear.** *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1966-1971, 2010.

MUELLER, M. J., & Strube, M. J. **Generalizability of In-shoe Peak Pressure Measures Using the F-scan System.** *Clinical Biomechanics*, 11(4), 159-164, 1996.

MURLEY, G. S., & Menz, H. B. **Foot Posture Influences the Electromyographic Activity of Selected Lower Limb Muscles During Gait.** *Journal of Foot and Ankle Research*, 36(1), 5-12, 2005.

NESTER, C. J., & FINDLOW, A. F. **Current Clinical Practice: What Determines the Material Properties of the Plantar Soft Tissues?** *Journal of Clinical Rheumatology*, 10(5), 236-240, 2004.

OLIVEIRA, F. et al. **Efeitos de Diferentes Tipos de Órteses Plantares No Ciclo Do Caminhar**, 2013.

PAUK, J. et al. Influence of insole materials on friction and ground reaction force during gait. *Journal of friction and wear*, v. 36, p. 319-323, 2015.

RAO, S., & Baum, B. **Shoe Inserts and Orthotics for Sport and Physical Activities**. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(3), 381-390, 2006.

RIELLO, G. e McNeil, P. **A History from Sandals to Sneakers Berg**, Oxford, and New York, 2006.

RIGHETTO, M. M. **Conforto Psico-social no Calçado Feminino**. Tese de Mestrado em Design e Marketing. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2013.

ROSENBAUM, D., BECKER, H.-P. **Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications**. *Foot and ankle surgery*, v. 3, n. 1, p. 1-14, 1997.

ROSENBAUM, D., Hautmann, S., & Gold, M. **Sensorimotor Insoles for Older People: A Randomised Controlled Trial**. *Journal of Foot and Ankle Research*, 22(4), 1-13, 2006.

SMITH et al. **Advanced Textile Materials for Footwear Insoles**, 2020.

SMITH, J. et al. **Foot Pressure Distribution and Gait Analysis in Diabetic Patients**. *Journal of Podiatric Medicine*, 45(2), 87-94, 2020.