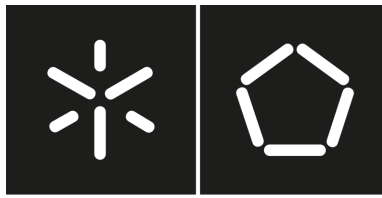


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Fernando Luís Silva Guimarães

**Desenvolvimento de sensor
piezoresistivo flexível para aplicação
têxtil desportiva**

Janeiro 2020



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Fernando Luís Silva Guimarães

**Desenvolvimento de sensor
piezoresistivo flexível para aplicação
têxtil desportiva**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de estudos integrados

conducentes ao grau de Mestre em Engenharia Têxtil

Mestrado Integrado em Engenharia têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Hélder Manuel Teixeira
Carvalho**

Janeiro 2020

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

“São curtos passos que te levam a percorrer longas distâncias...”

Ora, este trabalho marca sem dúvida o final de um longo percurso. Nem sempre foi fácil, principalmente por ter de conciliar o estudo com a minha vida profissional, no entanto, é a conclusão de um sonho de criança.

E porque respiro o têxtil, que sempre fez parte do meu dia-a-dia e que sempre o fará, formar-me em Engenharia Têxtil e obter mais conhecimento é uma grande etapa alcançada.

Foram 5 anos de muita dedicação e empenho, mas que se tornou mais simples pela presença das pessoas certas que me acompanharam e que receio não conseguir aqui transmitir tudo o que tenho para lhes agradecer.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Hélder Carvalho, o meu orientador. Mais que um professor, um amigo, que desde o início orientou-me na realização deste trabalho. Obrigado pela sua preciosa ajuda e constante disponibilidade. Obrigado pelo incentivo, simpatia e prontidão na orientação importante para a conclusão desta dissertação.

A todos os professores que passaram pelo meu percurso escolar, pelo ensino e orientação intelectual e profissional. Um especial agradecimento aos professores da Universidade do Minho do Departamento de têxtil, Pedro Souto, Ana Maria Rocha, Maria José, Rosa Vasconcelos, António Dinis, Teresa Amorim, Teresa Miranda, Fátima Esteves, André Catarino, Fernando Ferreira, Graça Soares, Jorge Santos, Noémia Carneiro, Rocha Gomes, Luís Almeida, Joana Cunha e aos técnicos Joaquim Jorge, Avelino e Anabela, pelo carinho, dedicação e entusiasmo demonstrado ao longo do curso.

Um agradecimento à Universidade do Minho, pelas infraestruturas, e pela disponibilidade na utilização do laboratório de física têxtil – *DET* para a realização dos ensaios necessários.

À empresa, *CARFATI – Empresa têxtil*, em especial ao Sr. Carlos Carvalho e Sra. Fátima Carvalho, pela gentileza e disponibilidade em abrir as portas, permitindo a utilização dos seus equipamentos sempre que necessário à execução e produção dos sensores. Obrigada pela vossa afável orientação, pelo apoio e por serem a imagem de empresários dedicados.

À empresa, *PF Bonding*, em especial ao Dr. Paulo e à Dra. Helena Nunes, pela amabilidade com que sempre me receberam e pelo apoio prestado no fornecimento de amostras.

À empresa *PROTECHNIC*, ao Sr. Marco, pelo fornecimento das matérias primas necessárias à construção do sensor.

À empresa *LVL*, em especial ao Sr. Hugo e Sr. Domingos, pelo recorte das matérias primas.

Aos meus amigos...em especial ao Pedro Silva e Alexandre Silva. São sem dúvida o que de melhor ganhei nestes anos de Universidade. É impossível não agradecer por tudo o que me deram e por tudo o que vivi convosco. Obrigada por me ajudarem em todas as dificuldades, dúvidas e obstáculos que por vezes apareciam pelo caminho. Sem eles, este percurso não teria sido, obviamente, tão enriquecedor e inesquecível.

A todos os meus outros Colegas de curso, que não vou aqui enumerar, pela espontaneidade e alegria nos momentos passados.

De um modo particular, agradeço aos amigos de longa data, em especial ao Rui e à Emília, pelo companheirismo, amizade e disponibilidade constante.

À minha futura esposa, Anabela, um profundo agradecimento pela sua dedicação, pelo seu amor. É sem dúvida um pilar, com a felicidade e a tranquilidade que transmite e que contagia.

A toda a minha família pelo amor, carinho, valores, força e sabedoria que me consagraram durante toda a vida, motivando e tornando-me na pessoa que hoje sou.

Aos meus pais, a quem devo o maior agradecimento, pois são a minha “estrelinha”. Obrigado por me ajudarem sempre a escolher o melhor caminho. Obrigado pela paciência em tolerar a minha ausência, pelo apoio, pelo carinho, pela vontade e esforço, pela oportunidade e pelo privilégio que me deram ao compartilhar tamanha experiência, ao frequentar este curso, para que eu conquistasse um sonho!

“As coisas nunca parecem tão assustadoras quando se tem bons amigos.”

B. Watterson

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, janeiro de 2020

Fernando Luís Silva Guimarães

Assinatura: _____

RESUMO

Atualmente, os têxteis inteligentes vêm promover à indústria um fator económico e competitivo muito importante para a sua sustentabilidade. A sua importância vai permitir às empresas novas oportunidades de negócio e expansão para outros mercados. A modernização e a evolução do mercado, passa pela diferenciação de produtos e pela produção de artigos de valor acrescentado. Neste sentido, a incorporação de funcionalidades tecnológicas aos produtos vestíveis vai permitir elevar a indústria e os têxteis a outro patamar.

Por outro lado, a implementação de tecnologia nos têxteis pode ser aplicada em vários campos, como em áreas de medicina, militar, social, desportiva, entre outras. No que diz respeito ao âmbito desportivo, a procura por têxteis inteligentes está muito valorizada e é hoje, efetivamente, um produto apetecível na medida em que garantam o mesmo conforto que habitualmente conferem. Têm funcionalidades acrescidas, como por exemplo o de reagir perante um estímulo, adaptar, informar, medir ou quantificar mediante à atividade que exercem.

O incremento da tecnologia nos têxteis vai permitir que, por exemplo, um atleta monitorize o seu treino instantaneamente, e permita melhorar a sua performance e rentabilidade desportiva.

Nesta conjuntura, a implementação de sensores nos produtos têxteis vai garantir a criação de produtos inovadores.

Assim, este trabalho teve como objetivo principal desenvolver um sensor têxtil de pressão flexível para envolver um saco de boxe, capaz de quantificar a força exercida quando aplicada uma pancada.

Os sensores foram produzidos com base num tecido condutor e num filme piezoresistivo, em que a união destes dois materiais fez-se através de um termoadesivo, obtendo por fim uma *sandwich* de materiais. Foram testados dez termoadesivos distintos, com diferentes estruturas e composições químicas, para garantir elevada adesão e excelente resistência ao uso.

O estudo permitiu a análise das propriedades térmicas e mecânicas dos materiais, por forma a assegurar a fiabilidade e a resistência necessária.

Quanto à construção do sensor, recorreu-se a um método industrial em processo contínuo, para assegurar a reprodutibilidade e a otimização de produção. O processo utilizado para a união dos materiais foi através de laminagem com uma calandra rotativa.

O comportamento dos sensores foi avaliado através de um processo integrado, entre a análise da força exercida e da tensão aplicada em simultâneo sobre o sensor, por forma a verificar a fiabilidade, a sensibilidade e a linearidade do sensor.

Após a identificação do termoadesivo com melhores resultados de adesão - termoadesivo 6388.003, foi realizado recorte a laser com estruturas distintas para avaliar a estrutura ideal. O recorte do adesivo é necessário para proporcionar condução elétrica entre os eletrodos e a camada piezoresistiva visto que o termoadesivo é isolante elétrico.

Assim, o termoadesivo 6388.003 estrutura G, recortado com circunferências de diâmetro 0,3cm e superfície livre de 59% apresenta resultados mais positivos que as outras estruturas testadas. Quanto à resistência ao desprendimento, o termoadesivo 6388.003 apresenta 87% de maior adesão face ao termoadesivo 311 testado.

Em suma, neste estudo, o sensor têxtil piezoresistivo que apresenta melhores características eletromecânicas e de desprendimento é o que se apresenta na forma combinada de tecido condutor *Statex*, filme polimérico piezoresistivo *Linqstat* e do termoadesivo 6388.003 estrutura G.

Palavras-chave: e-têxteis; desporto; sensores têxteis; materiais condutores; materiais piezoresistivos; termoadesivos; poliolefinas.

ABSTRACT

Currently, smart textiles are a very important factor for textile industry's economic and competitive progress, as well as for its sustainability. It is one of the areas that provides companies with new business opportunities and expansion to other markets. Modernization and evolution of the market involves product differentiation and added-value- articles. In this sense, incorporation of new technological functionalities into wearable products will allow industry and textiles to be taken to another level.

On the other hand, implementation of technology in textiles can be applied in several areas, such as medical, military, sports, social areas, among others. In regards to sports, the search for smart textiles is highly valued and it's today, effectively a product in high demand that should provide the same comfort as normal products confer. By adding functionalities, it offers the capability of reacting to stimulus, adapting, recording, measuring or quantifying parameters related to the activity exercised.

By applying technology in textiles, it is possible, for example, for an athlete to monitor his training instantly, and allows him to improve his performance and sports profitability.

In this context, the implementation of sensors in textile products provides a development opportunity of new and innovative products.

Therefore, this work had as the main objective developing a pressure sensor made with flexible materials to involve a punching bag, capable of quantifying force applied when punched. The sensors were produced based on conductive fabric and a piezoresistive film.

The bonding of these two materials (sandwich) was made through a thermo-adhesive material, having in this work ten different adhesives been tested with distinct structures and chemical compositions, to guarantee high adhesion and excellent wear and tear resistance.

The study enabled the analysis of the thermal and mechanical properties of the materials used, in order to guarantee reliability and the necessary mechanical resistance.

In regards to the creation of the sensor itself, an industrial method based on a continuous process has been tested, to allow reproducibility and optimization of production. The bonding of the materials was completed by a laminating process by the use of rotating calander (rolling machine).

The behaviour of the sensors was evaluated through an integrated process, involving the analysis of force applied on the sensor and relating this to the sensor's reaction, in order to verify the reliability, sensitivity and linearity of the sensor.

After identifying the thermal adhesive with the best adhesion results – thermal adhesive 6388.003, a laser cut with different structures was performed to evaluate an ideal structure. Given that the adhesive is an electric isolator, it was necessary to produce a cut pattern to allow electrical contact between the sensor's material layers.

It was found that the thermal adhesive 6388.003 cut with pattern G, with a diameter with 0.3 cm and a free surface of 59% provides better results than other tested forms. Regarding resistance of adhesion, thermal adhesive 6388.003 presents 87% higher adherence than others thermal adhesive tested.

Based on the results, the piezoelectric textile sensor that offer the best electromechanical behaviour and characteristics is the sandwich with conductive fabric *Statex*, piezoresistive polymeric film *Linqstat* and adhesive 6388.003 structure G.

Keywords: e-textiles; sports; textile sensors, conductive materials, piezoresistive materials, thermo-adhesives; polyolefins.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABELAS	xii
ABREVIACÕES E SIGLAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	4
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1. Têxteis inteligentes.....	6
2.2. Sensores têxteis.....	11
2.2.1. Sensores de pressão capacitivos.....	12
2.2.2. Sensores de pressão piezoresistivos.....	14
2.2.3. Desempenho Eletromecânico.....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Composição do sensor têxtil piezoresistivo.....	24
3.1.1. Tecido condutor.....	25
3.1.2. Filme polimérico piezoresistivo.....	25
3.1.3. Filme termoadesivo	26
3.2. Construção e camadas do sensor têxtil.....	26
3.3. Processo de laminagem	27
3.3.1. Ensaio termográfico – Calandra	29
3.3.2. Ensaio de resistência ao desprendimento.....	31
3.4. Caracterização e análise dos materiais	32
3.4.1. Calorimetria diferencial de varrimento – DSC.....	32

3.4.2.	Microscopia Eletrónica de Varrimento – SEM	33
3.4.3.	Microscopia ótica.....	35
3.4.4.	Ensaio de compressão	35
3.4.5.	Aquisição de dados - DAQ	38
3.4.6.	Agregação dos dados Força e Tensão	40
3.4.7.	Multímetro.....	43
3.5.	Ensaio de Modificação dos materiais.....	43
3.5.1.	Tratamento plasmático	44
3.5.2.	Recorte a laser	46
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	48
4.1.	Construção do sensor e comparação dos termoadesivos	49
4.1.1.	Adaptação da superfície do filme piezoresistivo	50
4.1.2.	Apreciação qualitativa dos termoadesivos.....	53
4.2.	Experiências com o termoadesivo 311.....	54
4.3.	Novo material termoadesivo 6388.003.....	56
4.4.	Comparação dos termoadesivos 311 e 6388.003	57
4.4.1.	Análise térmica dos materiais dos sensores – DSC.....	58
4.4.2.	Análise micro estrutural dos sensores – SEM	61
4.4.3.	Adaptação estrutural do termoadesivo 6388.003 <i>film</i>	65
4.4.4.	Testes finais para validação da perfuração a utilizar	67
4.4.5.	Análise da resistência ao desprendimento	81
4.5.	Composição do sensor piezoresistivo selecionado.....	86
5.	CONCLUSÕES	87
6.	BIBLIOGRAFIA	90

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1 Exemplos da aplicação de sensores têxteis no desporto.....</i>	<i>2</i>
<i>Fig. 2 Diferentes técnicas de produzir e aplicação de tecnologias nos têxteis:</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 3 Componentes eletrónicos utilizados nos e-têxteis:.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 4 Sensores capacitivos por impressão.....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 5 Sensor capacitivo que permite reconhecer gestos.....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 6 Sensor desenvolvido para avaliação postural.</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 7 Desenvolvimento de casaco com sensores piezoresistivos.</i>	<i>15</i>
<i>Fig. 8 Sensor para sensibilidade respiratória.</i>	<i>15</i>
<i>Fig. 9 Sensor de pressão desenvolvido que monitoriza a pressão sanguínea.....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 10 Nanofibra têxtil de alta sensibilidade.</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 11 Exemplo de sensores de pressão piezoresistivos.</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 12 Desenvolvimento e preparação de sensores de pressão:.....</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 13 Sensor têxtil com termoplástico.....</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 14 Luva que monitoriza a pressão das falanges.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 15 Materiais têxteis condutores utilizados:.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 16 Sensor desenvolvido com multicamada de filme piezoresistivo e adesivo.</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 17 Estruturas possíveis de termoadesivos.</i>	<i>21</i>
<i>Fig. 18 Exemplo de um gráfico de histerese sobre um material polimérico (tensão-deformação).</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 19 Materiais utilizados na construção do sensor piezoresistivo (acervo do autor).....</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 20 Sensor de pressão têxtil piezoresistivo (acervo do autor).</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 21 Esquema de construção de sensor (acervo do autor).....</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 22 Funcionamento de uma calandra de laminagem.</i>	<i>28</i>
<i>Fig. 23 Calandra HataPress HT-CPI 1242.....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 24 Ensaio termográfico - Calandra a 90°C (acervo do autor).</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 25 Ensaio termográfico - Calandra a 100°C (acervo do autor).</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 26 Ensaio termográfico - Calandra a 110°C (acervo do autor).</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 27 Equipamento de caracterização térmica dos materiais – DSC.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 28 Equipamento de Microscopia Eletrónica de Varrimento - SEM.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 29 Legenda do corte transversal do sensor têxtil obtida no SEM (acervo do autor).</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 30 Provetes analisados no SEM (acervo do autor).</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 31 Microscópio binocular Leica S8 APO.</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 32 Curva típica de um ensaio de compressão.</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 33 Equipamento de teste - Dinamómetro Hounsfield H10KS com câmara climática HENV (acervo do autor).</i>	<i>37</i>

<i>Fig. 34 Placa de aquisição de dados NI USB 6229 (acervo do autor).....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 35 Esquema de circuito de condicionamento para sensores piezoresistivos com amplificador de sinal.</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 36 Ambiente de trabalho do software SensorSignalAcquisition.exe (acervo do autor)</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 37 Ambiente de trabalho do software DynamometerConvertAndSynch.exe (acervo do autor)</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 38 Exemplo de gráfico referente à variação da Tensão em função do tempo (acervo do autor)</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 39 Exemplo de gráfico referente à variação da Tensão em função da Força (acervo do autor)</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 40 Exemplo de gráfico referente à variação da amplitude da tensão (acervo do autor).....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 41 Setup de montagem para a realização de ensaios piezoresistivos - Força + Tensão (acervo do autor) ...</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 42 Estados físicos da matéria.</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 43 Equipamento DBD - Tratamento plasmático (acervo do autor)</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 44 Parâmetros de potência DBD (acervo do autor)</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 45 Parâmetros de velocidade DBD (acervo do autor)</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 46 Recorte a laser do termoadesivo (acervo do autor).....</i>	<i>47</i>
<i>Fig. 47 Cronograma de resultados (acervo do autor)</i>	<i>48</i>
<i>Fig. 48 Apresentação de variáveis (acervo do autor).....</i>	<i>49</i>
<i>Fig. 49 Processo de laminagem (acervo do autor).....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 50 Tratamento plasmático sobre Linqstat (acervo do autor).....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 51 Provetes de sensor têxtil 4x4cm (acervo do autor).....</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 52 DSC tecido condutor (acervo do autor)</i>	<i>59</i>
<i>Fig. 53 DSC filme polimérico piezoresistivo (acervo do autor)</i>	<i>59</i>
<i>Fig. 54 DSC termoadesivo 6388.003 (acervo do autor).....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 55 DSC termoadesivo 311net (acervo do autor)</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 56 Comparação do sensor laminado com os termoadesivos testados</i>	<i>63</i>
<i>Fig. 57 Tecido condutor não laminado (acervo do autor)</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 58 Tecido condutor laminado com cola à superfície (acervo do autor).....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 59 Provetes modificados do termoadesivo 6388.003net (acervo do autor).....</i>	<i>67</i>
<i>Fig. 60 Provetes modificados do termoadesivo 6388.003net – Estrutura F e G (acervo do autor).....</i>	<i>77</i>
<i>Fig. 61 Provetes testados no ensaio de desprendimento (acervo do autor).....</i>	<i>82</i>
<i>Fig. 62 Resultados obtidos no ensaio de desprendimento (acervo do autor).....</i>	<i>83</i>
<i>Fig. 63 Ensaio desprendimento 311net (acervo do autor).....</i>	<i>84</i>
<i>Fig. 64 Ensaio desprendimento 6388.003net (acervo do autor)</i>	<i>85</i>
<i>Fig. 65 Comparação de resultado entre termoadesivo 311net e 6388.003net (acervo do autor)</i>	<i>85</i>
<i>Fig. 66 Sensor têxtil piezoresistivo final (acervo do autor)</i>	<i>86</i>

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Estrutura da dissertação.....	4
Tabela 2 Tecnologias inteligentes relacionando o estímulo com a resposta (Wen, 1992).....	7
Tabela 3 Comparação de vários métodos de produção (Gonçalves et al., 2018).....	9
Tabela 4 Valores de referência considerados para o Gauge Factor (Correia, 2013; Carvalho, 2014).....	22
Tabela 5 Características de tecido condutor.....	25
Tabela 6 Características de filme piezoresistivo.....	25
Tabela 7 Características de termoadesivos.....	26
Tabela 8 Sequência de montagem de composição do sensor têxtil.....	27
Tabela 9 Índice de materiais utilizados no sensor.....	34
Tabela 10 Parâmetros no dinamómetro para a realização dos ensaios de compressão.....	37
Tabela 11 Resultados SEM - Linqstat com e sem tratamento plasmático.....	52
Tabela 12 Condições de laminagem - 1ª fase.....	53
Tabela 13 Resultados de provetes sem tratamento plasmático (AQ).....	53
Tabela 14 Resultados de provetes com tratamento plasmático (AQ).....	54
Tabela 15 Condições de laminagem - termoadesivo 311.....	55
Tabela 16 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão - 311.....	55
Tabela 17 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - Etapa 311.....	55
Tabela 18 Resultados eletromecânicos ao sensor com termoadesivo 311net.....	56
Tabela 19 Condições de laminagem – Comparação de termoadesivos 311 e 6388.003.....	57
Tabela 20 Comparação dos termoadesivos 311 e 6388.003.....	57
Tabela 21 Resultados gerais da temperatura de fusão dos materiais.....	61
Tabela 22 Corte transversal do sensor têxtil.....	62
Tabela 23 Dimensões de corte e área obtidas no recorte a laser.....	66
Tabela 24 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net.....	68
Tabela 25 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net.....	68
Tabela 26 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A).....	69
Tabela 27 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 1,5cm (B).....	70
Tabela 28 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 1cm (C).....	71
Tabela 29 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 0,75cm (D).....	72
Tabela 30 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 0,5cm (E).....	73
Tabela 31 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net (Estrutura A).....	74
Tabela 32 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net (Estrutura A).....	74

Tabela 33 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A) – 10 ciclos.....	75
Tabela 34 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A) – 100 ciclos.....	76
Tabela 35 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net (Estrutura F e G).	78
Tabela 36 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net (Estrutura F e G).	78
Tabela 37 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura F – 100 ciclos.....	79
Tabela 38 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura G – 100 ciclos.	80
Tabela 39 Parâmetros do ensaio de desprendimento.	82
Tabela 40 Resultados médios obtidos no ensaio de desprendimento.	83

ABREVIACOES E SIGLAS

DSC - Calorimetria diferencial de varrimento (*Differential scanning calorimetry*)

DBD – Descarga plasmática de barreira dielétrica (*Dielectric barrier discharge*)

DAQ – Aquisição de dados por placa (National Instruments)

T_g – Transição vítrea

T_m – Temperatura de fusão

G/m² – Massa por unidade de superfície

SEM - Microscopia Eletrnica de Varrimento

Nm – Nanométrica

N - Newton

Vs - versus

Ω - Unidade SI de resistência elétrica (Ohm)

S – Unidade SI de tempo (segundo)

GF – Deformação mecânica (*Gauge Factor*)

ASTM – Sociedade Americana de Ensaio e Materiais (*American Society for Testing and Materials*)

ISO - Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*)

1. INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo explica qual o âmbito de estudo deste trabalho de investigação, assim como os objetivos propostos e a motivação para a elaboração do mesmo. Apresenta-se também a estrutura da dissertação e qual a metodologia de investigação aplicada.

A indústria têxtil ao longo do seu percurso tem vindo a sofrer inúmeras transformações. Com a quarta revolução industrial (*Indústria 4.0*), associada à necessidade de evolução tecnológica, computação e automação torna-se importante que o têxtil acompanhe a evolução e as exigências da sociedade, sendo por isso necessário inovar e desenvolver produtos têxteis capazes de maior utilidade e funcionalidade para o Homem.

Esta revolução tecnológica passa pelo desenvolvimento de têxteis técnicos e funcionais (*wearable*) e abre portas para muitas aplicações interessantes, em que o impacto económico potencial é enorme, levando a grandes oportunidades tanto para as indústrias têxteis como para as eletrónicas, pois cada um destes setores gera individualmente cerca de 450 biliões de dólares no comércio mundial (Baxter *et al.*, 2008).

Neste sentido, os denominados têxteis inteligentes vêm impulsionar a indústria têxtil, oferecendo um novo fator estratégico de competitividade com produtos de valor acrescentado, pois em termos socioeconómicos é sinónimo de abertura de novos mercados.

Esta evolução permite às empresas têxteis diferenciação e posicionamento em mercados mais rentáveis, com a atração de novos clientes que procuram produtos diferenciadores e evoluídos tecnologicamente.

Dia após dia, surgem produtos inovadores no mercado com várias funcionalidades, como a regulação de temperatura, luminescência, toque e sensibilidade, podendo estas atuar sobre diversas áreas de aplicação, tais como: moda, saúde, desporto, automóvel, proteção pessoal, construção, exploração espacial e jogos.

A miniaturização de circuitos eletrónicos permite a incorporação contínua de funcionalidades, mantendo o interesse dos clientes no mercado dos têxteis inteligentes (Castano and Flatau, 2014; Wang *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2018).

⁽¹⁾ *Wearable* - tecnologias vestíveis, que consistem em dispositivos tecnológicos que podem ser utilizadas como peças do vestuário.

1.1. MOTIVAÇÃO

Neste trabalho de investigação pretende-se agrupar duas áreas como o desporto e a tecnologia, aplicada ao vestuário e/ou componentes têxteis, que se apresenta como uma motivação adicional, uma vez que se considera a prática desportiva uma influência para um melhor estilo de vida, prevenindo doenças físicas, cardiovasculares e mentais, melhorando a autoestima, concentração e reduzindo o stress e a ansiedade (Cunha, 2017).

Por outro lado, a componente tecnológica, com infindáveis recursos e utilidades permite facilitar as tarefas do dia-a-dia, tanto a nível pessoal como profissional, como por exemplo, a execução de tarefas com maior rapidez, facilidade e rigor.

Assim, pretende-se nesta investigação criar um produto têxtil tecnologicamente desenvolvido, capaz de se adaptar às necessidades de quem o utiliza na prática desportiva.

1.2. OBJETIVOS

Este estudo tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sensor têxtil flexível de pressão piezoresistivo, para utilização na prática desportiva.

Ao ser possível o seu desenvolvimento, por inovação incremental de produtos já existentes, pretende-se avaliar e estudar quais os materiais mais apropriados à construção do sensor de pressão e identificar o melhor método de união de todos os componentes necessários à construção deste, para que seja capaz de transmitir informação adequada ao seu âmbito de aplicação.

Apesar de existirem vários campos de aplicação do sensor de pressão (Fig. 1), este estudo basear-se-á no segmento de artes marciais, em que se pretende aplicar um sensor de pressão envolvido a um saco de boxe, para quantificar a força aplicada de um atleta quando este bate no saco, avaliar a dinâmica e o desempenho do atleta, e verificar também a evolução do rendimento treino após treino.

Pretende-se com este estudo otimizar o sensor têxtil, quer em pequena ou grande escala, e garantir que o sinal detetado seja regular e consistente por toda a superfície de leitura, e verificar as suas limitações.

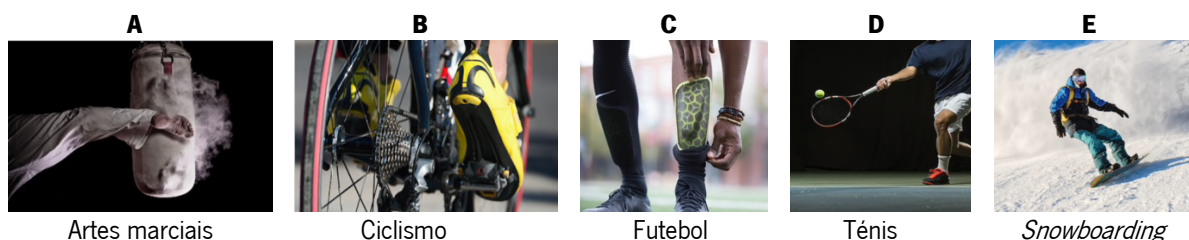


Fig. 1 Exemplos da aplicação de sensores têxteis no desporto.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho de investigação, é essencialmente a componente empírica, através da exploração de conhecimento a nível bibliográfico, ensaios laboratoriais e testes experimentais.

Mais concretamente, este trabalho estende-se pelas seguintes fases:

Estudo preliminar:

- Exploração de conhecimentos e conceitos teóricos;
- Revisão de literatura;
- Identificação, seleção e preparação de materiais;
- Formulação de hipóteses.

Prática laboratorial:

- Caracterização de materiais;
- Caracterização do sensor;
- Ensaios laboratoriais;
- Construção de sensores.

Análise de resultados:

- Recolha de dados obtidos na fase anterior;
- Comparação de resultados;
- Avaliação e discussão de resultados.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A Tabela 1 apresenta a estrutura da dissertação, de acordo como foi desenvolvida e é composta por 5 capítulos.

Tabela 1 Estrutura da dissertação.

Capítulos	Informação resumida
I Introdução	O primeiro capítulo, enquadra o tema e identifica os objetivos principais para este trabalho.
II Enquadramento teórico	O segundo capítulo é dedicado à revisão da literatura, constatação do estado da arte atual e estudo de conceitos e conhecimentos sobre os sensores de pressão têxteis. A pesquisa bibliográfica baseou-se nos desenvolvimentos atuais, nos materiais utilizados, nas técnicas de construção e nos equipamentos necessários à produção do mesmo.
III Materiais e Métodos	No terceiro capítulo, apresenta-se os materiais e respetivas caracterizações, a metodologia e os equipamentos utilizados.
IV Materiais e Métodos	No quarto capítulo, são realizados e documentados os ensaios laboratoriais. É composto pela discussão de resultados através de gráficos e tabelas. Neste capítulo, inserem-se também as conclusões prévias sobre os ensaios concretizados.
V Conclusão	No quinto capítulo, apresentam-se as conclusões finais da investigação e futuras perspetivas.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Os têxteis multifuncionais oferecem à indústria têxtil tradicional um valor acrescentado, garantindo uma vida quotidiana mais saudável, segura e mais confortável.

Os têxteis são excelentes *interfaces* para a deteção de sinais biológicos, uma vez que poderão ser flexíveis, elásticos e de fácil adaptação ao corpo, que não podem ser alcançados em outras técnicas de produção eletrónica existentes (Stoppa and Chiolerio, 2014). Sendo usados diariamente e em todas as circunstâncias, torna-os uma solução interessante de monitorização da saúde, contínua e omnipresente (Baxter *et al.*, 2008; Lage *et al.*, 2015). Isto só poderá ser possível aliando tecnologias avançadas de microprodução, conhecimento em engenharia têxtil e eletrónica, conhecimento alargado em materiais para a produção de roupas inteligentes, com carácter inovador, que integrem funções sensoriais, dinâmicas, eletrónicas e elétricas.

A produção destes têxteis interativos representa um procedimento importante para promover o progresso, o desenvolvimento sustentável e a competitividade em várias valências, tais como (Baxter *et al.*, 2008):

- Monitorização da saúde - deteção e prevenção de doenças;
- Reabilitação terapêutica;
- Assistência à saúde - melhorias para uma maior qualidade de vida;
- Medicina desportiva - avaliação do desempenho para evitar lesões e melhorar as técnicas de treino;
- Telemedicina - suporte aos profissionais de saúde.

Por outro lado, estes têxteis interativos podem também ser empregues em outro tipo de mercado, como por exemplo (Baxter *et al.*, 2008):

- Sistemas de comunicação sem fios vestíveis;
- Sistemas de localização de pessoas;
- Ergonomia - conforto e segurança;
- Realidade virtual - simulação de treino e entretenimento.

No que diz respeito à melhoria do desempenho desportivo, a inovação incremental dos produtos têxteis com a adição de componentes eletrónicos tem o objetivo de aumentar a eficácia e o rendimento desportiva do atleta, monitorizar a sua prestação vital, avaliar a progressão técnica e também apoiar na tomada de decisão num determinado momento desportivo, estando intimamente relacionado com a

metodologia de treino, bem-estar e o estado de saúde do atleta, especialmente em desportos altamente competitivos, rítmicos e cíclicos (M. Silva *et al.*, 2009).

No entanto, a introdução da tecnologia omnipresente em equipamentos desportivos deve ser validada e aprovada por todas as partes interessadas no âmbito desportivo, devendo ter em conta questões de aceitação social, incluindo a perceção dos jogadores sobre a justiça e as mudanças nas regras. Assim, esta evolução não deverá alterar esteticamente e mecanicamente o equipamento existente (Chi, 2005).

2.1. TÊXTEIS INTELIGENTES

O termo “Têxteis inteligentes”, “*Smart-textiles*” ou “e-têxteis” refere-se a um amplo campo de estudos e produtos que ampliam a funcionalidade e a utilidade dos têxteis comuns, que através de fibras, filamentos, estruturas tecidas, tricotadas ou não tecidas, podem interagir com o ambiente e com o utilizador, proporcionando melhor experiência, aumento do conforto e da mobilidade.

A junção dos têxteis com a eletrónica (e-têxteis) pode ser relevante para o desenvolvimento de materiais inteligentes capazes de realizar um amplo espectro de funções, encontradas atualmente em produtos eletrónicos rígidos e não flexíveis. Os têxteis inteligentes servirão como um meio de aumentar o bem-estar social e podem levar a importantes economias no orçamento do bem-estar (Stoppa and Chiolerio, 2014).

Estes integram um alto nível de inteligência e podem ser divididos em três subgrupos (Stoppa and Chiolerio, 2014; Wang et al., 2014):

Têxteis inteligentes passivos - capazes de sentir estímulos ou condições ambientais através de sensores;

Têxteis inteligentes ativos - detetam e reagem perante estímulos do ambiente, integrando funções de atuação e de deteção, produzindo reação ao estímulo;

Têxteis muito inteligentes - Mais complexos que os anteriores, estes são capazes de sentir, reagir e adaptar o seu comportamento de acordo com as circunstâncias.

Por definição, estes materiais podem mudar as suas propriedades mecânicas (forma, dureza, viscosidade) ou propriedades térmicas, óticas, eletromagnéticas, de forma previsível e controlada, para produzir uma resposta ao meio que os envolve. Podem ser incluídos neste conceito, materiais que executam funções de deteção e atuação, piezoelétricos, elétricos, magnéticos ou materiais com memória de forma (Wang et al., 2014).

Enquadramento teórico

Os e-têxteis são aqueles que possuem uma ou mais propriedades, que podem registar mudanças devido a um estímulo. A Tabela 2, mostra a relação entre o efeito físico e o princípio teórico do dispositivo sensorial aplicado, através de estímulos de origem mecânica, vapor, temperatura, ph, sinal elétrico, magnético entre outros (Wen, 1992).

Tabela 2 Tecnologias inteligentes relacionando o estímulo com a resposta (Wen, 1992).

		Resposta				
		Elétrica	Magnética	Ótica	Térmica	Mecânica
Estímulo	Elétrico			Eletrocromicos Eletrolumiescente Eletro ótico	Termoelétrico	Piezoelétrico Fluido dielétrico Eletro reológico
	Magnético			Magneto ótico		Fluido magneto Reológico Magnetostritivo
	Ótico	Fotocondutor		Fotocromico		
	Térmico			Termo crómico Termoluminescente	PCM	Memória de forma
	Mecânico	Piezoelétrico Piezoresistivo	Magnetoestitivo	Mecanicocromico		Auxéticos

Logo, é importante perceber as funções fundamentais que podem ser encontradas num têxtil inteligente, sendo estas a (Wang et al., 2014):

Sensorização – O material capta um estímulo em que o substrato têxtil (fibra/fio) recolhe e transmite a informação detetada;

Processamento de dados – Este obriga à integração de componentes eletrónicos pois os materiais têxteis ainda não processam dados. No entanto, a miniaturização de componentes eletrónicos vem auxiliar a integração desta função. Porém a resistência à água deste tipo de componentes é o grande obstáculo a ser ultrapassado;

Atuação – A função principal é responder ao impulso que é captado pelo sensor. Um atuador realiza uma atividade, provoca uma resposta, move elementos, liberta substâncias ou produz um impulso sonoro. Um exemplo, são os materiais com memória de forma, que mudam a sua estrutura em função da temperatura;

Armazenamento – O armazenamento de energia é uma função que pode ser essencial para as funções anteriores quando abastecidas com energia. Muitas investigações têm sido realizadas neste campo, existindo já soluções que produzem energia a partir do calor corporal, pela ação mecânica das roupas ou ainda por radiação solar.

Comunicação – A comunicação entre as várias funções de um e-têxtil, pode ocorrer a vários níveis, entre o utilizador e o produto têxtil e também no sentido inverso.

Para introduzir estas funções inteligentes no material têxtil, é necessário um campo de pesquisa multidisciplinar e abrangente, com conhecimento necessário em têxtil, materiais, polímeros, eletrónica, mecânica, e engenharia de computadores (Gonçalves *et al.*, 2018).

Assim, os e-têxteis podem ser produzidos com diferentes materiais utilizando métodos de produção distintos, como por exemplo, através de bordados, costura, têxteis não tecidos, tricotagem, tecelagem, fiação, entrançados, revestimento, impressão direta e acabamentos funcionais (Fig. 2) (Stoppa and Chiolerio, 2014).

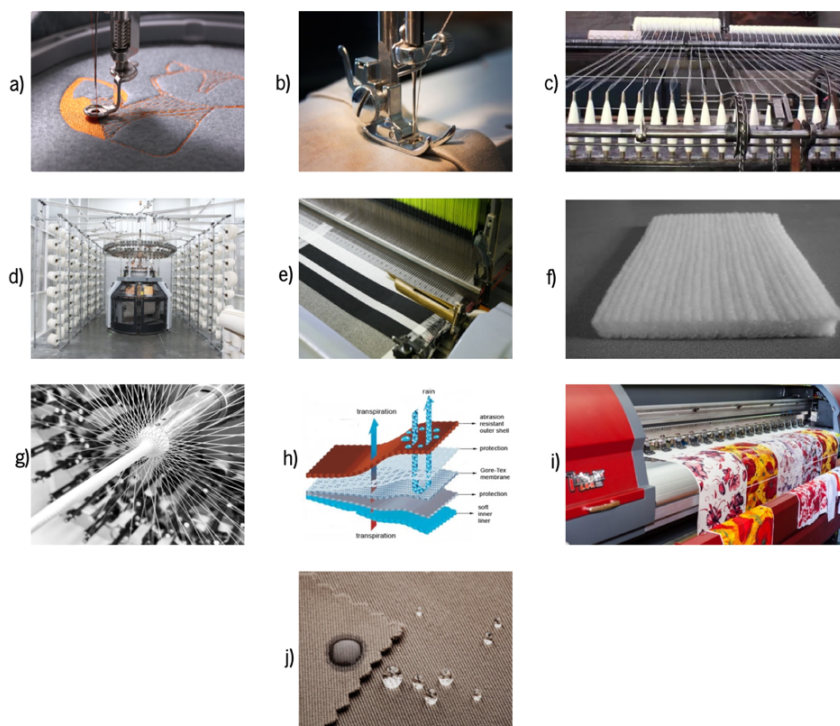


Fig. 2 Diferentes técnicas de produzir e aplicação de tecnologias nos têxteis: a) bordados, b) costura, c) fiação, d) tricotagem, e) tecelagem, f) têxteis não tecidos, g) entrançados, h) revestimento, i) impressão direta e j) acabamentos funcionais.

No entanto, e de acordo com a Tabela 3, é possível verificar qualitativamente as técnicas de produção, sendo que existem limitações a nível económico, de complexidade e de resistência (Gonçalves *et al.*, 2018).

Tabela 3 Comparação de vários métodos de produção (Gonçalves et al., 2018).

Técnica de produção do E-têxteis	Aquisição de equipamentos produtivos	Aquisição do material	Complexidade de processo produtivo	Resistência e garantia ao desgaste
<i>Bordados</i>	Elevado	Baixo	Elevado	Elevado
<i>Costura</i>	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado
<i>Fiação</i>	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
<i>Tricotagem</i>	Baixo	Elevado	Elevado	Baixo
<i>Tecelagem</i>	Baixo	Elevado	Elevado	Elevado
<i>Não tecidos</i>	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
<i>Entrançados</i>	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado
<i>Revestimentos</i>	Elevado	Baixo	Baixo	Baixo
<i>Impressão</i>	Elevado	Elevado	Baixo	Baixo
<i>Acabamentos funcionais</i>	Elevado	Baixo	Baixo	Baixo

Por outro lado, a conexão do têxtil aos componentes eletrónicos é efetuada por elementos eletrónicos, como por exemplo, elétrodos, processadores de informação, circuitos, conetores, e interconetores, unidades de comunicação e fornecedores de energia (Gonçalves *et al.*, 2018; Koncar, 2019).

A Fig. 3, apresenta alguns exemplos de componentes utilizados para a produção de e-têxteis.

Enquadramento teórico

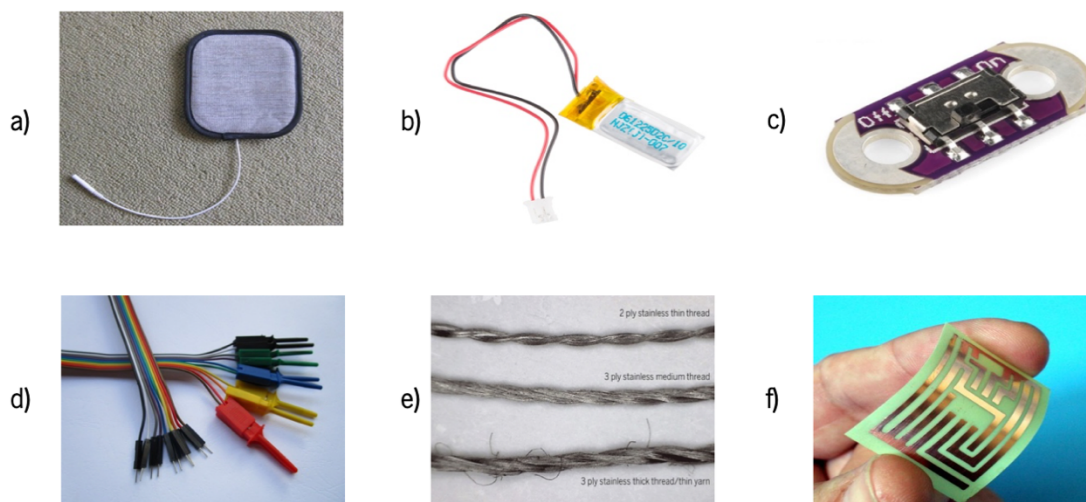


Fig. 3 Componentes eletrônicos utilizados nos e-têxteis: a) elétrodos, b) baterias, c) Módulos eletrônicos costuráveis (Lilypad) d) conectores, e) fios condutores, f) placa de circuito flexível.

As principais formas de ligações para os conectores e para as interconexões podem ser mecânicas e físicas, sendo que as conexões mecânicas são feitas através de encaixes que são pressionados diretamente no sistema e normalmente são produzidas quando é necessário desconectar algum módulo elétrico nos e-têxteis. Porém as conexões físicas podem ser realizadas através de microsoldadura, adesão termoplástica, adesão polimérica, solda de juntas e galvanoplastia. As conexões físicas são feitas quando há necessidade de uma conexão permanente (Gonçalves *et al.*, 2018).

Podem-se produzir vários tipos de produtos têxteis, fruto de combinações destes materiais. No entanto, os e-têxteis por vezes apresentam produtos que contêm cabos elétricos convencionais, componentes eletrônicos e conectores especiais não laváveis, pouco confortáveis e flexíveis, e sabendo que os humanos estão habituados a utilizar têxteis confortáveis, maneáveis e flexíveis, estes apresentam um fator negativo para a sua comercialização, sendo que os primeiros esforços visam em usar os próprios tecidos para funções eletrônicas (Suganuma et al., 2000; Stoppa and Chiolerio, 2014).

Os e-têxteis têm um desafio grande pela frente e em vários campos de aplicação, como a componente médica, desportiva, artística, militar e aeroespacial (Castano and Flatau, 2014). Neste sentido vários organismos, como o governo, universidades, polos de investigação e empresas privadas, estão a unir esforços para inovar e introduzir a tecnologia nos têxteis. Um exemplo disto é a intenção da União Europeia promover a investigação e o desenvolvimento de materiais e estruturas têxteis inteligentes, recorrendo a processos e tecnologias emergentes para obter proteção, conforto, ergonomia e eletrónica vestível através de programas financiados pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, cofinanciado pelo Programa Operacional COMPETE 2020 (Compete 2020, 2020).

2.2. SENSORES TÊXTEIS

Vários estudos sobre o desenvolvimento de sensores têxteis e as suas características físicas foram realizados nos últimos anos, em que incidem em sensores de temperatura flexíveis, piezoresistividade, de indução eletromagnéticos e de pressão (Pizarro *et al.*, 2018).

O sensor é definido como um dispositivo que fornece informações acerca de variáveis do mundo real, frequentemente através de um sinal elétrico e sendo a maioria dos sinais transmitidos pela componente elétrica, a maneira mais eficaz de criar um sensor têxtil é utilizar materiais condutores.

Existem inúmeros exemplos de sensores para aplicação nos e-têxteis como os químicos, bio-sensores, capacitivos, resistivos e óticos, permitindo que estes detetem, como já referido anteriormente, o toque, a tensão, a pressão, a temperatura e a humidade (Patel *et al.*, 2012; Weaving, 2012; Koncar, 2019).

A incorporação dos sensores no produto têxtil é dividida em dois grupos específicos (Koncar, 2019):

- Sensores removíveis, desenvolvidos para aplicações de vestuário como velcros, fechos ou costura;
- Sensores fixos, para aplicações técnicas têxteis como a tecelagem, tricotagem, laminagem, nanofibras, tingimento, impressão e revestimento.

Os sensores de pressão flexíveis estão dotados de alta sensibilidade, ampla variação de pressão e rápida resposta, sendo que os mais utilizados são piezoresistivos (Koncar, 2019).

Estes despertam o interesse generalizado no desenvolvimento de dispositivos vestíveis, interação homem-máquina e sistemas de saúde (Xiong *et al.*, 2019), agregado à facilidade de produção, pois podem ser feitos de diferentes materiais condutores, utilizando distintas técnicas de produção (Castano and Flatau, 2014). São habitualmente utilizados como interruptores e dispositivos eletrónicos para monitorizar sinais vitais do utilizador (Koncar, 2019).

Existe já uma variedade de dispositivos sensoriais e de *output* nos e-têxteis utilizando botões sensíveis ao toque (Veltink and De Rossi, 2010), sensores de pressão (Helmer *et al.*, 2012), identificação por radiofrequência ou sensores de bio-sinais (por exemplo eletrocardiografia) em vários têxteis como meias eletrónicas ou sutiãs desportivos (Tognetti *et al.*, 2014).

Especificamente, os sensores de pressão têm diferentes formas de medir a variação de pressão (Lin and Seet, 2015). Estes sensores podem ser avaliados por alterações capacitivas ou resistivas, em que

um polímero piezoelétrico converte uma força aplicada numa tensão elétrica e por outro lado um polímero piezoresistivo converte uma força aplicada numa variação da resistência elétrica (Lin and Seet, 2015).

Os sensores piezoelétricos são capazes de transformar energia mecânica em elétrica ou o oposto (Souza and Ribeiro, 2013).

Para a produção de sensores têxteis, a utilização de polímeros piezoelétricos e os piezoresistivos são amplamente utilizados (Pizarro *et al.*, 2018).

2.2.1. Sensores de pressão capacitivos

Os sensores de pressão capacitivos, geralmente, são desenvolvidos para utilização de aplicativos de pressão ou tátil, tendo sido já testados vários materiais e estruturas em tecidos. São constituídos por materiais condutores compatíveis, que atuam como placas condutoras e com um elemento dielétrico que separa os dois elétrodos (Castano and Flatau, 2014).

Os materiais condutores podem ser malhas, tecidos, costurados e bordados com fios condutores, pintados ou impressos. Os sensores capacitivos podem ser produzidos através de fios condutores, tintas condutoras, filmes poliméricos, tecidos condutores, tecidos condutores impregnados com prata ou através de fibras de poliamida com acabamento *PEDOT* (Gonçalves *et al.*, 2018). O acabamento com *PEDOT* é uma forma de melhorar a condutividade elétrica de um material têxtil, como por exemplo as fibras de poliamida (Ding, Invernale and Sotzing, 2010).

Por outro lado, os materiais dielétricos utilizados são tipicamente espumas sintéticas, malhas *spacers* (3D) ou polímeros (Castano and Flatau, 2014).

Na forma mais primitiva podem ser aplicados num substrato têxtil condensadores convencionais ou outros componentes eletrónicos através de costura, cola ou solda. Porém, *Castano and Flatau* desenvolveram sensores capacitivos intrínsecos à construção do tecido (Castano and Flatau, 2014).

Noutro estudo o autor integrou sensores capacitivos num tecido de poliéster, numa amostra com 10m de comprimento, que através de impressão de jato de tinta imprimiu elétrodos de prata sob uma camada de *Parileno* que atua como um dielétrico (Fig. 4). Este foi impresso dos dois lados do tecido para uma cobertura total do substrato (Vásquez Quintero *et al.*, 2015).

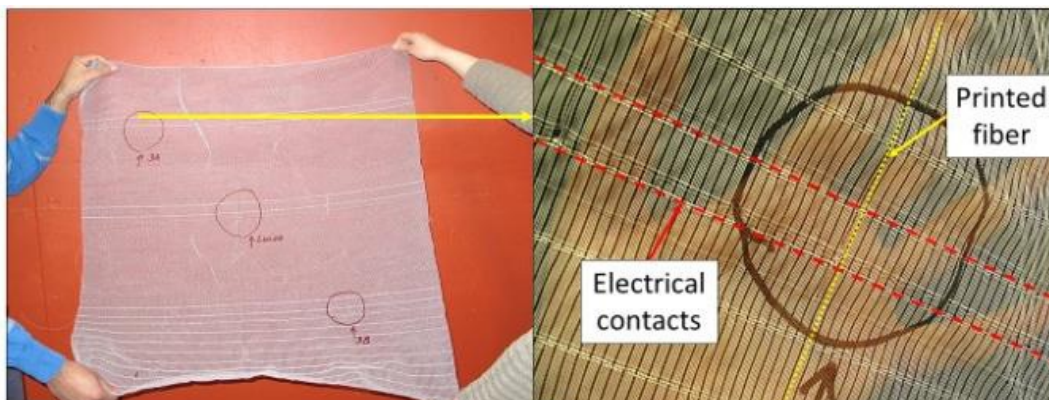


Fig. 4 Sensores capacitivos por impressão.

Os sensores capacitivos podem ser utilizados nos e-têxteis também para melhorar o dia-a-dia de pessoas com dificuldade motora, como por exemplo, a paralisia. Esta investigação desenvolveu um teclado sensorial cosido em tecido *denim* com utilização de fios condutores (Fig. 5), que permite reconhecer gestos, de modo a que estes possam produzir interação com determinadas funções no seu ambiente (Nelson et al., 2015).

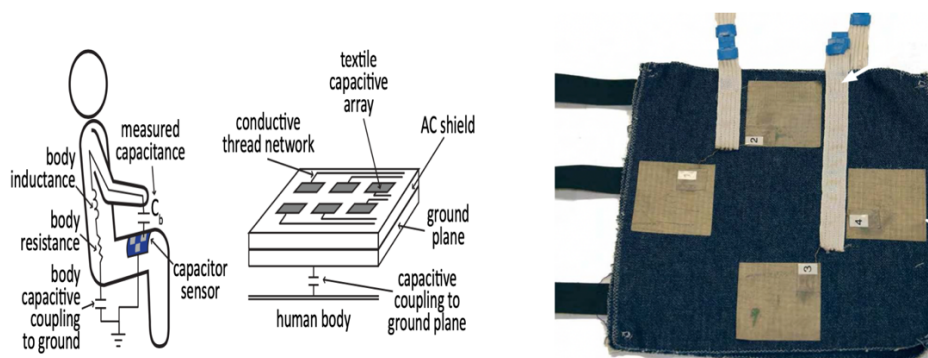


Fig. 5 Sensor capacitivo que permite reconhecer gestos.

O funcionamento de um sensor de pressão capacitivo é relativo à sua capacitância, dependendo da área de dois condutores paralelos, do material dielétrico e da distância entre os condutores (elétrodos). Mantendo a mesma área dos elétrodos paralelos, a distância entre os condutores é inversamente proporcional ao valor da capacitância, por exemplo, quando a distância entre os condutores aumenta, a capacitância desce (Gonçalves et al., 2018).

Os sensores capacitivos trabalham com o princípio da mudança de capacitância devido à perturbação nos campos elétricos entre as placas condutoras, tornando os sensores têxteis capacitivos altamente versáteis e aplicáveis a vários tipos de utilização diária (Nelson et al., 2015).

Para fins médicos, o autor Meyer et al., desenvolveram um sensor de pressão capaz de avaliar a distribuição de pressão no corpo de um ser humano em posição de sentado (Fig. 6). Útil para aplicações

médicas, no que concerne à supervisão postural, prevenção de doenças, avaliação de atividade muscular e controlo de pressão. Utiliza elétrodos condutores bordados com fios têxteis com revestimento de prata, uma malha de compressão *spacer* com fibras poliéster onde a espessura varia em função da pressão (Meyer *et al.*, 2010).



Fig. 6 Sensor desenvolvido para avaliação postural.

2.2.2. Sensores de pressão piezoresistivos

A correlação entre a pressão e a resistência elétrica é outra forma de construir sensores de pressão têxteis. Os sensores desenvolvidos com materiais piezoresistivos são sensíveis a frequências muito baixas, como as induzidas por forças promovidas pelo corpo humano (Lin and Seet, 2015).

O princípio de funcionamento de um sensor de pressão resistiva é baseado numa resistência elétrica que varia quando o material resistivo é comprimido ou esticado.

De acordo com a *Lei de Ohm* ($V = R.I$), para uma determinada corrente elétrica, uma resistência maior faz com que a tensão de saída aumente. Desta forma, o alongamento ou a compressão pode ser correlacionado com a tensão detetada, em que a localização da pressão aplicada a um substrato pode ser identificada pela variação da resistência (Castano and Flatau, 2014).

A conjugação de materiais têxteis condutores e componentes piezoresistivos dão origem a sensores têxteis flexíveis, pelo que os materiais utilizados e a técnica de construção influenciam a sensibilidade e qualidade do sensor (Gonçalves *et al.*, 2018).

Os sensores podem ser feitos de diferentes materiais condutores e diferentes estruturas usando diferentes técnicas de produção, de acordo com a Tabela 3.

Farrington et al., desenvolveram um casaco capaz de medir o alongamento da malha a partir da variação da resistência elétrica. Esse casaco (Fig. 7) regista o movimento do atleta e é composto por 11 sensores em malha posicionados nos ombros e cotovelos (Farrington *et al.*, 1999).



Fig. 7 Desenvolvimento de casaco com sensores piezoresistivos.

Outro estudo para o contexto medicinal, apresenta um desenvolvimento de um sensor piezoresistivo tricotado com fios condutores para a medição do movimento da caixa torácica e sensibilidade respiratória. A malha produzida (Fig. 8) consiste num jersey tubular que utiliza um polímero *3M (Velostat* ^{®(2)}) de 200 *mícrons* de espessura como piezoresistivo e eléctrodos compostos por fios condutores de poliamida *Shieldex* com revestimento de 99% prata pura (Lin and Seet, 2015).

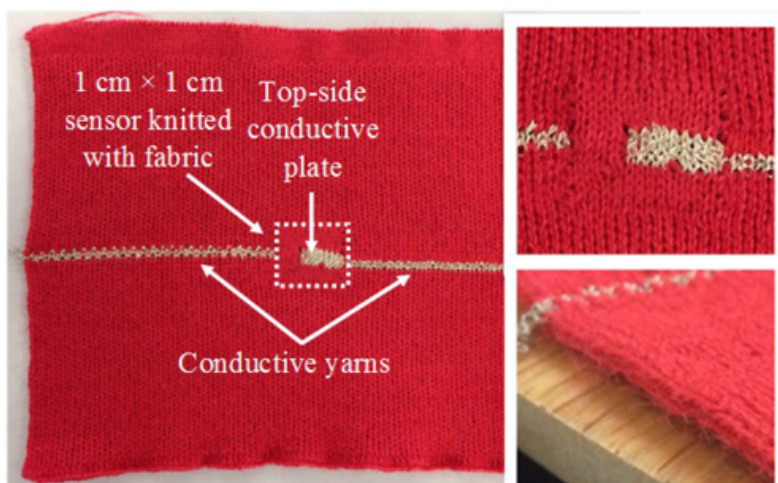


Fig. 8 Sensor para sensibilidade respiratória.

⁽²⁾ Velostat [®], também conhecido por *Linqstat* [®], é um polímero polimérico (poliolefinas) impregnado com *carbon black* para o tornar condutor. É um material anti estático e resistivo com propriedade de resistência eléctrica (Keefe and Lecat, 2015).

Enquadramento teórico

Um sistema similar é proposto, em que os autores desenvolveram um sensor flexível com a utilização de um polímero piezoresistivo de nano compósito de carbono e uma borracha de silicone flexível (*Hidroxilo dimetilsiloxano*), que monitoriza a frequência cardíaca através de variações de pressão originada pela circulação sanguínea (Fig. 9). Com a formação de microestruturas é possível obter alta sensibilidade e linearidade dos sensores de pressão (Shu *et al.*, 2015).

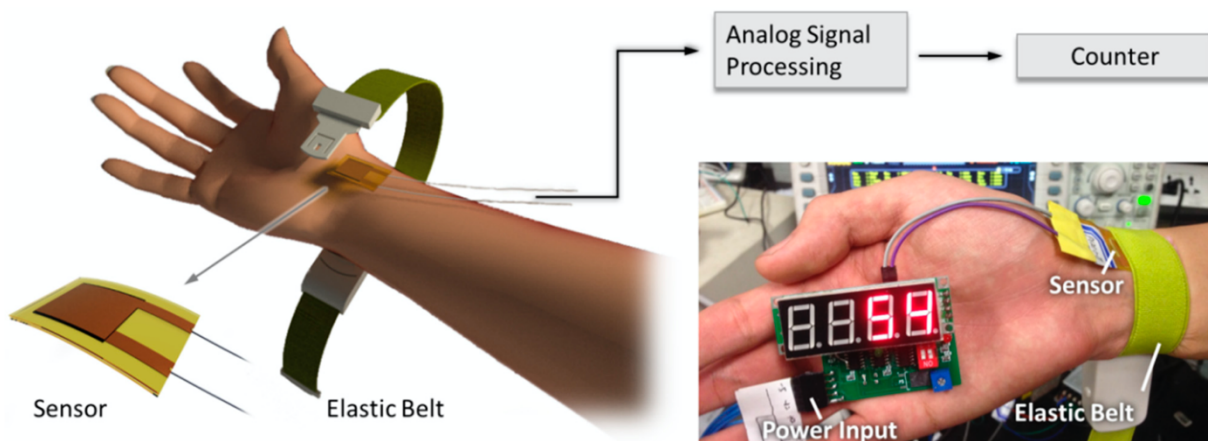


Fig. 9 Sensor de pressão desenvolvido que monitoriza a pressão sanguínea.

Outra investigação, apresenta um desenvolvimento de um fio têxtil para produção de sensores têxteis de alta sensibilidade tátil espacial (Fig. 10). Através da técnica de *electrospinning*, esta fibra é composta por nano fibras de algodão com revestimento de Ni (níquel) garantindo propriedades condutoras, envolvidas por uma cobertura de nano tubos de carbono (CNT) e poliuretano (PU) (Qi *et al.*, 2019).

O *electrospinning* trata-se de uma técnica de fiação que produz fibras em escala nanométrica e micrométrica (nanofibras e microfibras) (Zaikov, 2016).

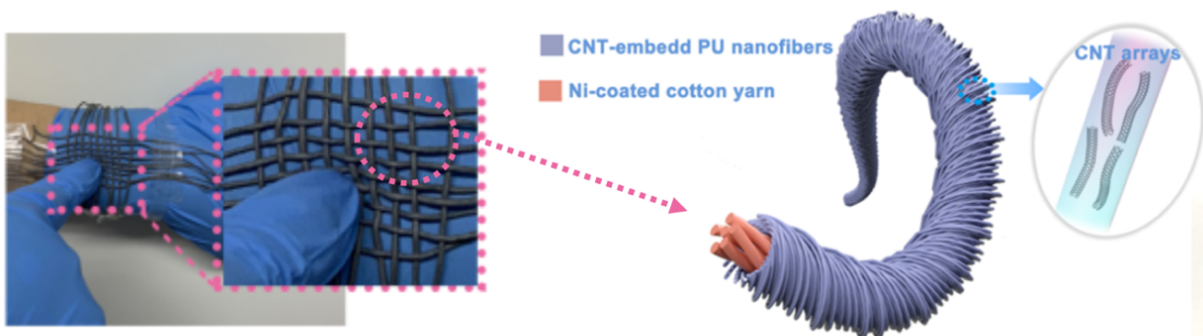


Fig. 10 Nanofibra têxtil de alta sensibilidade.

Enquadramento teórico

Neste seguimento, este trabalho de investigação foca-se no estudo de sensores de pressão piezoresistivos, que consiste na elaboração de uma *sandwich* composta por duas camadas de tecido condutor no topo superior e inferior, separadas por uma camada intermédia composta por um filme polimérico carregado com partículas de carbono, resultando num material sensível à pressão.

Carvalho et al., desenvolve sensores têxteis de pressão com a utilização de um filme *velostat* e como elétrodos utiliza fita de cobre, tecido e malha condutoras (Fig. 11). O comportamento dos sensores é avaliado através de um dinamómetro que realiza sucessivos batimentos de compressão, conetado a um multímetro que adquire sinais de resistência e transmite-os para um computador (Carvalho, Yao and Gonçalves, 2017).



Fig. 11 Exemplo de sensores de pressão piezoresistivos.

No seguimento do estudo anterior, o autor explora o desenvolvimento de sensores baseados em silicone e na combinação de diferentes tipos de material, silicone condutor e não condutor, tinta condutora e tecido condutor, e a respetiva interação entre eles (Fig. 12).

Como material piezoresistivo foi utilizado o silicone condutor (*Wacker ELASTOSIL® LR 3162 A/B*) e o filme polimérico (*Linqstat MVCF*). Como material condutor foi utilizado um tecido de poliamida com revestimento de prata (*Shieldex® Bremen*) e tinta condutora (*DuPont PE 825 e PE 828 Silver Composite Conductor*). Como elétrodos utilizaram papel de alumínio. Para promover a adesão entre estes materiais pulverizaram como primário o *Wacker® PRIMER G 790*.

Os sensores foram produzidos mediante 3 métodos de construção - cura a alta temperatura (no caso do silicone), prensa e por estamperia (no caso do *Linqstat* e do silicone).

Neste estudo demonstram que o silicone condutor exibe também propriedades piezoresistivas (Gomes, Tama and Yao, 2018).



Fig. 12 Desenvolvimento e preparação de sensores de pressão: a) sensor de silicone condutor e tecido condutor, b) sensor de silicone condutor e tinta condutora estampada, c) exemplo de silicone produzida.

No seguimento dos estudos anteriores referidos, o autor *Carvalho et al.*, desenvolveram um sensor utilizando os mesmos materiais condutores (tecido *Statex*) e piezoresistivos (filme *Linqstat*), porém neste estudo é avaliado o método de interligar os dois materiais através de redes termoplásticas, por forma a melhorar a estabilidade e robustez do sensor (Fig. 13).

Neste caso, verificam-se diferenças pouco significativas no comportamento do sensor de acordo ao estudo anterior, no entanto, obtiveram um aumento ao nível da resistência devido à utilização do termoplástico (Carvalho *et al.*, 2018).



Fig. 13 Sensor têxtil com termoplástico.

Pizarro et al., apresenta uma luva capaz de medir o movimento e a pressão das falanges sobre um determinado objeto (Fig. 14). A medição foi testada em vários episódios quando aplicada pressão num curto e longo espaço de tempo, determinando a pressão e a recuperação exercida. A luva contém 5 sensores aplicados nas pontas das falanges, e o sensor é composto por tecido condutor (*Shieldex*

NoraDell) e um polímero à base de polietileno, capaz de medir diferenças de pressão (Pizarro *et al.*, 2018).



Fig. 14 Luva que monitoriza a pressão das falanges.

Outros autores apresentam um estudo para a construção de sensores de pressão têxteis que utilizam diferentes materiais condutores e um filme piezoresistivo (Fig. 15). Ensaíram várias técnicas de produção por forma a assegurar resultados satisfatórios quanto à repetibilidade, ao alcance e à sensibilidade, sendo que algumas destas propriedades podem ser melhoradas pelas características físicas dos sensores.

São propostos 4 materiais condutores, como o tecido de poliéster com revestimento de prata, malha com fios metálicos, malha de poliéster com revestimento de prata e uma malha poliéster e elastano com revestimento de prata. Relativamente aos materiais com propriedades piezoresistivas, foi selecionado o filme *velostat*.



Fig. 15 Materiais têxteis condutores utilizados:

a) tecido de poliéster com revestimento de prata, b) malha de fios metálicos, c) malha de poliéster com revestimento de prata e d) malha poliéster e elastano com revestimento de prata.

O método de construção é similar aos anteriores referidos, através da criação de uma *sandwich* com os materiais condutores sobreposto ao filme piezoresistivo, porém neste estudo aplicam um termoadesivo a selar o respetivo sensor (Fig. 16). Neste estudo, são analisadas várias áreas de sensores com multicamadas de filme piezoresistivo.

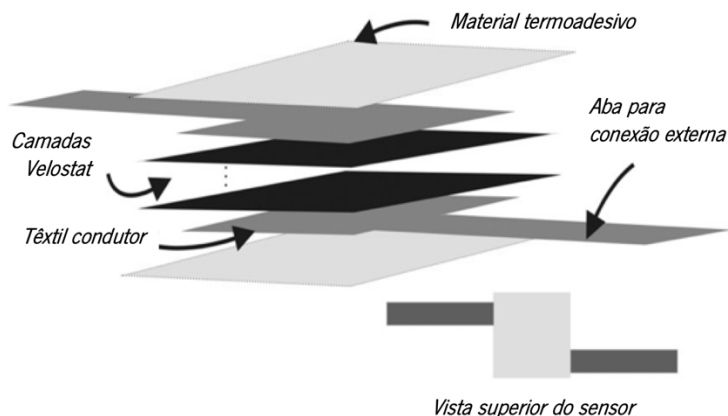


Fig. 16 Sensor desenvolvido com multicamada de filme piezoresistivo e adesivo.

Os sensores foram testados através de um amplificador que produz um sinal de tensão proporcional à variação de resistência do sensor e foi aplicada força variável. Os sensores com multicamada de filme piezoresistivo, os de malha com fios metálicos e a malha com elastómeros demonstraram fraco desempenho, não tendo sido considerados.

Para quantificar o comportamento do sensor foram então avaliadas 3 propriedades: a repetibilidade, a gama de medida do sensor e a sensibilidade.

Quanto às propriedades avaliadas, verificam-se variações aceitáveis e alegam que estas variações ocorrem pelas partículas de carbono no filme piezoresistivo, que através de um processo automático de construção poderá melhorar estes parâmetros, pelo que também podem ser ajustadas na calibração do sensor. Além disso referem que os sensores apresentam as características desejadas de conforto, tamanho e peso, pois são fabricados com materiais finos e muito flexíveis e podem ser reutilizados face às características dos materiais utilizados (Goy *et al.*, 2015).

Em suma, para o sucesso desta investigação foi essencial a revisão da literatura por forma a obter o conhecimento necessário sobre os sensores têxteis já desenvolvidos, assim como, os materiais condutores, os materiais piezoresistivos e os termoadesivos utilizados, bem como as técnicas de construção aplicadas.

De acordo com a bibliografia, os materiais utilizados nos sensores têxteis são variados. Os materiais condutores podem encontrar-se em tecidos, malhas, borrachas e tintas com estas propriedades. Em relação aos materiais piezoresistivos, a literatura refere um polímero de polietileno e polímeros à base de silicone com características piezoresistivas.

Por conseguinte, neste trabalho serão utilizados vários materiais de acordo com os supracitados.

Quanto à construção do sensor, apresenta desenvolvimentos referente à colagem, utilizando adesivos de dupla face sob a forma de filme, teia e rede (*film*, *web* e *net* respetivamente) (Fig. 17).

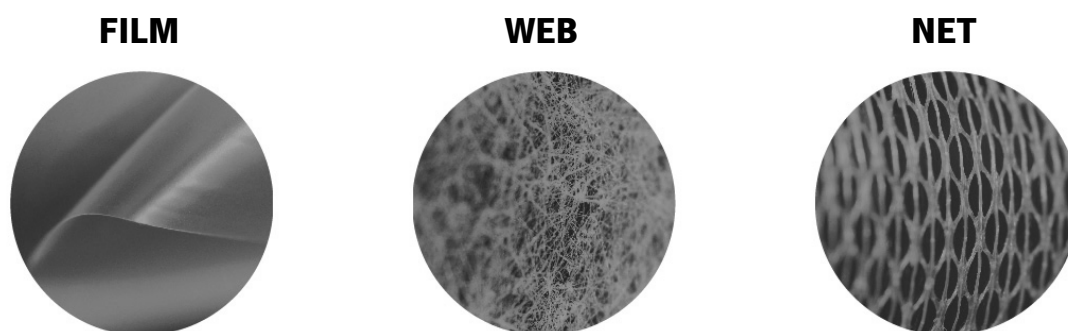


Fig. 17 Estruturas possíveis de termoadesivos.

A respeito do processo de produção são apresentadas soluções de termo colagem através de prensa termo pneumática plana, estufa termoventilada de calor, e outras técnicas de estamparia. Assim, foi necessário avaliar e determinar processos de laminagem, identificar os equipamentos necessários para a produção de sensores e verificar os parâmetros importantes para o processo de termo colagem, como a temperatura, o tempo, a velocidade e a pressão. Todos estes fatores, tornam-se importantes para obter uma adesão eficaz e para garantir o máximo de reprodutibilidade entre amostras.

Os autores referem ainda desvantagens típicas dos sensores resistivos, como a não-linearidade, relacionada com os próprios materiais utilizados. Porém a calibração dos resultados pode ser ajustada para corrigir determinados desvios ocorridos nas leituras.

Pretende-se assim, produzir um sensor que permaneça com resultados lineares e constantes por toda a área sensorial.

2.2.3. Desempenho Eletromecânico

Os sensores piezoresistivos compostos por substratos têxteis apresentam propriedades elásticas. Estes devem garantir um bom desempenho eletromecânico e dependem da resiliência mecânica dos polímeros que utilizam. A avaliação dos sensores de pressão baseia-se na capacidade de pressão, linearidade, sensibilidade, histerese e repetibilidade (Chang *et al.*, 2019).

A sensibilidade de um sensor pode ser representada pelo *Gauge Factor* (GF) (1). Este parâmetro é definido como a variação da resistência elétrica por unidade de deformação mecânica aplicada e é representado pela seguinte equação (Carvalho, 2014):

$$GF = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta L/L_0} = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon} \quad (1)$$

Sendo,

ΔR : Variação da resistência provocada pela deformação

R_0 : Representa a resistência antes da deformação

$\Delta L/L_0$: Deformação unitária mecânica aplicada (adimensional), representada por ε (módulo de Young)

ΔL : Variação da deformação mecânica

L_0 : Comprimento inicial do material antes da deformação inicial

Os valores típicos de GF variam consoante o tipo de material e estão descritos na literatura relativa à construção de sensores, apresentados na Tabela 4 (Correia, 2013; Carvalho, 2014).

Tabela 4 Valores de referência considerados para o Gauge Factor (Correia, 2013; Carvalho, 2014).

Material	GF
Filme fino metálico	2
Strain gauge metálico	2 – 5
Silicone Cristalino	± 50 – 150
Filme fino Silicone Cristalino	± 15
Compósito polimérico	18

Por outro lado, os sensores piezoresistivos apresentam histerese, característico na utilização de materiais poliméricos, que dependem da resiliência mecânica dos substratos têxteis.

Enquadramento teórico

Este comportamento advém de o sistema conservar as propriedades iniciais, na ausência de um estímulo que as gerou. Por outras palavras, a histerese é a relação entre a carga inicial aplicada a um material e a taxa de recuperação deste quando a carga é removida. A taxa de recuperação varia em função do tipo do material e da tensão mecânica envolvida, pelo que o comportamento plástico, normalmente, não é linear e não é idêntico à relação da carga inicial aplicada (Ashruf, 2002; Morris, 2011).

Em termos práticos, a histerese normalmente apresenta-se sobre a forma da seguinte curva (Fig. 18), em que o movimento inicial da carga não é o mesmo trajeto que o material percorre na sua recuperação (Meyer *et al.*, 2010).

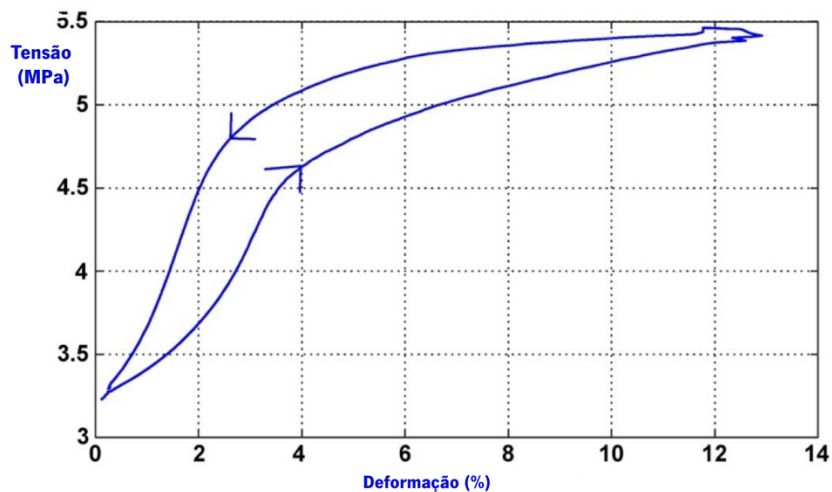


Fig. 18 Exemplo de um gráfico de histerese sobre um material polimérico (tensão-deformação).

Sendo definida pela seguinte expressão (2):

$$H = \left(\pm \frac{\Delta H_{max}}{Y_{FS}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

ΔH_{max} : Dif. da ordenada da curva com a mesma tensão na compressão e na descompressão

Y_{FS} : Representa a ordenada máxima no ciclo completo

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os materiais (Fig. 19) e os equipamentos utilizados nesta investigação bem como os ensaios que permitiram caracterizar, estudar e construir o sensor.

Os materiais utilizados foram fornecidos pelas seguintes empresas:

Tecido Condutor – *Statex* (Alemanha);

Filme piezoresistivo - *Caplinq* Europe (Holanda);

Termoadesivo - *Protechnic* (França), *Bemis* (Reino Unido), *Permess* (Holanda) e *Manly* (Espanha).



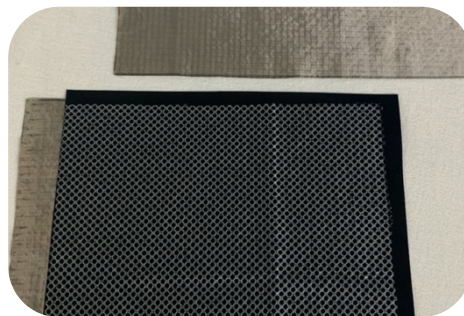
Tecido Condutor



Filme piezoresistivo



Termo adesivo



Sensor em linha de montagem

Fig. 19 Materiais utilizados na construção do sensor piezoresistivo (acervo do autor).

3.1. COMPOSIÇÃO DO SENSOR TÊXTIL PIEZORESISTIVO

Para a construção do sensor têxtil piezoresistivo selecionou-se um tecido com propriedades condutoras e um filme polimérico com características piezoresistivas. A combinação destes dois materiais vai permitir a funcionalidade pretendida do sensor de pressão. A camada de filme piezoresistivo

é sempre maior do que a camada de tecido condutor, para evitar o curto circuito entre os elétrodos superior e inferior.

Para a junção destes dois materiais optou-se pela utilização de um termoadesivo que permita a união permanente entre eles, desde que não altere as suas características iniciais, das quais a de manter o contato elétrico entre as camadas.

Para determinar o termoadesivo mais indicado, foram testados vários tipos e apresentam-se no ponto 3.1.3. (Tabela 7).

3.1.1. Tecido condutor

As características principais do tecido condutor utilizado neste estudo estão apresentadas na Tabela 5, com a ficha técnica do fornecedor no respectivo Anexo 1.

Tabela 5 Características de tecido condutor.

Tipologia	Fornecedor	Referência	Composição	Espessura	g/m²
Tecido condutor	Statex	Shieldex® Bremen Rs No 110010180	Fibras de poliamida com revestimento de prata (<i>pure silver</i> 99%)	0,09mm	±43

3.1.2. Filme polimérico piezoresistivo

As características principais do filme piezoresistivo utilizado neste estudo estão apresentadas na Tabela 6, com a ficha técnica do fornecedor no respectivo Anexo 2.

Tabela 6 Características de filme piezoresistivo.

Tipologia	Fornecedor	Referência	Composição	Espessura	g/m²
Filme piezoresistivo	<i>CAPLIQ Europe BV</i>	<i>Linqstat MVCF</i> 50.000Ω/sq 8mil No 3920.10.89.90	Polietileno com revestimento de carbono	0,2mm	190

3.1.3. Filme termoadesivo

Os termos adesivos estudados e avaliados na construção do sensor estão apresentados na Tabela 7, pelo que as fichas técnicas dos produtores encontram-se no Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11 e Anexo 12.

Tabela 7 Características de termoadesivos.

Tipologia	Nº amostra	Fornecedor	Referência	Composição	Estrutura
Termoadesivo	1	Permess	095-095	Poliamida	Web
	2	Manly	8140/1000/090	Poliamida	Web
	3	Bemis	BFF 3000	Poliuretano Éster	Net
	4	Bemis	BFF 3001	Poliuretano Éster	Net
	5	Bemis	3410C	Poliuretano Éster	Film
	6	Bemis	3206	Poliuretano	Film
	7	Bemis	5256	Poliéster	Film
	8	Bemis	3231	Poliuretano	Film
	9	Protechnic	311	Poliiolefina	Net
	10	Bemis	6388.003	Acrilato de Etileno	Film

3.2. CONSTRUÇÃO E CAMADAS DO SENSOR TÊXTIL

Neste ponto apresenta-se o sensor têxtil, a sua composição e a sequência de materiais, de acordo com os materiais mencionados no ponto 3.1.

A Fig. 20 *representa* um sensor protótipo com medidas de 20x15cm (comprimento x largura).



Fig. 20 Sensor de pressão têxtil piezoresistivo (acervo do autor).

Como abreviatura à estrutura e composição do sensor, utiliza-se o termo *sandwich*, respetivamente, as camadas de tecido condutor e filme piezoresistivo, e o adesivo que garante a união entre os dois.

A Fig. 21 ilustra as camadas compostas do sensor e na Tabela 8 a sequência de montagem do sensor têxtil.

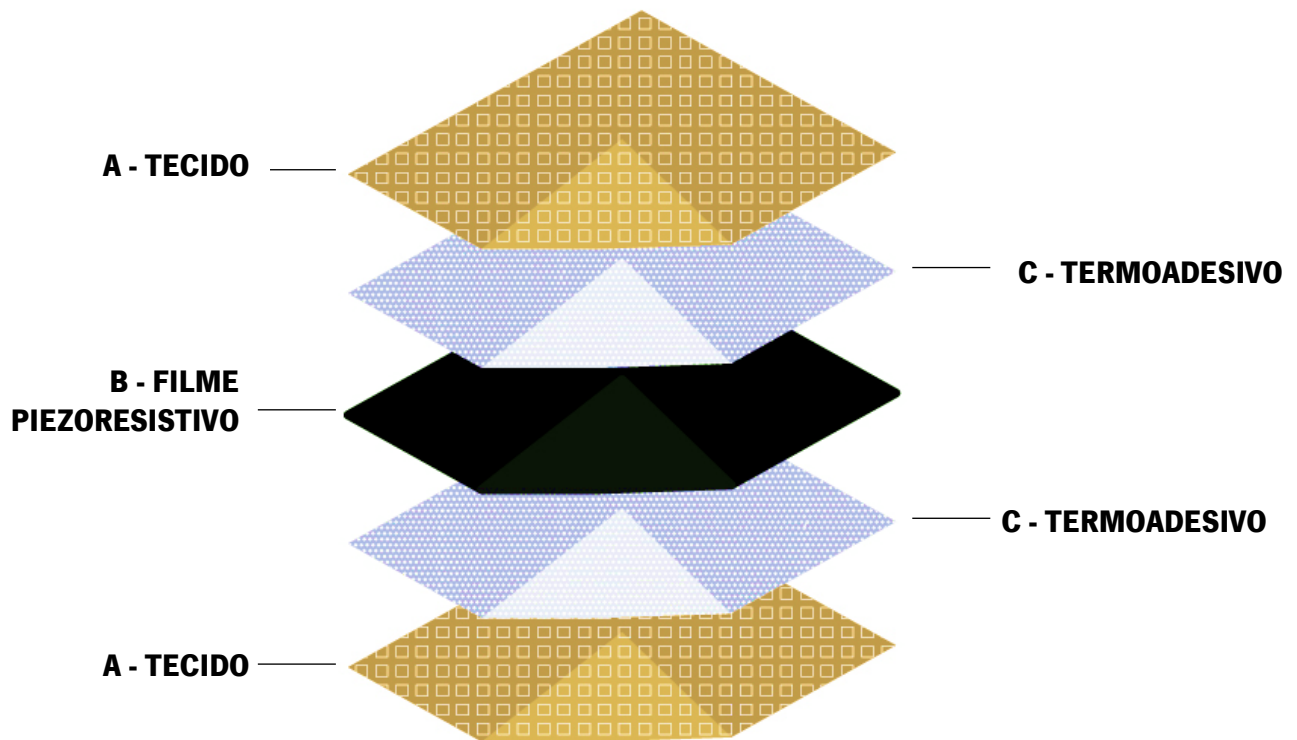


Fig. 21 Esquema de construção de sensor (acervo do autor).

Tabela 8 Sequência de montagem de composição do sensor têxtil.

Índice	Material	Descrição sumária
A	Tecido condutor	Tecido de fibras de poliamida com revestimento de prata (A) é unido ao material B através do material C;
B	Filme piezoresistivo	Polímero polietileno com revestimento de carbono (B), com características piezoresistivas é unido através do material C ao material A;
C	Termoadesivo	Ligante (C) une os materiais A e B

3.3. PROCESSO DE LAMINAGEM

O processo de laminagem, *hot melt*, trata-se de um processo têxtil de acabamento que consiste em unir um determinado material a outro utilizando um adesivo, tendo sido o utilizado para obtenção do

sensor a desenvolver. Neste processo é utilizado uma calandra com tapete rotativo em não tecido, cilindros aquecidos e pressão. Esta conjugação de fatores permite a união das camadas mediante a aplicação de colas ou resinas, através de calor e de pressão, por forma a obter uma *sandwich* de tecidos técnicos. É importante controlar em simultâneo os parâmetros de temperatura, velocidade, pressão e tempo para garantir uma boa adesão dos materiais.

Trata-se de um processo *eco-friendly*, pois não utiliza produtos nem solventes, sem se verificar a produção de qualquer tipo de resíduos ou efluentes.

Na Fig. 22, apresenta-se o esquema de funcionamento de uma calandra e o respetivo posicionamento dos materiais à entrada e à saída, de forma a se obter o produto final laminado.

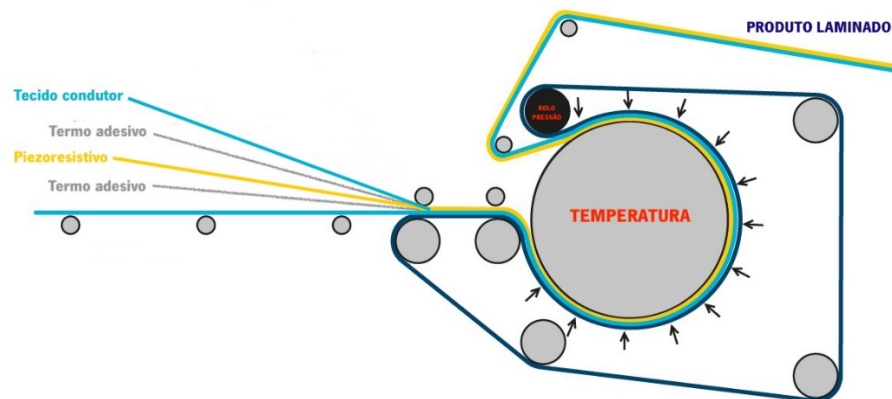


Fig. 22 Funcionamento de uma calandra de laminagem.

O processo de laminagem por calandra denota-se como um método contínuo, distinguindo-se também dos processos de construção referidos no ponto 2.2.2., em que outros investigadores utilizaram o processo *hot plate press* (prensas planas termo pneumáticas) que está limitado à área útil do equipamento.

Por conseguinte, neste estudo o método de laminagem foi realizado por calandra, de modo a garantir melhor uniformidade por toda a área e sem a limitação do comprimento do sensor a produzir. O processo de laminagem foi realizado numa calandra industrial *Hatapress HT-CPI 1242*, conforme apresentado na (Fig. 23), onde foi possível controlar os parâmetros de temperatura, velocidade e pressão.



Fig. 23 Calandra HataPress HT-CPI 1242.

3.3.1. Ensaio termográfico – Calandra

Conforme referido anteriormente, as condições ideais tanto do equipamento como das características físicas e químicas dos materiais são importantes para se alcançar uma perfeita adesão dos materiais, sendo necessário verificar e calibrar a temperatura do equipamento apresentado na Fig. 23.

Desta forma, foi realizado um ensaio termográfico através da câmara térmica *Testo para se obter* um mapeamento térmico do equipamento. Este ensaio permite colher imagens que com um *software* específico permite quantificar médias de temperatura, pontos quentes e frios de uma determinada área.

Pretende-se assim com este ensaio verificar se a temperatura superficial do cilindro registada na calandra coincide com a temperatura registada na câmara térmica e se esta é constante por toda a área do cilindro.

As imagens recolhidas (Fig. 24, Fig. 25 e Fig. 26) correspondem a toda a largura do cilindro em constante rotação e à temperatura ambiente. É de notar que o cilindro se encontra representado na imagem termográfica, pela área vermelha correspondente, sendo as áreas a azul, verde e amarelo componentes estruturais do equipamento.

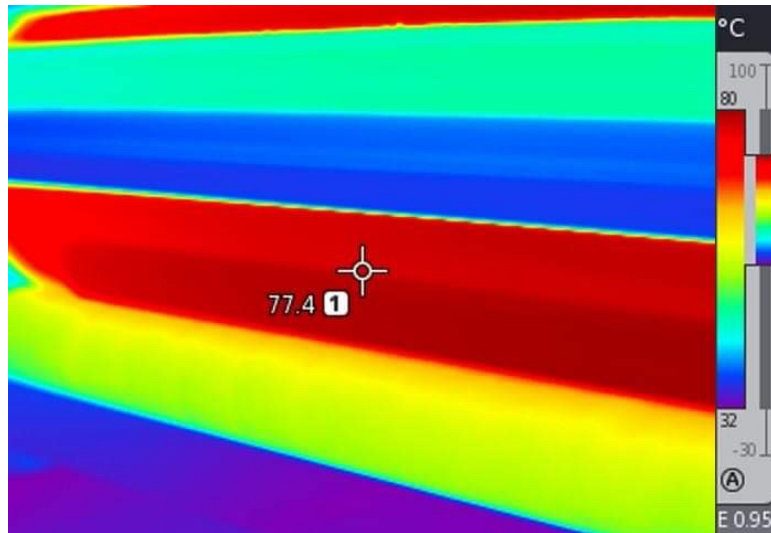


Fig. 24 Ensaio termográfico - Calandra a 90°C (acervo do autor).

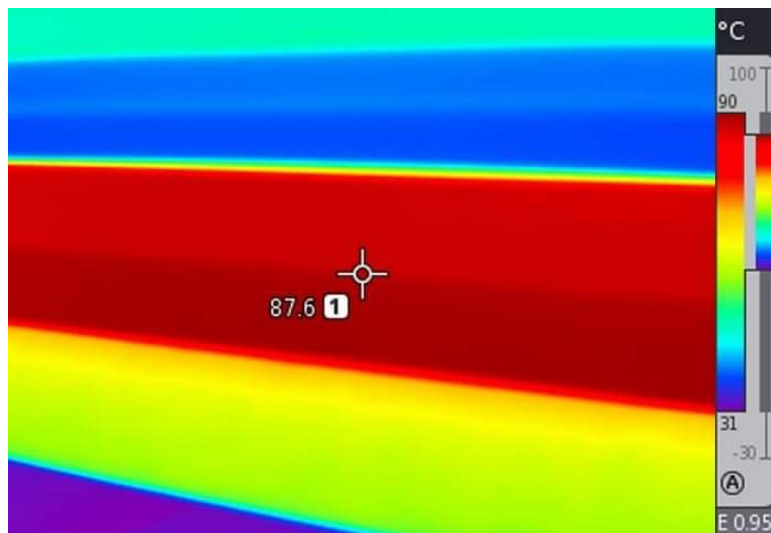


Fig. 25 Ensaio termográfico - Calandra a 100°C (acervo do autor).

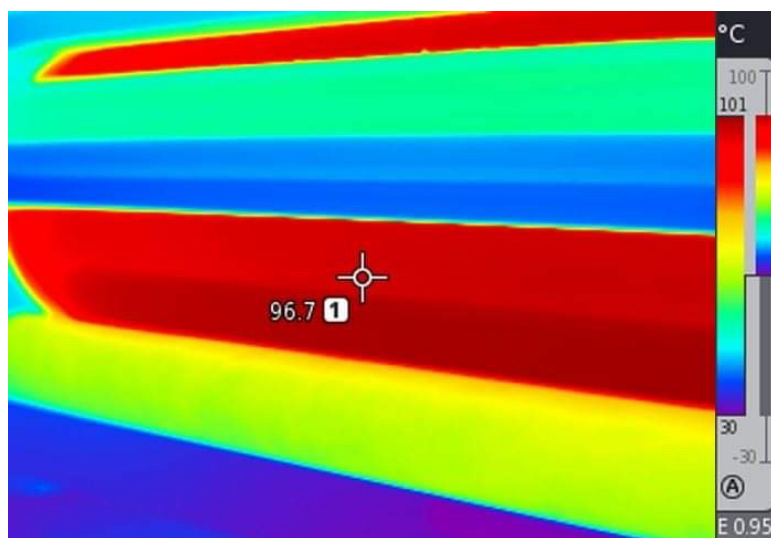


Fig. 26 Ensaio termográfico - Calandra a 110°C (acervo do autor).

Após análise, constatou-se que a temperatura é uniforme por toda a área do cilindro, porém existe uma diferença de aproximadamente 13°C da temperatura real para a temperatura registrada no equipamento, entre as gamas de temperatura ensaiadas. Esta informação permitiu corrigir e calibrar a temperatura no equipamento, podendo assim ajustar os valores para os parâmetros dos materiais a serem laminados.

3.3.2. Ensaio de resistência ao desprendimento

De modo a verificar a capacidade de adesão e resistência do termoadesivo aos outros materiais constituídos no sensor e unidos no processo de laminagem, foram utilizados os procedimentos de acordo com a norma americana *ASTM D1876-2001, Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)*.

Este ensaio analisa a força (N) necessária para descolar os materiais em função da velocidade e da distância percorrida.

A norma refere a utilização de um equipamento capaz de realizar testes de resistência à tração, pelo que se adequa o equipamento dinamómetro *Hounsfield H10KS* utilizado nos ensaios de compressão (Fig. 33), porém este adaptado com axilas de aperto para realizar o ensaio.

Os provetes laminados são preparados de acordo com as recomendações dos produtores, cortado em painel de 152mm de largura por 305mm de comprimento, fatiados à largura de 25mm, no entanto apenas são termo colados em aproximadamente 241mm do seu comprimento total. A velocidade de deslocamento da axila será de 254mm/min, considerando que o deslocamento da axila deva atingir no mínimo 127mm do provete, determinando a força exercida necessária para realizar o desprendimento dos materiais. Determina-se assim, por fim, o termoadesivo com maior capacidade de adesão, o qual oferecerá maior resistência ao desprendimento.

Por motivos de gestão laboratorial, realizou-se ensaios de desprendimento apenas aos sensores que apresentaram resultados eletromecânicos satisfatórios, assim apenas 2 dos 10 termoadesivos estudados nesta dissertação foram testados.

Para este ensaio são testadas no mínimo 10 espécimes de cada termoadesivo. Estes resultados apresentam-se descritos no subcapítulo 4.4.5.

Alternativa à norma *ASTM D1876-2001*, é a norma europeia *EN ISO 2411:2017*, no entanto não estava disponível para consulta.

3.4. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS MATERIAIS

Neste subcapítulo apresentam-se os ensaios realizados quanto à caracterização física dos materiais, respeitando métodos e procedimentos descritos na literatura, sendo estes artigos científicos ou documentos normativos. As propriedades avaliadas são térmicas, mecânicas e elétricas.

3.4.1. Calorimetria diferencial de varrimento – DSC

A calorimetria diferencial de varrimento, ou *differential scanning calorimetry* (DSC) é utilizada para estudar a transição térmica dos polímeros quando sofrem um aquecimento, permitindo medir o fluxo de energia calorífica dessa transição em função da temperatura. Este método estuda a diferença de energia entre uma amostra e um material padrão ou referência, num programa de aquecimento ou arrefecimento sob atmosfera controlada.

Geralmente, é utilizada para determinar a temperatura de fusão (T_m) e temperatura de cristalização (T_c) dos materiais poliméricos, em que se avalia as variações de entalpia (ΔH) em termos quantitativos e qualitativos. As variações de entalpia, podem ser processos endotérmicos ou exotérmicos, em que existe a absorção ou a libertação de energia calorífica, respetivamente.

Através desta técnica obtém-se a temperatura de transição vítrea (T_g), o pico exotérmico à cristalização e o pico endotérmico à fusão (Bernal *et al.*, 2002; Silva, 2010; Luísa, Dias and Braga, 2014).

Na Fig. 27, apresenta-se o equipamento utilizado *DSC – 822e (Mettler Toledo)*, para a caracterização térmica dos materiais.



Fig. 27 Equipamento de caracterização térmica dos materiais – DSC.

3.4.2. Microscopia Eletrónica de Varrimento – SEM

A microscopia eletrónica de varrimento permite verificar as características morfológicas da superfície, rugosidade e irregularidade da mesma, obter uma imagem ampliada do material e assim determinar não só o tamanho das partículas presentes nas amostras, como a sua distribuição e natureza química.

Esta técnica permite, numa escala nanométrica (nm), obter imagens nítidas para grandes ampliações e comparar corretamente as diferenças na morfologia de cada estrutura (Silva, 2010; Luísa, Dias and Braga, 2014).

Aplicou-se a técnica de Microscopia Eletrónica de Varrimento de alta resolução para caracterizar os materiais utilizados na construção do sensor, através do equipamento *Nano SEM - FEI NOVA 200 (FEG/SEM)*, no *SEMAT/Universidade do Minho* (Fig. 28).

As amostras foram cobertas com um filme de 50nm de *Au-Pd (Ouro-Paládio)* (80-20% em peso), num aplicador de pulverização de alta resolução, *208HR Cressington Company*, acoplado a um controlador de espessura de alta resolução *MTM-20 Cressington*.



Fig. 28 Equipamento de Microscopia Eletrónica de Varrimento - SEM.

Através da técnica de microscopia eletrónica de varrimento de alta resolução (*SEM*), realizaram-se análises micro estruturais aos materiais do sensor têxtil, ambos laminados à temperatura de 100°C.

Através deste ensaio, obteve-se o corte transversal do sensor que permite verificar o comportamento e a interação entre os materiais constituintes do sensor na amostra já laminada.

A Fig. 29 exhibe o sensor em corte transversal e na Tabela 9 são legendados os materiais.

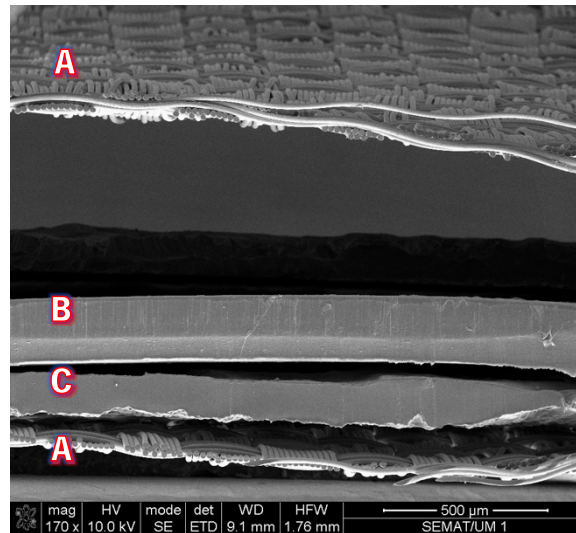


Fig. 29 Legenda do corte transversal do sensor têxtil obtida no SEM (acervo do autor).

Tabela 9 Índice de materiais utilizados no sensor.

Índice	Material
A	Tecido condutor
B	Filme piezoresistivo
C	Termoadesivo

De seguida, apresentam-se os provetes enviados para o SEM, por forma a dar seguimento ao processo de avaliação. As amostras estão identificadas com a seguinte numeração (Fig. 30):

1. Provete – sensor laminado com termoadesivo 6388.003net;
2. Provete – polímero piezoresistivo *Linqstat MVCF* sem tratamento plasmático;
3. Provete – sensor laminado com termoadesivo 311net;
4. Provete – polímero piezoresistivo *Linqstat MVCF* com tratamento plasmático.



Fig. 30 Provetes analisados no SEM (acervo do autor).

3.4.3. Microscopia ótica

A técnica de microscopia ótica permite a visualização ampliada e tridimensional dos itens a serem observados. É utilizado para fins médicos, arqueológicos, geológicos, pesquisas universitárias, entre muitos outros. Esta técnica utiliza equipamentos como o microscópio ótico, binocular com ou sem zoom, que por um prisma de alta qualidade, com iluminação própria e a sua capacidade de ampliação (depende das lentes que são aplicadas) permite ver detalhes invisíveis a olho nu.

Neste estudo foi utilizado esta técnica para dar apoio adicional aos ensaios realizados na microscopia eletrônica de varrimento. O equipamento utilizado foi um estereomicroscópio binocular *Leica S8 APO* com base iluminada *LED2500* disponível no laboratório *DET/Universidade do Minho* (Fig. 31).



Fig. 31 Microscópio binocular Leica S8 APO.

3.4.4. Ensaios de compressão

Os ensaios de compressão visam determinar e medir as propriedades físicas e mecânicas dos materiais e obter informação das propriedades de deformação por compressão do material. A propriedade de resiliência à compressão dos tecidos é uma das propriedades mecânicas básicas relacionadas com a utilização, toque e maneo, maciez e a durabilidade do material (Yao et al., 2013).

Este ensaio visa obter conhecimento sobre o comportamento mecânico à compressão, à recuperação, à energia absorvida em cada impacto, à flexão, à tração, ao cisalhamento e ao atrito superficial. Ele fornece a representação gráfica, força *versus* deslocamento, que possibilita o cálculo de algumas propriedades mecânicas dos materiais, nomeadamente, o módulo de elasticidade, a tensão

limite de elasticidade, a tensão de rotura, a extensão após rotura, entre outros (Ivan de Medeiros, 2013; Moura, 2015).

A Fig. 32 representa uma curva típica de pressão e de deslocamento num ensaio de compressão.

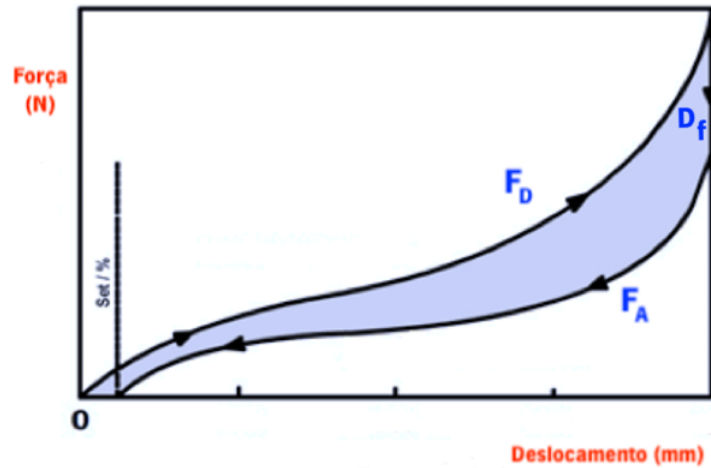


Fig. 32 Curva típica de um ensaio de compressão.

O objetivo principal deste ensaio físico neste estudo, foi a aplicação de forças de forma controlada sobre o sensor piezoresistivo, para se caracterizar a sua resposta face ao estímulo aplicado.

Os ensaios de compressão foram realizados no equipamento dinamómetro *Hounsfield H10KS* com câmara climática *HENV* (Fig. 33), no entanto, neste trabalho a câmara climática não foi utilizada.

Para este ensaio, o dinamómetro foi equipado com uma célula de carga 2,5kN e um conjunto de compressão constituído por um impactador uniaxial fixo de cabeça plana colocado na célula (responsável pela aplicação de carga no provete) com uma área de contacto de 19,63cm² e diâmetro de 5cm, em que o sensor têxtil é aplicado sobre uma base de suporte circular fixa com 12cm de diâmetro.

Estes componentes são de constituição rígida pelo que não existe deformação durante a realização dos ensaios.



Fig. 33 Equipamento de teste - Dinamômetro Hounsfield H10KS com câmara climática HENV (acervo do autor).

Na execução dos ensaios de compressão os sensores sujeitaram-se a um ensaio de 10 ciclos contínuos de compressão e de descompressão por forma a simular um impacto dinâmico (Carvalho, Yao and Gonçalves, 2017).

Foram também feitos ensaios de 10 conjuntos de 10 ciclos de compressão e de descompressão para estudar o caso de processos de solicitação mais prolongados, totalizando 100 ciclos.

Na Tabela 10, apresentam-se os parâmetros utilizados no dinamômetro para a realização dos ensaios de compressão.

Tabela 10 Parâmetros no dinamômetro para a realização dos ensaios de compressão.

Parâmetro	Valor
Velocidade	50mm/min
Força aplicada	500N
Pré-carga	2N

Os ensaios foram realizados com a utilização adicional de uma esponja com área de 80cm² (10x8cm) e com 3mm de espessura para que exista algum amortecimento quando é aplicado a força no sensor. A esponja é colocada no topo superior e inferior.

3.4.5. Aquisição de dados - DAQ

Para determinar os valores de tensão gerados pelos sensores no respectivo circuito de condicionamento, utilizou-se uma placa de aquisição de dados *National Instruments NIUSB6229* (Fig. 34). Este dispositivo é um dispositivo de E/S multifunção para USB, até 48 E/S digitais, 4 saídas analógicas (com velocidade de 833 kS/s), 32 entradas analógicas (16 bits, com velocidade de 250 kS/s) com 2 contadores/temporizadores de 32 bits e funções de *trigger* digital.

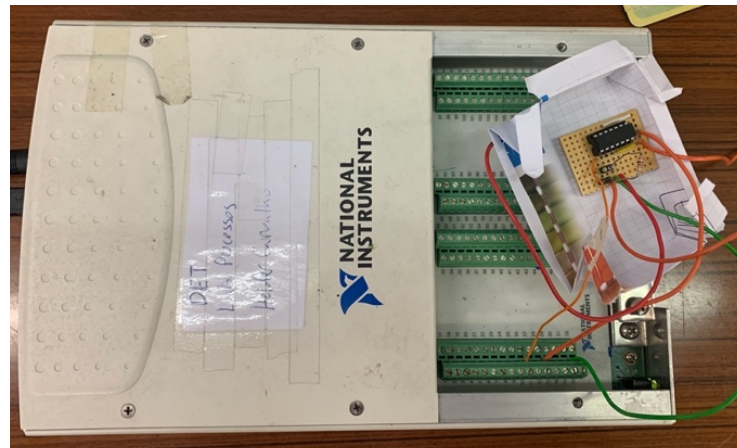


Fig. 34 Placa de aquisição de dados NI USB 6229 (acervo do autor).

A Fig. 35, representa o circuito de condicionamento que antecede a placa de aquisição de dados, e que converte a resistência do sensor numa tensão elétrica, a ser digitalizada pela placa de aquisição (descrita mais adiante). Trata-se de um circuito de condicionamento para sensores piezoresistivos, implementado com um amplificador não inversor com ganho dependente da resistência do sensor R_s (Carvalho, Yao and Gonçalves, 2017).

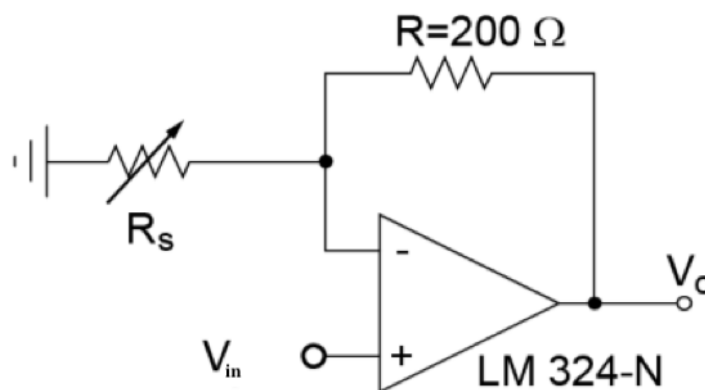


Fig. 35 Esquema de circuito de condicionamento para sensores piezoresistivos com amplificador de sinal.

A relação entre a resistência do sensor (R_s) e a saída de tensão (V_0) para o circuito apresentado na Fig. 35 é expressa pela seguinte equação (Carvalho, Yao and Gonçalves, 2017):

$$V_0 = V_{in} \left(1 + \frac{R}{R_s} \right) \quad (3)$$

Onde:

V_0 : Tensão de saída (V)

V_{in} : Tensão de entrada (V)

R_s : Resistência do sensor (Ω)

R : Resistência (Ω)

Sendo:

$V_0 \text{ max}$: 3,3V (por restrições do amplificador operacional utilizado)

O sensor têxtil é ligado ao circuito de condicionamento de sinal que converte a sua resistência numa tensão elétrica. Esta é adquirida (convertida para digital) pela placa de aquisição, sendo estes dados transmitidos diretamente para um computador que, através de um *software* específico desenvolvido em *Labview*, particularmente concebido para este trabalho (*SensorSignalAcquisition.exe*), irá recolher os dados e adaptá-los para tratamento futuro (Carvalho, Yao and Gonçalves, 2017).

Este *software* regista o sinal de tensão elétrica produzido pelo circuito de condicionamento de sinal durante o ciclo de compressão. Assim, é possível verificar a reação do sensor e conseqüente variação da tensão elétrica quando aplicado algum estímulo mecânico ao sensor piezoresistivo.

Por conseguinte, o *software* regista os dados, com uma frequência de 1000 amostras/s. A informação recolhida gera um ficheiro de dados em formato *TDMS (Technical data management streaming)*, que é convertido em ficheiro *Excel* para elaboração de tabelas e gráficos.

A Fig. 36 ilustra a aparência do *software* e os respetivos campos que ajustam os parâmetros de aquisição de sinal.

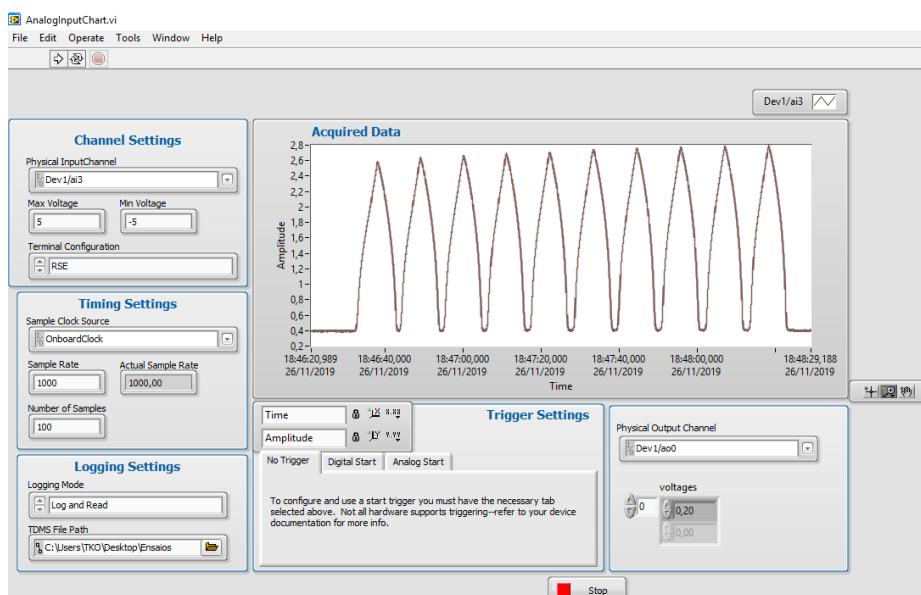


Fig. 36 Ambiente de trabalho do software *SensorSignalAcquisition.exe* (acervo do autor).

3.4.6. Agregação dos dados Força e Tensão

O método de comparação e avaliação do comportamento dos sensores pode ser medido pelo efeito piezoresistivo, considerando que um impulso/movimento mecânico gera uma alteração da resistência elétrica (Souza and Ribeiro, 2013).

Assim, os dados obtidos através do ensaio de compressão (subcapítulo 3.4.4) e da placa de aquisição (subcapítulo 3.4.5), são cruzados e combinados para garantir uma relação entre a força e a tensão de saída, que com a colaboração de um software desenvolvido especificamente em *Labview* (*DynamometerConvertAndSynch.exe*) fará a sincronização destes dados, já que a sua aquisição ocorre em processos de medida independentes não sincronizados. O software permite recolher os dados, filtrar e eliminar o ruído existente quando o ensaio é iniciado e terminado.

Assim este software combina os dados relativos à força, que a cada ciclo regista a curva em função da força aplicada ao longo da sua extensão, com os dados recolhidos na DAQ que regista a amplitude elétrica em função do tempo e dos ciclos aplicados.

A Fig. 37 apresenta a aparência do *software* e um exemplo de resultados da força e tensão em paralelo, sincronizados em função da força aplicada, da tensão elétrica e do tempo decorrido.

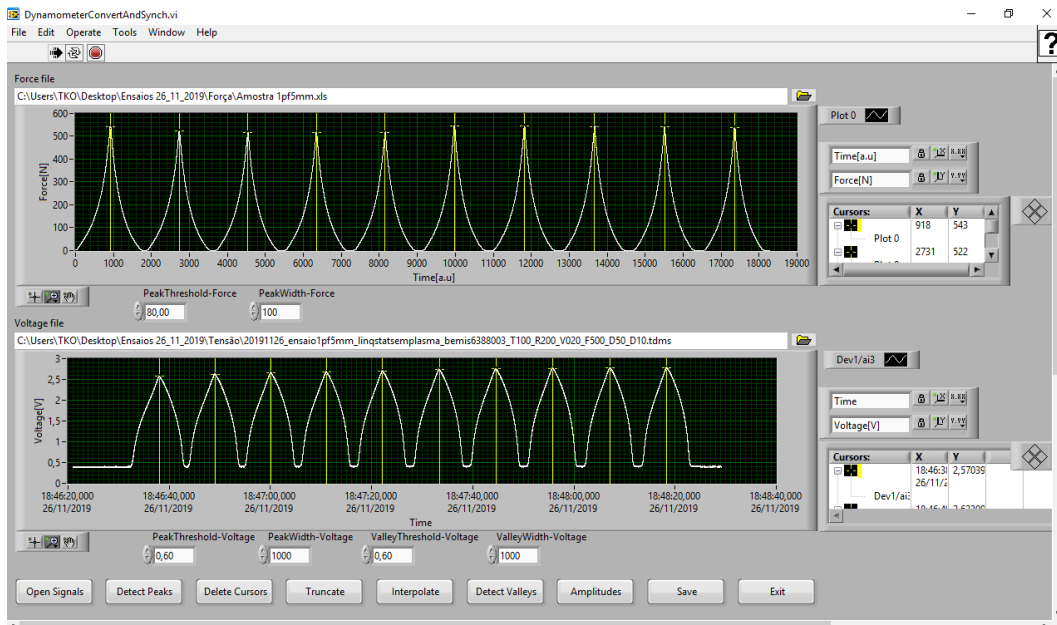


Fig. 37 Ambiente de trabalho do software *DynamometerConvertAndSynch.exe* (acervo do autor).

Por conseguinte, os dados obtidos no *software* apresentam-se sob a forma de gráficos, que relacionam os dados da força aplicada e da tensão elétrica. Com estes gráficos é possível verificar o comportamento eletromecânico do sensor, a resposta do sensor piezoresistivo a um estímulo, a regularidade, repetibilidade e a linearidade do sensor.

Nas Fig. 38, Fig. 39 e Fig. 40, apresentam-se gráficos resultantes do *software* de agregação dos dados.

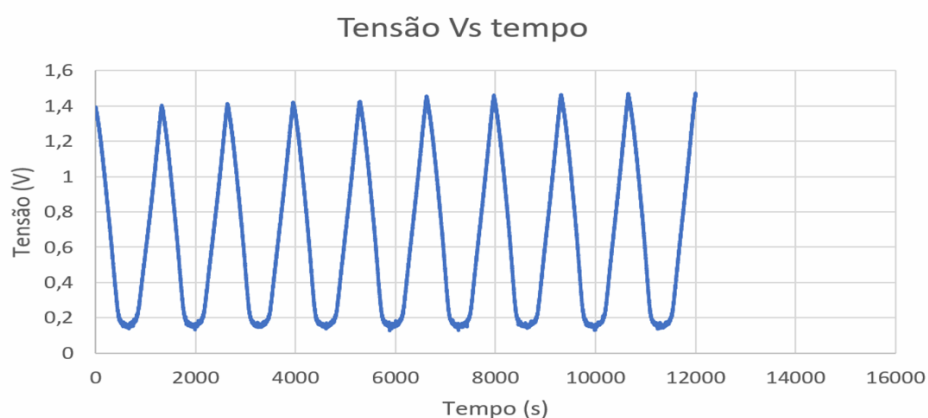


Fig. 38 Exemplo de gráfico referente à variação da Tensão em função do tempo (acervo do autor).

O gráfico (Fig. 38 Fig. 40) representa os ciclos e a tensão sobre o sensor em função do tempo. Obtém-se informação relativa à resposta do sensor em função de ciclo após ciclo.

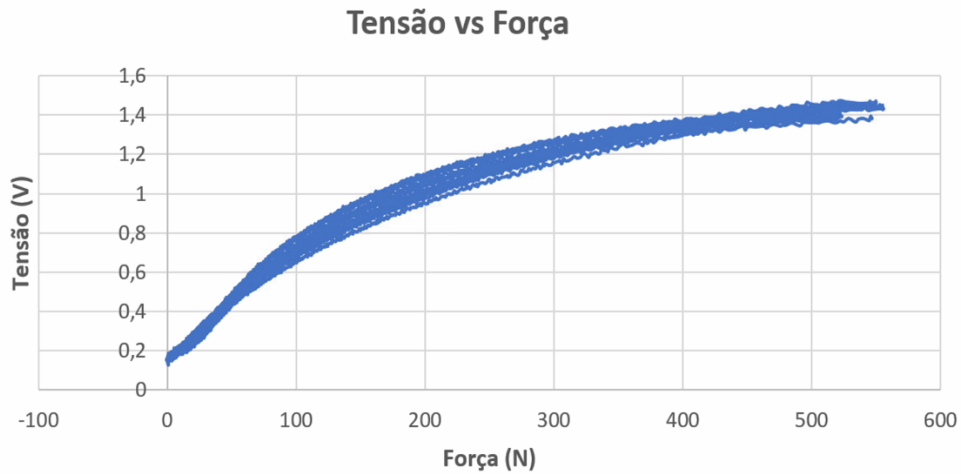


Fig. 39 Exemplo de gráfico referente à variação da Tensão em função da Força (acervo do autor).

Com o gráfico (Fig. 39 Fig. 40) é possível identificar a linearidade e repetibilidade do sensor em função dos ciclos exercidos. Quanto maior for a sobreposição das curvas maior a regularidade do sensor.

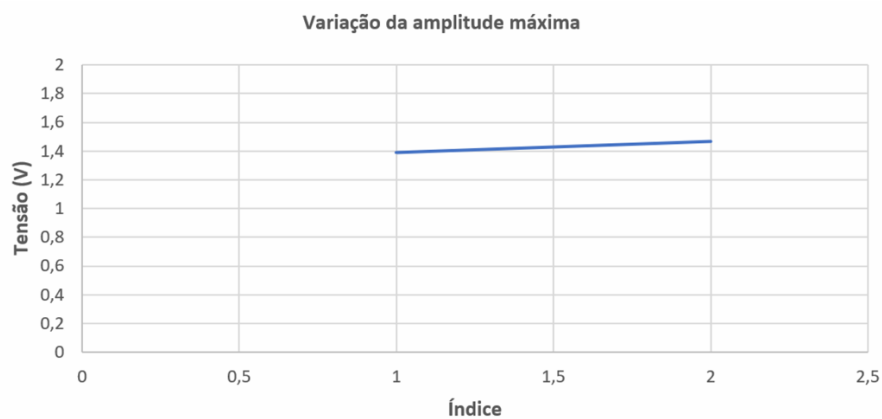


Fig. 40 Exemplo de gráfico referente à variação da amplitude da tensão (acervo do autor).

O gráfico (Fig. 40) representa a amplitude da tensão mediante os ciclos realizados. Este parâmetro dá informação referente à tendência do ponto máximo em que a tensão atinge e qual a sua orientação. Quanto maior for a horizontalidade da reta maior estabilidade indica.

O *setup* montado para a realização de ensaios piezoresistivos apresenta-se na Fig. 41, com o sensor têxtil conetado à placa de aquisição e ao dinamómetro, para adquirir os respetivos resultados.

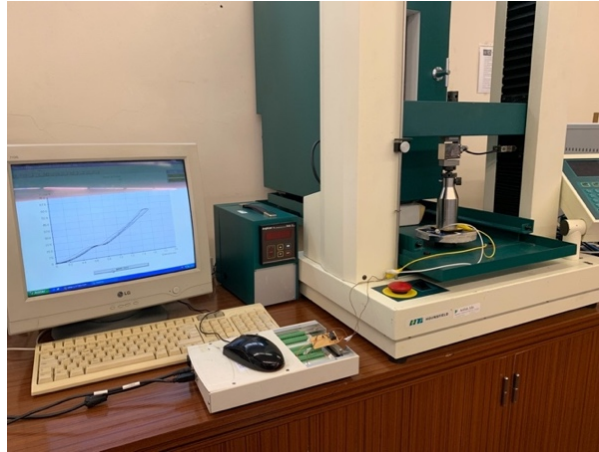


Fig. 41 Setup de montagem para a realização de ensaios piezoresistivos - Força + Tensão (acervo do autor).

3.4.7. Multímetro

Para prestar apoio à seleção inicial dos termoadesivos mais apropriados sem recorrer à utilização da placa de aquisição de dados, referido anteriormente no subcapítulo 3.4.6, utilizou-se um multímetro digital convencional *NEOTECK NTK017* capaz de medir facilmente os valores de resistência. Este equipamento permitiu reduzir a quantidade de ensaios a realizar e eliminar as opções menos aceitáveis, visto que neste estudo foram avaliadas dez termoadesivos distintos.

Este equipamento determina o valor de resistência no intervalo entre $[0\Omega$ a $20M\Omega]$ com resolução de $[0,1\Omega$ a $0,01M\Omega]$, respetivamente.

3.5. ENSAIOS DE MODIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste subcapítulo apresentam-se propostas de melhoria aos materiais testados neste estudo, no sentido de melhorar as condições de adesão entre o termoadesivo e o filme polimérico piezoresistivo. Sendo o termoadesivo um material isolante e o filme piezoresistivo pela sua natureza difícil de ser colado, o objetivo destas melhorias relaciona-se com a incompatibilidade do polímero piezoresistivo com os outros materiais e pelo efeito de barreira que um termoadesivo cria pela sua estrutura inicial (*film*). Assim, realizou-se a adaptação estrutural do filme piezoresistivo através do tratamento plasmático e o recorte de pequenos orifícios no termoadesivo que vai permitir o contato mecânico entre o tecido condutor e o filme piezoresistivo para manter as suas propriedades condutoras.

3.5.1. Tratamento plasmático

O plasma é definido como o quarto estado físico da matéria, em que os três estados comuns da matéria são: sólido, líquido e gasoso (Fig. 42). O plasma está num estado físico mais ativo que os anteriormente referidos. Este apresenta-se como um gás ionizado, quase neutro e quimicamente reativo, composto por uma mistura de eletrões, iões, moléculas atómicas, radicais livres e fotões que não estão ligadas a um átomo ou molécula.

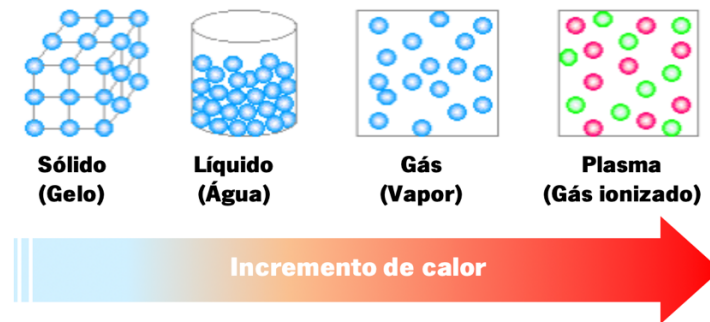


Fig. 42 Estados físicos da matéria.

A tecnologia de plasma assumiu uma grande importância entre todos os processos de modificação de superfícies têxteis disponíveis (Zille, Oliveira and Souto, 2015), pois permite a alteração da superfície sem modificar as propriedades dos diferentes materiais (Seki *et al.*, 2010).

A aplicação plasmática permite adicionar novas propriedades aos substratos têxteis, sendo utilizada na modificação de propriedades físicas e químicas em distintos polímeros têxteis (Morent *et al.*, 2008). O tratamento plasmático funcionaliza as superfícies de polímeros pela incorporação de grupos funcionais polares, causando diminuição do ângulo de contato e da rugosidade, conferindo melhor características aos materiais, como por exemplo a aderência (Parvinezadeh and Ebrahimi, 2011).

Os materiais ao serem submetidos a esta técnica beneficiam de modificações químicas e morfológicas significativas, melhorando assim a superfície do substrato e tornando-os os materiais mais acessíveis a várias espécies químicas, sem alterar as propriedades do material (Oliveira *et al.*, 2010), promovendo a ativação superficial e consequente melhoria de adesão, microporosidade e geração de polaridade (Shishoo, 2007; Oliveira, 2009).

Assim e de acordo com as melhorias constadas na literatura, neste estudo aplicar-se-á a descarga plasmática de barreira dielétrica (*DBD*) para garantir a ativação superficial do polímero piezoresistivo e melhorar a adesão aos outros materiais.

O *DBD* foi realizado na máquina protótipo semi-industrial (*Softal Electronics GmbH / Universidade do Minho*) (Fig. 43), operado à temperatura ambiente e à pressão atmosférica, utilizando um sistema de

Desenvolvimento Experimental

elétrodo metálico revestido com cerâmica e contra elétrodos revestidos com silicone com uma distância de abertura de 3mm e produzindo a descarga a uma tensão de 10kV e frequência de 40kHz.



Fig. 43 Equipamento DBD - Tratamento plasmático (acervo do autor).

A máquina foi operada nos parâmetros fixos otimizados de 1kW de potência e velocidade de 4m/min (Fig. 44 e Fig. 45).



Fig. 44 Parâmetros de potência DBD (acervo do autor).

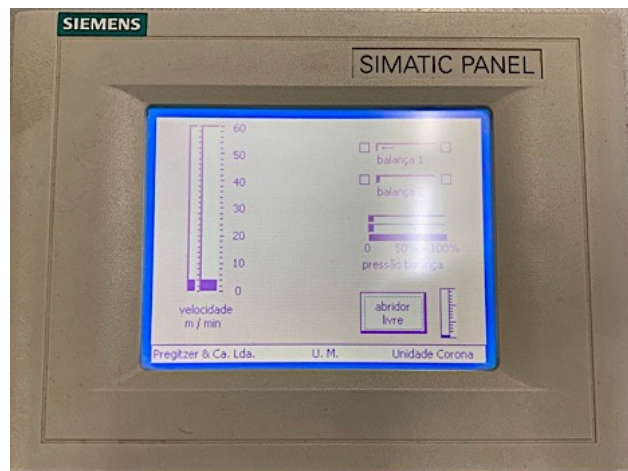


Fig. 45 Parâmetros de velocidade DBD (acervo do autor).

A dosagem de plasma aplicada ao material é influenciada pela potência submetida, número de passagens no campo de aplicação do *DBD* e velocidade do material.

A dosagem total a que esta amostra foi sujeita, pode ser calculada pela seguinte equação (4):

$$\begin{aligned} DT &= P \cdot N \cdot L & (4) \\ &= 1.5 \cdot 0,5 \\ &= 2,5 \text{ kW} \cdot \text{min}/\text{m}^2 \end{aligned}$$

Onde os parâmetros utilizados foram:

DT : Dosagem total

P : Potência submetida total = 1kW

N : Número de passagens submetida = 5 (frente e verso)

L : Largura = 0,5m

V: Velocidade = 4m/min

3.5.2. Recorte a laser

Neste estudo foi necessário utilizar o método de recorte a laser aos termoadesivos que se apresentaram sob a forma de filme contínuo. O termoadesivo possui características isolantes, pelo que na forma de filme, cria uma barreira que inutiliza a capacidade responsiva do sensor. Assim, os furos criados são necessários para permitir o contato elétrico entre os elétrodos e a camada piezoresistiva.

Apresenta-se na Fig. 46, a experiência realizada de recorte através de sistema CAM por sistema de coordenadas X e Y.

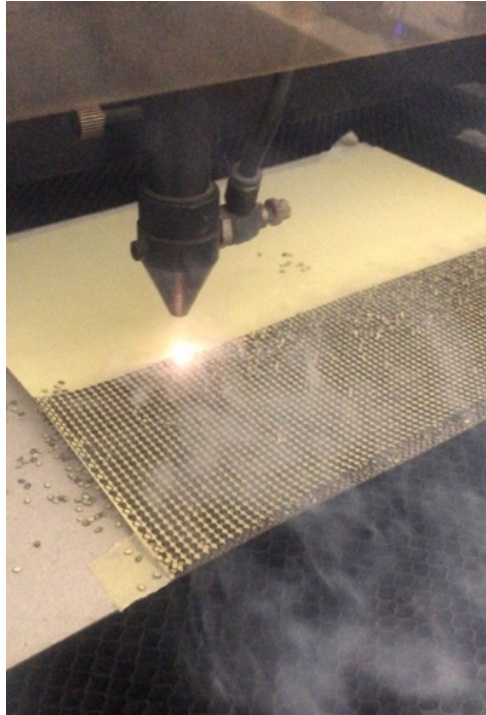


Fig. 46 Recorte a laser do termoadesivo (acervo do autor).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A apresentação de resultados está estruturada em 5 etapas, de acordo com o cronograma na Fig. 47. Este considera as etapas relativas à construção do sensor, à seleção do material termoadesivo e ao respetivo ensaio eletromecânico.

Aqui são abordados e apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados nos sensores, com o objetivo de selecionar os materiais mais adequados para a construção do sensor têxtil de pressão.

O sensor de pressão mais adequado deve oferecer garantias de repetibilidade e linearidade sendo ao mesmo tempo de construção resistente e durável.

Apresentam-se ainda os resultados relevantes às experiências realizadas em laboratório, em torno do funcionamento do sensor quando aplicada uma força/pressão cíclica controlada.

Por outro lado, na Fig. 48 apresenta-se o plano de experimentação referente às variáveis estudadas neste projeto.

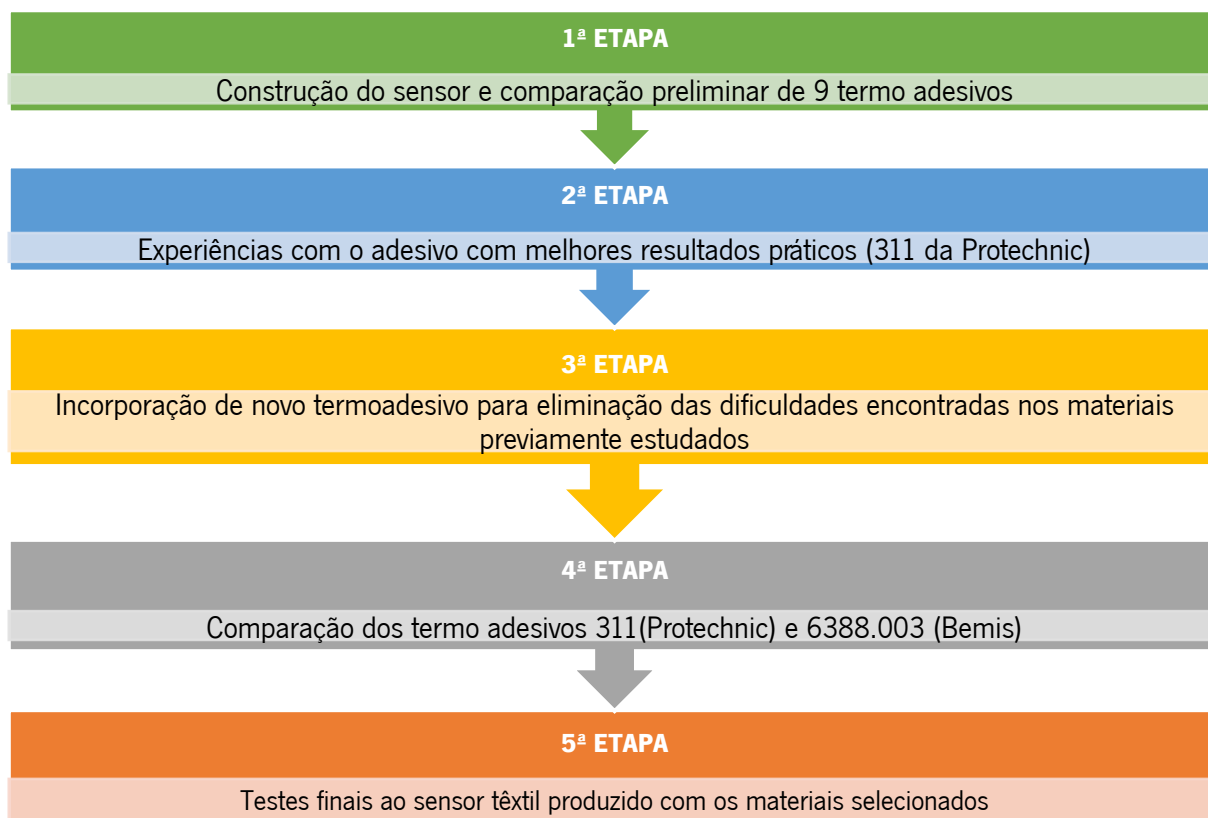


Fig. 47 Cronograma de resultados (acervo do autor).

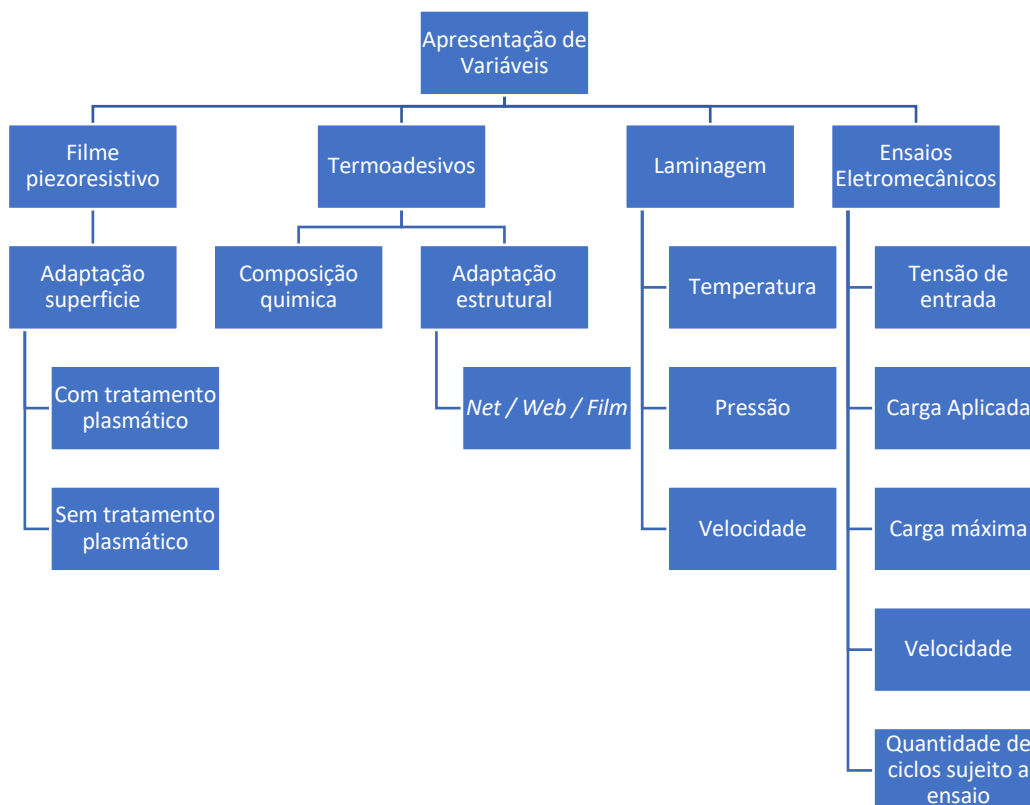


Fig. 48 Apresentação de variáveis (acervo do autor).

As diferentes fases descritas na (Fig. 47) revelam numa fase inicial a necessidade de estudar diferentes termoadesivos. Do lote inicial de 9 amostras, foi referenciada apenas 1 que combina os melhores resultados testados. Mesmo assim, esta referência (311) não se demonstrou adequada para a produção de um sensor têxtil final, verificando-se que com esta amostra o efeito piezoresistivo desaparecia. Assim, um novo material foi testado (3ª ETAPA) e comparado com o previamente selecionado (4ª ETAPA), que demonstrou maior adequabilidade à obtenção do sensor. Todos os resultados e avaliações efetuadas encontram-se descritas nos próximos subcapítulos.

4.1. CONSTRUÇÃO DO SENSOR E COMPARAÇÃO DOS TERMOADESIVOS

Os sensores testados utilizaram os materiais mencionados no ponto 3.1 de acordo com a Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7, construídos de acordo com o seguinte processo de montagem no ponto 3.2 e através do processo de laminagem de acordo com o ponto 3.3 (Fig. 49). Todos os sensores construídos neste estudo consistem no mesmo tecido condutor e filme piezoresistivo.



Fig. 49 Processo de laminagem (acervo do autor).

4.1.1. Adaptação da superfície do filme piezoresistivo

Quanto ao filme piezoresistivo *Linqstat*, um polímero de polietileno impregnado com carbono para o tornar condutor, apresenta-se com uma superfície lisa e plástica o que dificulta adesão ao termoadesivo. Assim, optou-se por aplicar descarga plasmática de barreira dielétrica (*DBD*), Fig. 50, nas duas faces da superfície, para garantir a ativação superficial, melhorar a acessibilidade do material e aumentar a eficácia de adesão no processo de laminagem.

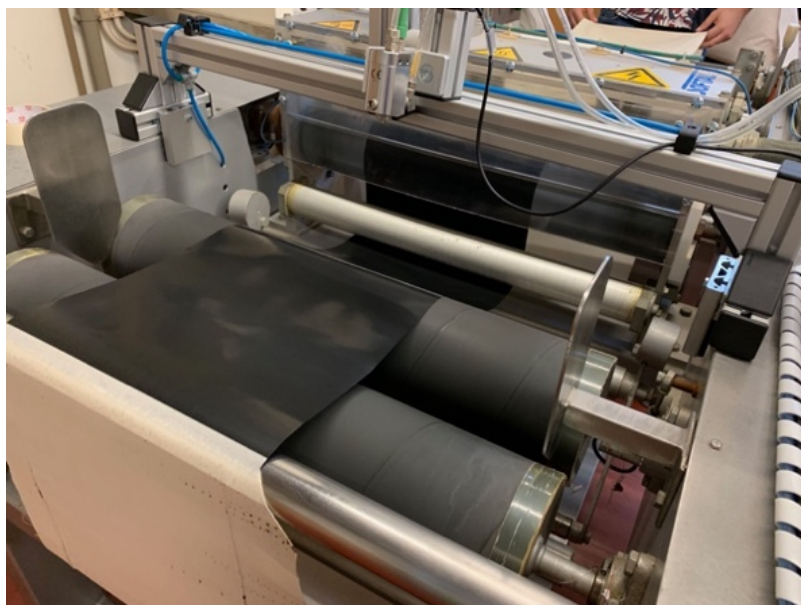


Fig. 50 Tratamento plasmático sobre *Linqstat* (acervo do autor).

Assim, através da técnica de microscopia eletrônica de varrimento de alta resolução (*SEM*), compararam-se as diferenças significativas do polímero face ao tratamento a que foi sujeito, sendo que pela literatura foi verificado que o tratamento plasmático iria influenciar a adesão do material termoadesivo e o tecido condutor.

É possível constatar na Tabela 11, as amostra 1 e 2 e os resultados obtidos quanto à análise superficial do filme piezoresistivo *Linqstat MVCF* no *SEM*. Verificam-se diferenças expressivas, principalmente, no aumento a 10000 vezes, em que se verificam alterações consideráveis na superfície, como maior rugosidade (bolhas e socalcos) e menor uniformidade das mesmas. Estas alterações na superfície do *Linqstat* justificam garantia de maior adesão ao termoadesivo. Assim, considera-se que o tratamento plasmático se denota como uma mais valia no processo de laminagem do sensor têxtil. Na Tabela 13 e Tabela 14 verifica-se a efetividade deste tratamento, com melhoria na colagem dos materiais.

Análise e discussão de resultados

Tabela 11 Resultados SEM - Linqstat com e sem tratamento plasmático.

Resolução	Amostra 1 (sem tratamento plasmático)	Amostra 2 (com tratamento plasmático)
Ampliação em alto-vácuo 250x □ 400µm		
Ampliação em alto-vácuo 500x □ 200µm		
Ampliação em alto-vácuo 1000x □ 100µm		
Ampliação em alto-vácuo 5000x □ 20µm		
Ampliação em alto-vácuo 10000x □ 10µm		

4.1.2. Apreciação qualitativa dos termoadesivos

Neste ponto os sensores laminados com os termoadesivos descritos na Tabela 7, foram analisados quanto às características de adesão, com e sem tratamento plasmático e o respetivo comportamento eletromecânico.

A abordagem dos resultados nesta fase são de carácter qualitativo, sendo que na Tabela 12 se apresentam os parâmetros e as condições de laminagem.

Tabela 12 Condições de laminagem - 1ª fase.

Condições de laminagem	
Processo	Laminagem
Máquina	Calandra
Temperatura	120°C
Velocidade	15" (37m/hora)
Pressão	20 ⁶ Pa

Na Tabela 13 e na Tabela 14 demonstra-se os resultados consequentes a estes ensaios. Os provetes utilizados têm a dimensão de 4x4cm.

De acordo com a Tabela 13, podemos verificar que os termoadesivos têm afinidade com o tecido condutor devido à sua estrutura irregular e por ser constituído por fibras de poliamida. Porém, quanto ao filme *Linqstat* não existe qualquer tipo de adesão ao filme piezoresistivo, verificando-se uma exceção do termoadesivo 311. Com este termoadesivo devido à sua composição química composta por poliolefinas verifica-se afinidade entre ambos. Ambos registam resultados positivos quanto à variação da resistência elétrica.

Tabela 13 Resultados de provetes sem tratamento plasmático (AQ).

1º Ensaio - Sem tratamento plasmático							
Nº	Termoadesivo	Estrutura	Avaliação qualitativa			Avaliação Resistência	
			Laminagem		Deformação <i>Linqstat</i>	Ohm s/pressão	Ohm c/pressão
			Tecido	<i>Linqstat</i>			
1	095	<i>Web</i>	✓	×	×	≈ 4,2kΩ	≈ 1,7kΩ
2	8140/1000/090	<i>Web</i>	✓	×	×	≈ 7,7kΩ	≈ 1,4kΩ
3	BFF 3000	<i>Net</i>	✓	×	×	≈ 13,7kΩ	≈ 4,12kΩ
4	BFF 3001	<i>Net</i>	✓	×	×	≈ 2,3kΩ	≈ 0,44kΩ
5	3410 C	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 7,78kΩ	≈ 2,18kΩ
6	3206	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 10,5kΩ	≈ 3,46kΩ
7	5256	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 17,4kΩ	≈ 4,99kΩ
8	3231	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 75kΩ	≈ 43,9kΩ
9	311	<i>Net</i>	✓	✓	×	≈ 2,40kΩ	≈ 1,38kΩ

Quanto à Tabela 14, podemos constatar melhorias na adesão aos dois materiais (condutor e piezoresistivo) devido à aplicação de tratamento plasmático no *Linqstat*, mais especificamente nos provetes 1, 2, 3 e 4. No entanto, nestes provetes as variações da resistência elétrica foram prejudicadas, pois com a aplicação de carga sobre os provetes não se verificou variação da resistência, significando que não existe comportamento piezoresistivo.

A aplicação do tratamento plasmático, sobre as amostras 5, 6, 7 e 8, não alterou as condições de adesão do termoadesivo ao filme piezoresistivo. Acrescenta-se que nos ensaios realizados, com e sem tratamento plasmático não existe deformação aparente do *Linqstat*.

Tabela 14 Resultados de provetes com tratamento plasmático (AQ).

2º Ensaio - Com tratamento plasmático							
Nº	Termoadesivo	Estrutura	Avaliação qualitativa			Avaliação Resistência	
			Laminagem		Deformação <i>Linqstat</i>	Ohm s/pressão	Ohm c/pressão
			Tecido	<i>Linqstat</i>			
1	095	<i>Web</i>	✓	✓	×	≈ 106Ω	≈ 106Ω
2	8140/1000/090	<i>Web</i>	✓	✓	×	≈ 131Ω	≈ 131Ω
3	BFF 3000	<i>Net</i>	✓	✓	×	≈ 6Ω	≈ 6Ω
4	BFF 3001	<i>Net</i>	✓	✓	×	≈ 25.9Ω	≈ 25.9Ω
5	3410 C	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 115kΩ	≈ 84kΩ
6	3206	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 340kΩ	≈ 140kΩ
7	5256	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 151kΩ	≈ 109kΩ
8	3231	<i>Film</i>	✓	×	×	≈ 130kΩ	≈ 95kΩ
9	311	<i>Net</i>	✓	✓	×	≈ 4,33kΩ	≈ 2,10kΩ

Assim, e de acordo com a Tabela 14, identifica-se que o termoadesivo 311 entre os restantes provetes testados, obteve resultados positivos de adesão e mantém variação da resistência, pelo que será escolhido para a etapa seguinte e será utilizado o material *Linqstat* com tratamento plasmático.

4.2. EXPERIÊNCIAS COM O TERMOADESIVO 311

Nestes ensaios, e após os ensaios qualitativos da etapa anterior, estudou-se o termoadesivo 311 *net* a vários níveis, de modo a obter uma caracterização mais rigorosa e assertiva.

Os provetes com a mesma dimensão de 4x4cm (Fig. 51) foram testados a diferentes temperaturas, com e sem tratamento plasmático, e monitorizados quanto ao seu desempenho. Na Tabela 15 apresentam-se as condições de laminagem para a construção do sensor com o termoadesivo 311.

Tabela 15 Condições de laminagem - termoadesivo 311

Condições de laminagem	
Processo	Laminagem
Máquina	Calandra
Temperatura	100°C - 140°C
Velocidade	15" (38,1m)/hora
Pressão	200kPa

Estes foram conectados ao dinamómetro e ao sistema *DAQ* de acordo com o circuito apresentado na Fig. 35. **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

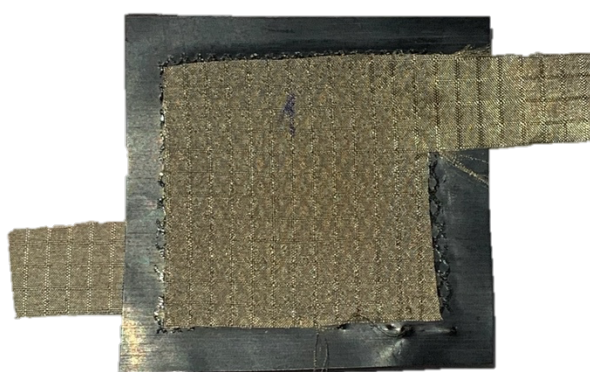


Fig. 51 Provete de sensor têxtil 4x4cm (acervo do autor).

Na Tabela 16 e na Tabela 17 informam-se os parâmetros introduzidos no sistema de aquisição de dados.

Tabela 16 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão - 311.

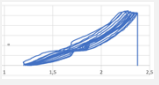
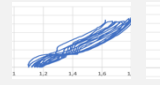
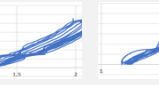

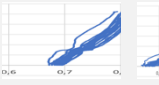
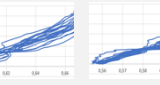

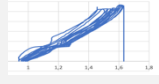
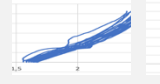
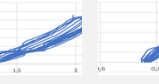

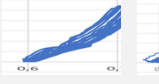
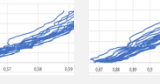

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Velocidade	50mm/min
Força aplicada	50N
Pré-carga	2N
Ciclos	10 repetições

Tabela 17 Parâmetros no *DAQ* para a aquisição de tensão - Etapa 311.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Resistência circuito	200Ω
Tensão de entrada	0,50V
Frequência de amostragem	1000 amostras/s

Na Tabela 18 apresentam-se os resultados obtidos quanto aos sensores com termoadesivo 311net.

Tabela 18 Resultados eletromecânicos ao sensor com termoadesivo 311net.

		Temperaturas							
		100°C	110°C	115°C	120°C	125°C	130°C	135°C	140°C
Sem plasma		1,2 – 2,4V	1,6 – 2,6V	1,2 – 2,2V	1,2 – 1,8V	0,65 – 0,79V	0,69–0,81V	0,59–0,69V	0,56 – 0,62V
									
Com plasma		0,9 - 1,7V	1,1 - 1,9V	1,2 – 1,9V	0,75 – 0,9V	0,75 – 1,1V	0,60–0,72V	0,50–0,60V	0,87– 0,95V
									

De acordo com a Tabela 18, verifica-se boa adesão aparente dos materiais a várias temperaturas e não existe degradação do filme piezoresistivo. Quanto a resultados elétricos, verifica-se pouca repetibilidade e baixa linearidade entre os ciclos de compressão exercidos. Nos resultados verifica-se uma quebra no deslocamento da curva no movimento compressivo, provocado por uma folga entre o impactador e a base plana. Para os próximos ensaios este problema foi corrigido.

No Anexo 13 e Anexo 14 encontram-se os dados completos resultantes deste ensaio.

Os resultados exibidos revelam-se como poucos satisfatórios nos ensaios realizados, tendo-se decidido ensaiar um material termoadesivo diferente.

4.3. NOVO MATERIAL TERMOADESIVO 6388.003

Face aos resultados insatisfatórios revelados pelo 311net apresentados nos pontos anteriores, foi decidido introduzir um novo material na tentativa de colmatar esta situação. Assim, e tendo como base a boa afinidade entre os outros materiais e o filme 311net, foi selecionado o termoadesivo 6388.003 que apresenta composição química similar (Poliiolefina) variando a estrutura – filme.

Nos capítulos seguintes será caracterizado este novo material e ainda a comparação do mesmo em relação ao previamente selecionado 311net.

4.4. COMPARAÇÃO DOS TERMOADESIVOS 311 E 6388.003

Por conseguinte, neste ponto, introduz-se o termoadesivo 6388.003 *film* para análise e comparação direta com o termoadesivo 311 – sendo este o termoadesivo que até então tinha apresentado melhor interligação com o tecido condutor e o filme piezoresistivo (Tabela 14).

Assim, numa fase inicial realizaram-se ensaios qualitativos eletromecânicos aos termoadesivos 311 *net* e ao novo 6388.003 *film*. Na Tabela 19 apresentam-se as condições de laminagem para a construção do sensor e na Tabela 20 apresentam-se os dados avaliando os seguintes parâmetros: adesão, deformação e variação da resistência (com e sem aplicação de carga).

Tabela 19 Condições de laminagem – Comparação de termoadesivos 311 e 6388.003.

Condições de laminagem	
Processo	Laminagem
Máquina	Calandra
Temperatura	80°C - 130°C
Velocidade	15" (38,1m)/hora
Pressão	200kPa

A temperatura relativa ao processo de laminagem apresentada na Tabela 19 é a temperatura corrigida de acordo com o desvio verificado no Ensaio termográfico – Calandra.

Para a caracterização deste sensor produziram-se amostras com as dimensões 20x15cm, de acordo com a Fig. 20.

Tabela 20 Comparação dos termoadesivos 311 e 6388.003.

	80°C		90°C		100°C		110°C		120°C		130°C	
	311	6388	311	6388	311	6388	311	6388	311	6388	311	6388
Termoadesivo												
Adesão	×	×	✓	✓	✓ ⁽¹⁾	✓	✓ ⁽¹⁾	✓	×	×	×	×
Deformação	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
Variação de resistência	≈9Ω / ≈9Ω	≈29Ω / ≈29Ω	≈6Ω / ≈6Ω	≈1,7kΩ / ≈1,7kΩ	≈7Ω / ≈7Ω	≈5,4kΩ / ≈5,4kΩ	≈20Ω / ≈20Ω	≈2,3kΩ / ≈2,3kΩ	×	×	×	×

Sendo:

✓ = Valores aceitáveis

✓⁽¹⁾ = Existe trespassse da cola para a face oposta do tecido

×

Os valores apresentados de resistência são indicativos, no entanto, é possível verificar que tanto o termoadesivo 311 *net* e 6388.003 *film*, após aplicação de carga não apresentam quaisquer variações de resistência, sendo este um facto inibidor para o funcionamento do sensor, pois não permite as medições desejadas com base na sua piezoresistividade.

Sendo o termoadesivo um material dielétrico, é natural que o termoadesivo 6388.003, com estrutura *film* tenha este comportamento, no entanto, a 311 *net* sendo micro perfurada não deveria apresentar este tipo de comportamento. O facto de não existir comportamento piezoresistivo é sinal que no processo de laminagem exista a migração de partículas condutoras entre as camadas que permita o contato elétrico entre elas.

Com estes resultados, é possível também verificar que os valores de resistência do termoadesivo 6388.003 *film* são superiores ao 311 *net*, verificando-se na Tabela 20, que para a temperatura de 100°C a amostra 311 *net* apresenta em 7Ω de resistência, enquanto que a amostra 6388.003 *film* apresenta valores na ordem dos 5,4kΩ.

Por esta análise, obteve-se ainda a informação da temperatura ideal para o processo de laminagem (100°C), verificando-se degradação do *Linqstat* após os 120°C.

Assim, com estes resultados prévios, foi necessário realizar mais estudos que promovessem a compreensão dos materiais a utilizar, como a análise térmica dos materiais, adaptação estrutural e a microscopia eletrónica.

4.4.1. Análise térmica dos materiais dos sensores – DSC

Através do método de caracterização *DSC* - calorimetria diferencial de varrimento, analisaram-se os principais materiais utilizados na produção deste sensor (tecido condutor, filme piezoresistivo, termoadesivos 311 e 6388).

No primeiro caso, analisaram-se as curvas resultantes do **tecido condutor**, tecido *Statex Shieldex® BremenRs*, composto por fibras de poliamida revestidas por prata 99% pura onde se verificaram dois picos endotérmicos (Fig. 52).

O primeiro pico encontra-se associado à temperatura de transição vítrea T_g da poliamida 6.6 que está teoricamente caracterizada aos 50°C (O' Neill, 2003). Este primeiro pico poderá ser ligeiramente maior que o convencional, pela presença de prata na estrutura, sendo que a temperatura de fusão da prata acontece aos 210°C (Shi *et al.*, 2011; Hammad and El-Molla, 2016).

O segundo pico endotérmico situado na região [252,48; 265,68]°C estará associada à temperatura de fusão da poliamida 6.6, revista na literatura por volta dos 265°C (O' Neill, 2003).

Análise e discussão de resultados

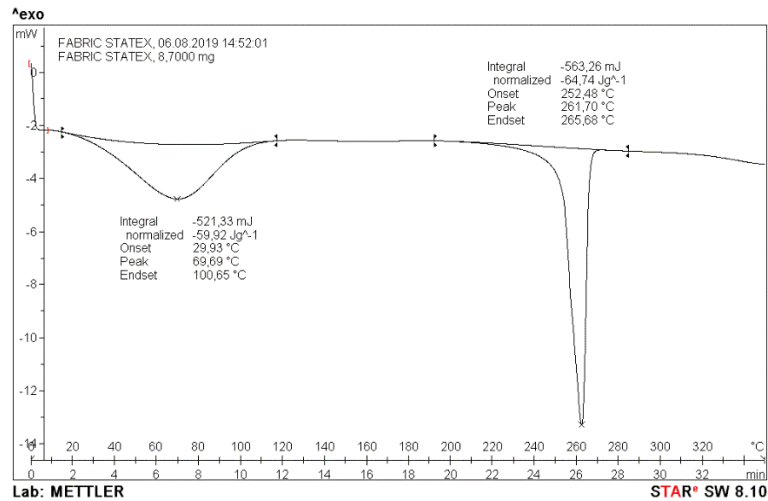


Fig. 52 DSC tecido condutor (acervo do autor).

Na segunda análise, verificou-se as curvas DSC referente ao **filme polimérico piezoresistivo Linqstat MVCF**, composto por polietileno impregnado com carbono (Fig. 53).

Pode verificar-se a T_g situa-se nos [117,7; 128,7]°C e a T_m é de 124,3°C.

Apresenta variação de entalpia endotérmica, confirmando a fusão do material.

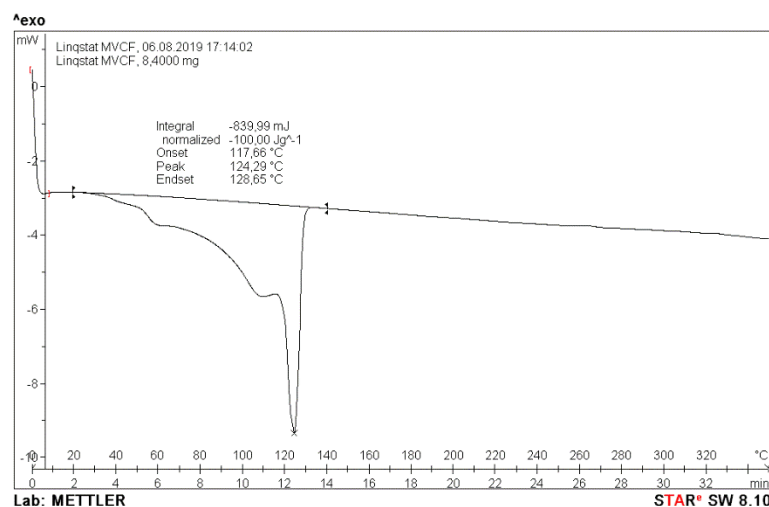


Fig. 53 DSC filme polimérico piezoresistivo (acervo do autor).

Na terceira análise, verificou-se as curvas DSC referente ao **termoadesivo 6388.003**, de composição acrilato de etileno (Fig. 54).

Pode verificar-se a T_g situa-se entre [51,8; 65,1] e [74,7; 99,1] °C e a T_m é de 58,20°C e 88,2°C.

Neste ensaio ocorreu o processo endotérmico, porém apresenta-se através de dois sistemas térmicos, que se deve à ocorrência de um processo físico e químico, sendo a respectiva temperatura de

transição vítrea e fusão do material. De acordo com a ficha técnica de produtor, os valores de temperatura de fusão são correspondentes.

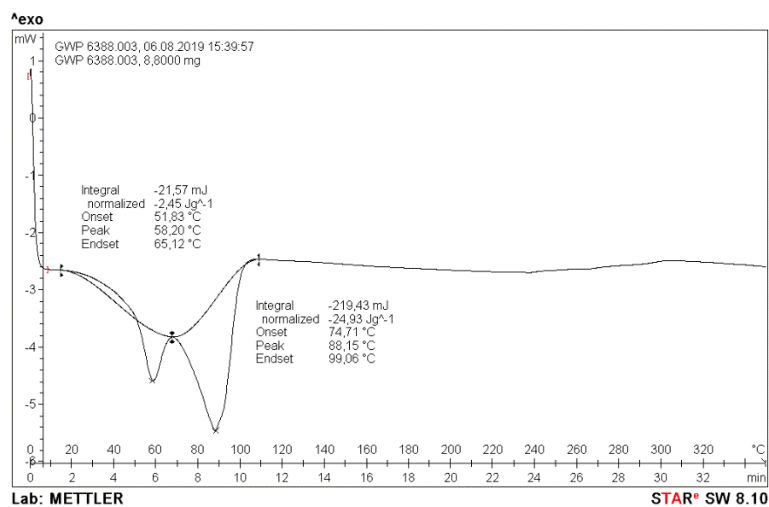


Fig. 54 DSC termoadesivo 6388.003 (acervo do autor).

Na quarta e última análise, analisou-se as curvas referente ao **termoadesivo 311net** (Fig. 55), com composição C_nH_{2n}, polímero composto por monómero de poliolefinas simples.

Pode verificar-se a T_g situa-se nos [68,5; 90,5]°C e a T_m é de 84,7°C.

Apresenta variação de entalpia endotérmica, confirmando a fusão do material e estando correspondente com a ficha técnica do produtor.

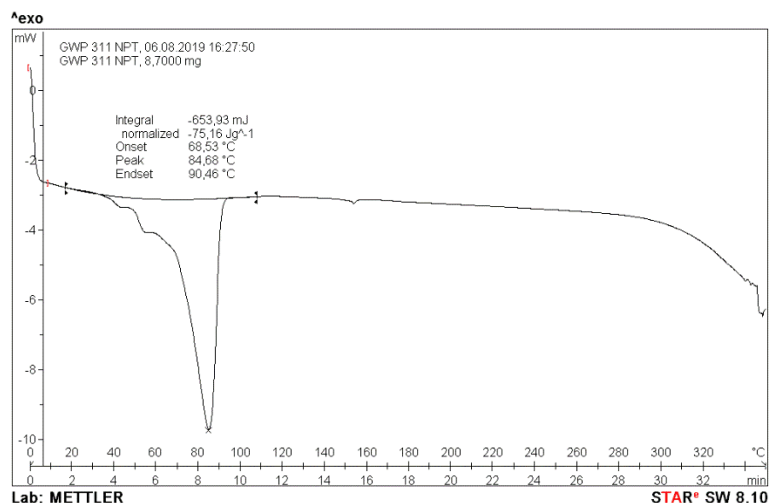


Fig. 55 DSC termoadesivo 311net (acervo do autor).

Em termos gerais, obteve-se os seguintes resultados referente às temperaturas de fusão (Tabela 21):

Tabela 21 Resultados gerais da temperatura de fusão dos materiais.

Material testado	T_m
Tecido Condutor <i>Statex Shieldex</i>	261,7°C
Filme Piezoresistivo <i>Linqstat MVCF</i>	124,3°C
Termoadesivo 6388.003	88,2°C
Termoadesivo 311 <i>net</i>	84,7°C

4.4.2. Análise micro estrutural dos sensores – SEM

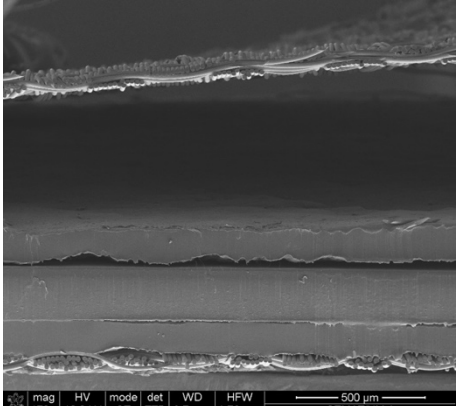
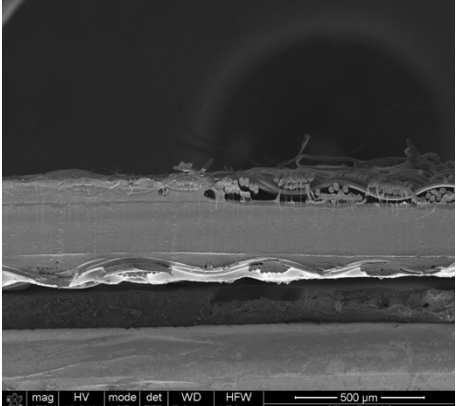
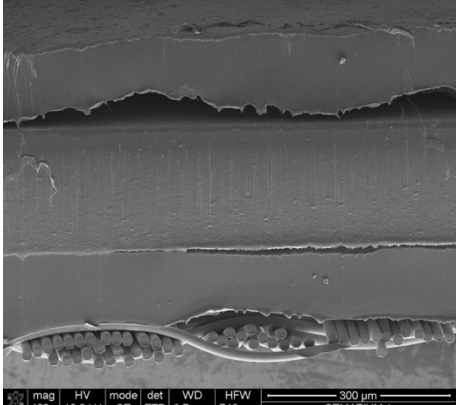
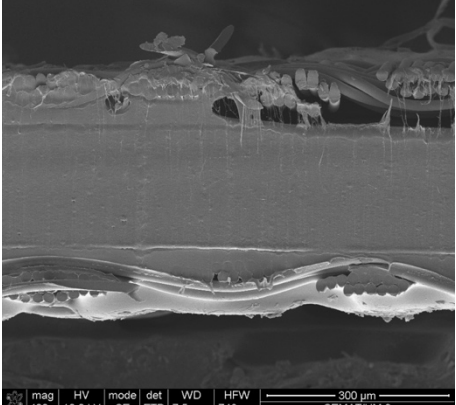
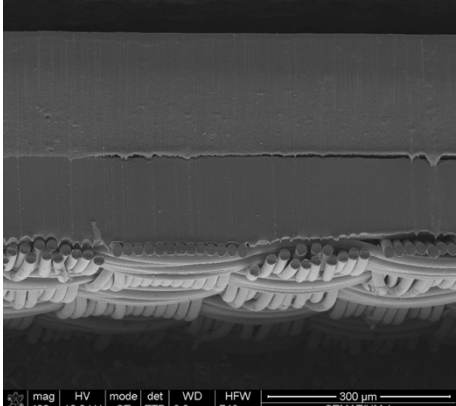
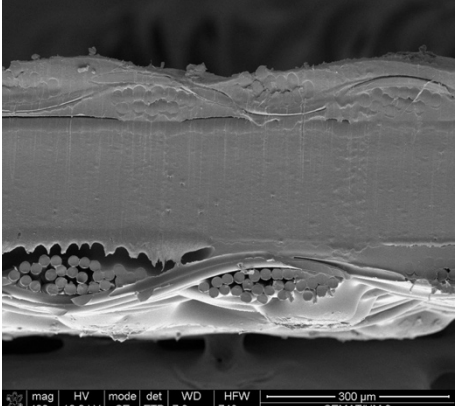
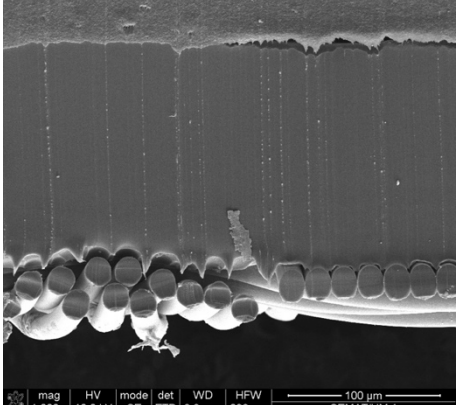
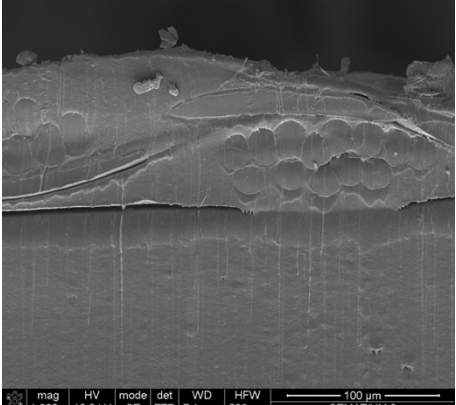
Foi perceptível nesta fase que a amostra 6388.003 *film* poderia ser mais adequada à construção do sensor pretendido porque garantia melhor adesão, havendo, no entanto, a restrição de se apresentar em filme o que o torna um material isolante, enquanto que o 311 *net* apresentava perfurações e permitia que existisse o contato elétrico entre as camadas. Foi então realizado um pré-teste com perfuração aleatória sobre a amostra 6388.003 *film*, realizado o processamento da estrutura laminada sob a forma de sensor e avaliados ambos as estruturas com os diferentes materiais termoadesivos no *SEM*.

Através da técnica de microscopia eletrônica de varrimento de alta resolução, demonstra-se o corte transversal do sensor nos dois termoadesivos. Com este ensaio também é possível analisar o comportamento dos materiais após o processo de laminagem e como se realiza a adesão dos materiais.

Na Tabela 22, apresentam-se as amostras 1 e 2 (6388.003 *net* e 311 *net*, respectivamente) em várias perspectivas e ampliações.

Análise e discussão de resultados

Tabela 22 Corte transversal do sensor têxtil.

Resolução	Amostra 1 (6388.003 net)	Amostra 2 (311 net)
Ampliação em alto-vácuo 170x □ 500µm		
Ampliação em alto-vácuo 400x □ 300µm		
Ampliação em alto-vácuo 400x □ 300µm		
Ampliação em alto-vácuo 1000x □ 100µm		

Face às imagens obtidas à amostra 1 e apresentados na Tabela 22, 6388.003 *net*, verifica-se que o termoadesivo adere com coerência à superfície do tecido condutor, não existe trespasse da cola entre os materiais.

Por outro lado, não tão animadores são os ensaios realizados à amostra 2, 311 *net*. Verifica-se que a cola trespasa o tecido condutor. O termoadesivo derrete e funde, mesmo laminado a temperaturas baixas, funde e submerge ao tecido condutor que acaba por criar uma película superficial tênue de cola, tornando se assim um material condutor e removendo desta o efeito piezoresistivo pretendido.

Pode verificar-se através da figura seguinte (Fig. 56), e em maior detalhe a reação dos termoadesivos após o processo de laminagem sobre o tecido condutor. Quanto ao tecido condutor com o termoadesivo 6388.003 verifica-se que está visivelmente intacto e que a cola apenas aderiu à parte avessa do tecido, em quanto que o tecido condutor com o termoadesivo 311 *net* encontra-se submergido por cola em toda a sua face.

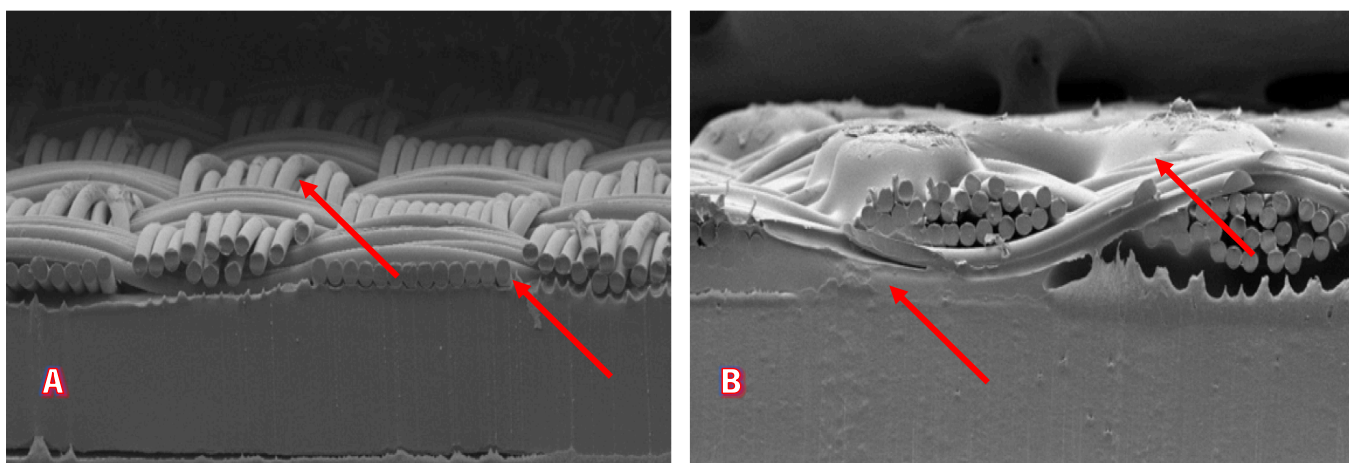


Fig. 56 Comparação do sensor laminado com os termoadesivos testados

a) 6388.003 e b) 311net (acervo do autor).

Para assegurar que efetivamente se trata de cola na superfície, analisaram-se posteriormente as amostras com e sem aplicação de termoadesivo através do equipamento estereomicroscópio, onde é possível confirmar visualmente (Fig. 57 e Fig. 58) que existe trespasse de cola para a superfície do tecido condutor. É possível verificar que em alguns pontos da contextura do tecido foram cobertos por cola.

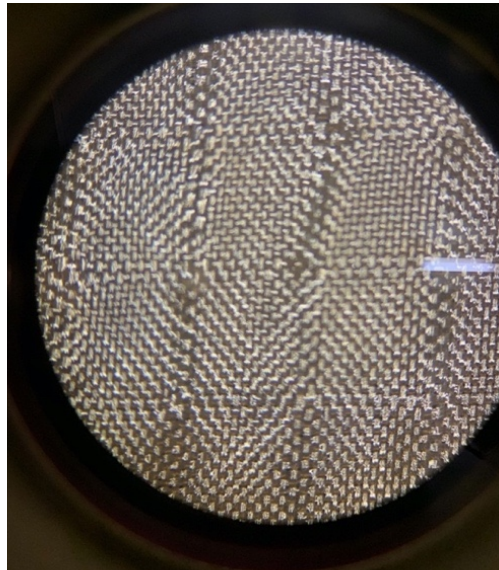


Fig. 57 Tecido condutor não laminado (acervo do autor).

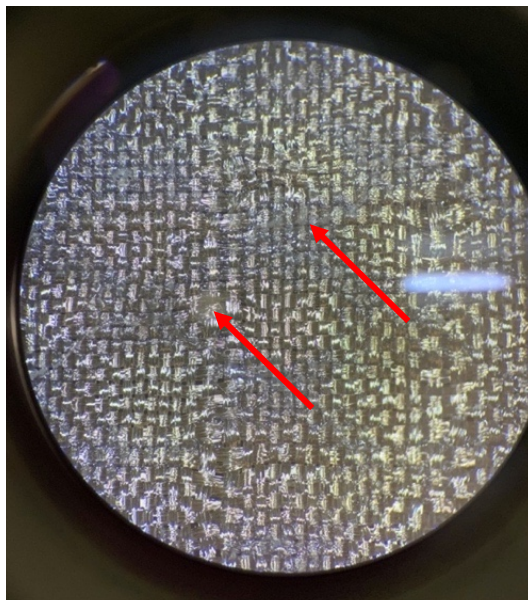


Fig. 58 Tecido condutor laminado com cola à superfície (acervo do autor).

Para acrescentar, em ambos os casos, demonstra-se que não existe fusão do *Linqstat* e que os materiais adjacentes não modificaram estruturalmente o filme piezoresistivo, por outro lado o tecido condutor e o eventual contato com o filme piezoresistivo sofre alterações.

Conclui-se assim, que o termoadesivo amostra 1 (6388.003 *net*), garante melhor adesão do que a amostra 2 (311 *net*) apresenta-se menos intrusivo e não se mistura com as fibras do tecido condutor, pelo que será este o termoadesivo a utilizar na prototipagem final.

4.4.3. Adaptação estrutural do termoadesivo 6388.003 *film*

Verificando-se no passo anterior que a amostra 6388.003 *film* seria mais adequada a este processamento, foram realizadas várias operações para homogeneizar a perfuração da estrutura.

Para que a comparação antecedente dos termoadesivos seja mais específica e mais precisa, realizou-se a adaptação estrutural ao termoadesivo 6388.003, tornando-o mais similar em termos estruturais ao 311 *net*.

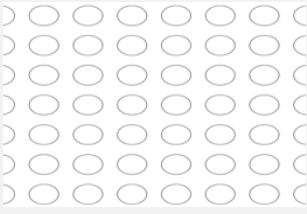
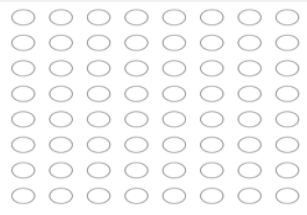
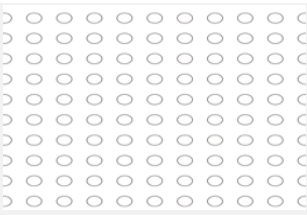
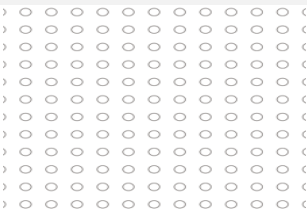
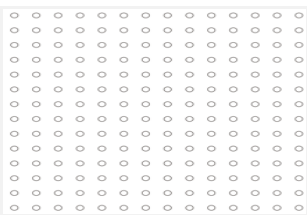

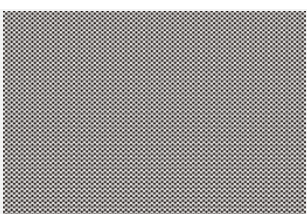
Através da técnica de recorte a laser procedeu-se ao recorte do termoadesivo 6388.003 *film*, criando pequenas perfurações com diâmetros e espaçamentos distintos entre as circunferências numa área total de 300cm² (20x15cm).

Logo, a modificação do termoadesivo *film* para estrutura *net* permitirá o contato elétrico entre as camadas do sensor e o respetivo funcionamento do sensor.

Na Tabela 23 demonstra-se os recortes realizados, áreas correspondentes e calcula-se a área de adesão superficial termo colada e área de superfície livre do sensor. De referir, que os desenhos apresentados na tabela, não se encontram à escala real, sendo meramente exemplares. Neste sentido, o diâmetro e a quantidade de circunferências não coincidem.

Análise e discussão de resultados

Tabela 23 Dimensões de corte e área obtidas no recorte a laser.

	<i>Desenho / Esboço</i>	Diâmetro da circunferência	Distância entre circunferências <small>(x = largura / y = altura)</small>	Área de adesão superficial <small>(Tecido + Piezoresistivo termo colados)</small>	Área de superfície livre <small>(Sem contacto nos materiais = Ar)</small>
A		2 cm	x – 1cm y – 1cm	205,8 cm ² 68,6%	94,2 cm ² 31,4%
B		1,5 cm	x – 1cm y – 1cm	215,04 cm ² 71,7%	84,96 cm ² 28,3%
C		1 cm	x – 1cm y – 1cm	245,05 cm ² 81,7%	54,95 cm ² 18,3%
D		0,75 cm	x – 1cm y – 1cm	265,97 cm ² 88,7%	34,03 cm ² 11,3%
E		0,5 cm	x – 1cm y – 1cm	277,07 cm ² 92,4%	22,93 cm ² 7,6%
F		0,3 cm	x – 0,2cm y – 0,2cm	212,67 cm ² 70,9%	87,33 cm ² 29,1%
G		0,3 cm	x – 0,2cm y – 0,1cm	124,06 cm ² 41,3%	175,94 cm ² 58,7%

Numa fase inicial foram apenas testadas as perfurações A, B, C, D e E.

Com o intuito de melhorar os resultados, foram adicionados posteriormente mais duas perfurações F e G. De seguida serão apresentados os ensaios das amostras com diferentes perfurações que permitirão a validação final do protótipo a utilizar.

4.4.4. Testes finais para validação da perfuração a utilizar

Face aos ensaios anteriores que caracterizaram os dois termoadesivos, neste ponto o estudo basear-se-á unicamente ao sensor utilizando o termoadesivo 6388.003 *film*, visto que esta seleção de materiais apresentou os melhores resultados

Inicialmente, realizaram-se os ensaios eletromecânicos aos sensores com o termoadesivo modificado estruturalmente e apresentado na Tabela 23. As estruturas seleccionadas foram: **A** (2cm), **B** (1,5cm), **C** (1cm), **D** (0,75cm) e **E** (0,5cm), conforme a Fig. 59 apresentada.

Com a realização destes ensaios procura-se compreender qual a relação entre as várias estruturas recortadas e o comportamento eletromecânico que apresentam.

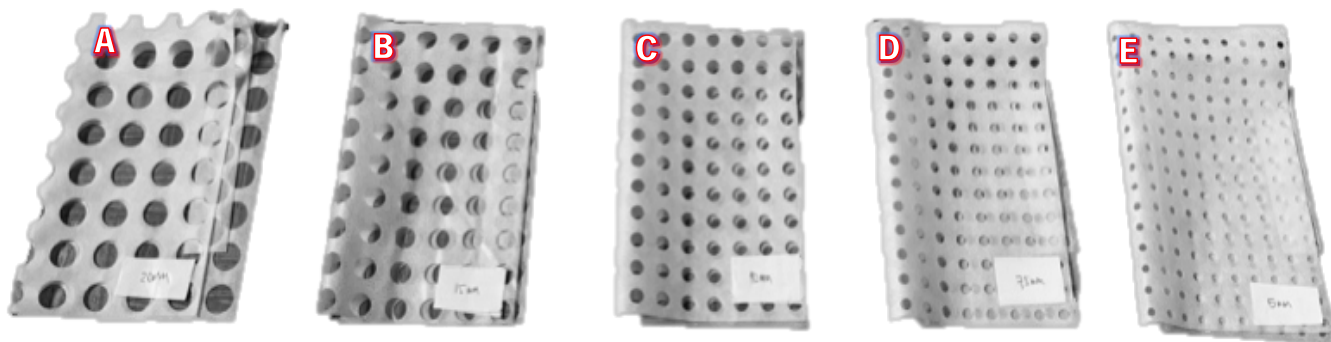


Fig. 59 Provetes modificados do termoadesivo 6388.003net (acervo do autor).

Para a realização destes ensaios, os parâmetros introduzidos no sistema de aquisição de dados (compressão e tensão) estão apresentados na Tabela 24 e

Tabela 25.

Tabela 24 Parâmetros no dinamômetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Velocidade	50mm/min
Força aplicada	500N
Carga inicial	2N
Ciclos	10 repetições

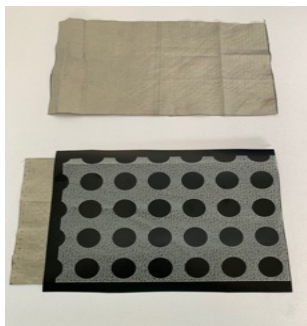

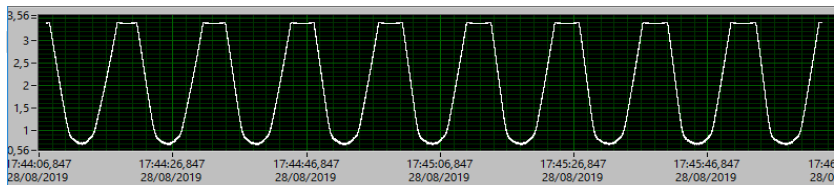
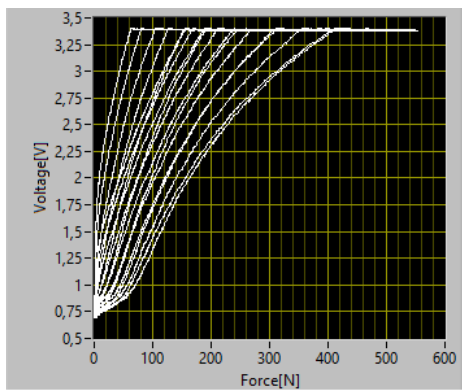
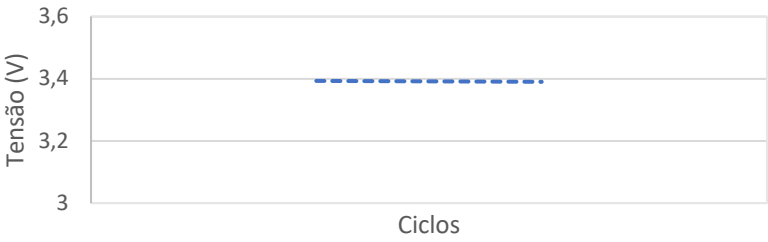
Tabela 25 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Resistência circuito	200Ω
Tensão de entrada	0,50V
Frequência de amostragem	1000 amostras/s

Análise e discussão de resultados

A Tabela 26 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura A.

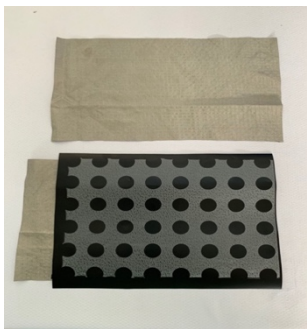

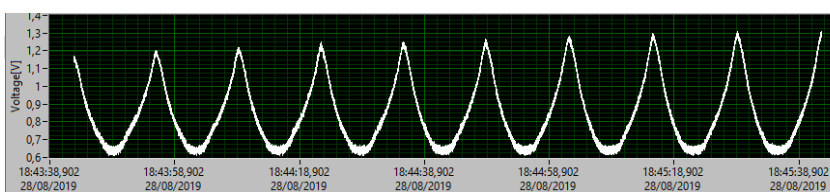
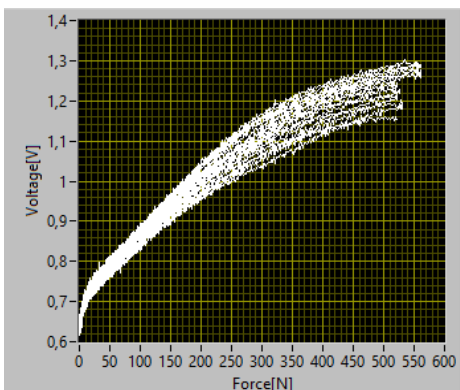
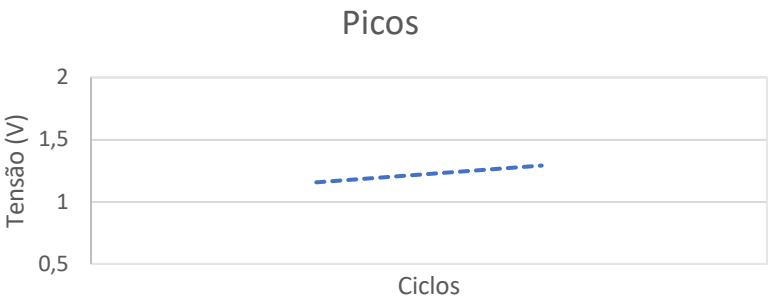
Tabela 26 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A).

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
A 2cm	31,4%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 		
Resultados	<p>O ensaio apresentado referente à estrutura com 2cm de diâmetro apresenta saturação na tensão aplicada no DAQ. Este ensaio será repetido com alterações à tensão de entrada no DAQ.</p>		

Análise e discussão de resultados

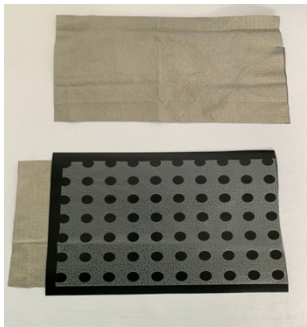

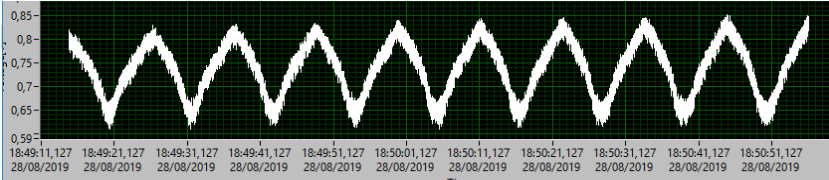
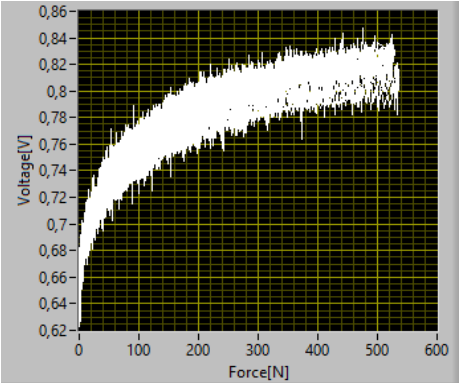
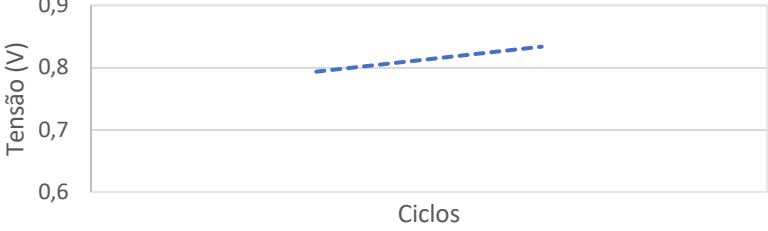
A Tabela 27 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura B.

Tabela 27 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 1,5cm (B).

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
B 1,5cm	28,3%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 		
Resultados	<p>O ensaio apresentado referente à estrutura com 1,5cm de diâmetro apresenta dispersão devido ao aumento constante do pico máximo de tensão produzido. O ensaio apresenta ruído no sinal.</p>		

A Tabela 28 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura C.

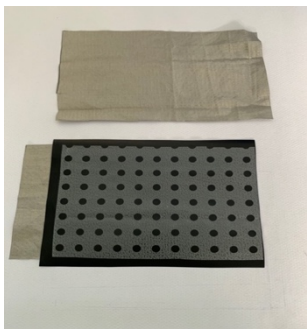

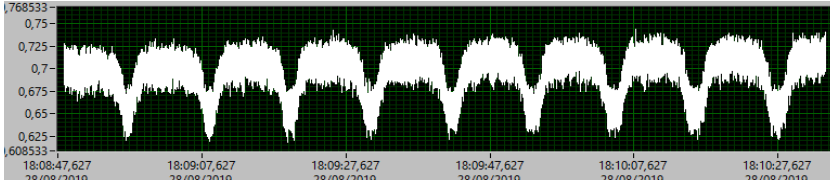
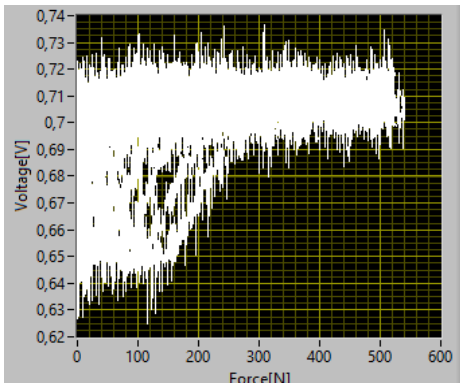
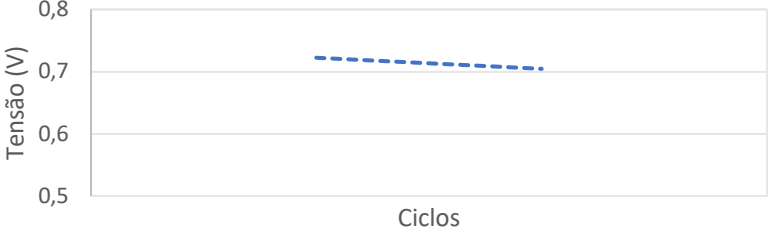
Tabela 28 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 1cm (C).

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
C 1cm	18,3%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 		
Resultados	<p>O ensaio apresentado referente à estrutura com 1cm de diâmetro apresenta dispersão devido ao aumento constante do pico máximo de tensão produzido. Apresenta bastante ruído por todo o ensaio.</p>		

Análise e discussão de resultados

A Tabela 29 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura D.

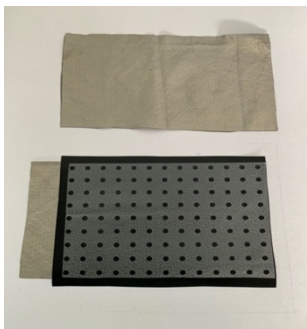

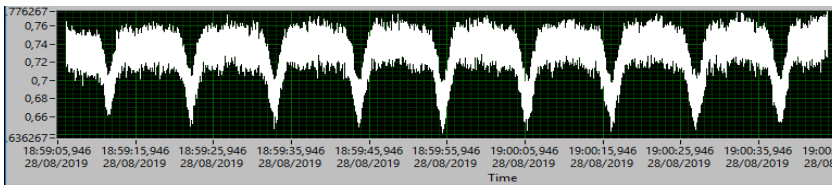
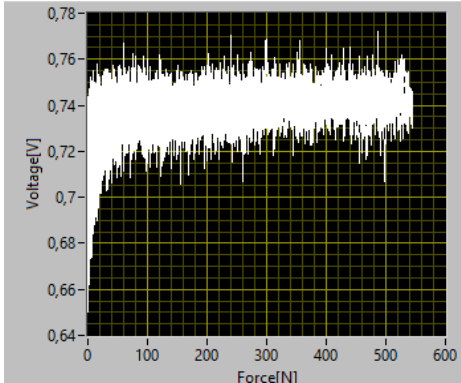
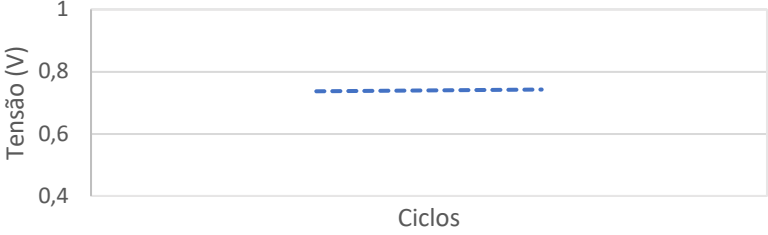
Tabela 29 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 0,75cm (D).

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
D 0,75cm	11,3%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p>Picos</p> 		
Resultados	<p>O ensaio apresentado referente à estrutura com 0,75cm de diâmetro apresenta problemas eletromecânicos. Verifica-se ruído constante. A variação da amplitude encontra-se nos 5% entre os ciclos.</p>		

Análise e discussão de resultados

A Tabela 30 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura E.

Tabela 30 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 0,5cm (E).

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
E 0,5cm	7,6%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 		
Resultados	<p>O ensaio apresentado referente à estrutura com 0,5cm de diâmetro apresenta problemas eletromecânicos. Verifica-se ruído constante. A variação da amplitude encontra-se nos 0,6% entre os ciclos.</p>		

Análise e discussão de resultados

Face aos resultados anteriores, e visto que o sensor A (Tabela 26) apresenta saturação a nível da tensão e linearidade alta, realizou-se novos ensaios a este sensor. Os ensaios foram realizados com a parametrização apresentada na Tabela 31 e na Tabela 32, que apresenta modificações aos parâmetros iniciais na tensão de saída (de 0,5V para 0,10V) de forma a ser evitada a saturação do sensor.

Tabela 31 Parâmetros no dinamómetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net (Estrutura A).

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Velocidade</i>	50mm/min
<i>Força aplicada</i>	500N
<i>Pré-carga</i>	2N
<i>Ciclos</i>	10 e 100 repetições

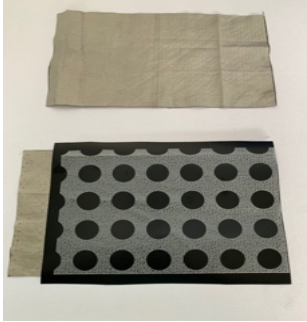

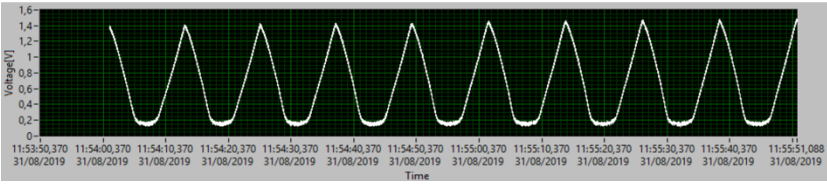
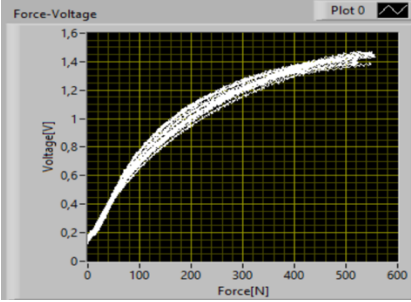

Tabela 32 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net (Estrutura A).

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Resistência circuito</i>	200 Ω
<i>Tensão de saída</i>	0,10V
<i>Frequência de amostragem</i>	1000 amostras/s

Análise e discussão de resultados

A Tabela 33 apresenta os novos resultados eletromecânicos referentes à estrutura A, de acordo com a nova parametrização.

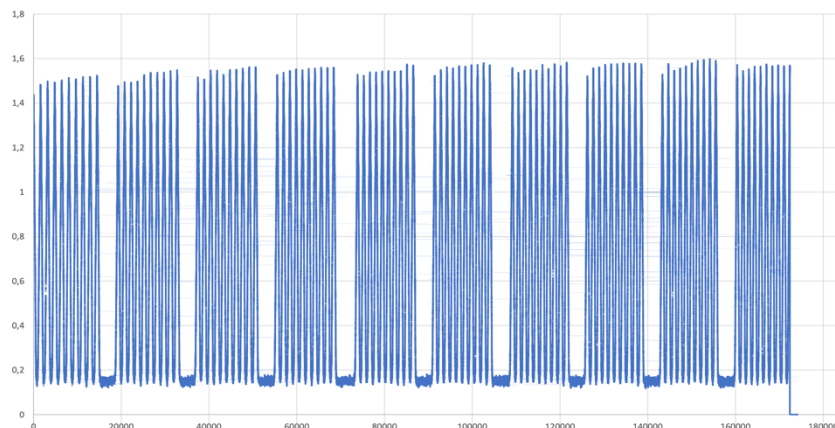
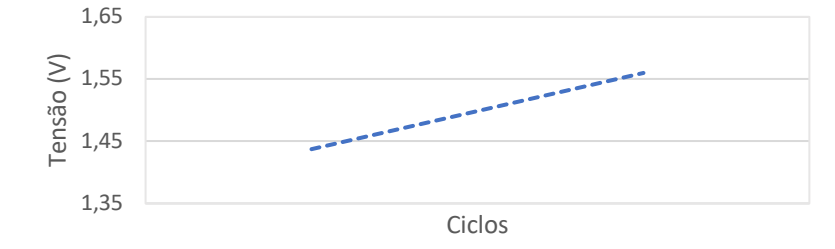
Tabela 33 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A) – 10 ciclos.

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
A 2cm	31,4%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
	Tensão Vs força		
	Variação da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 	
	Resultados	<p>O ensaio apresentado é referente à estrutura de 2cm, este apresenta resultados positivos. Não exibe saturação a nível da tensão, pois os parâmetros foram ajustados para 0,10V (Tabela 32).</p> <p>Quanto ao comportamento do sensor, apresenta melhor resultado que os anteriores e com variação de amplitude em 4,5% no ciclo aplicado.</p> <p>Em termos gerais, o sensor testado apresenta razoável desempenho eletromecânico.</p>	

Análise e discussão de resultados

Por conseguinte, o mesmo sensor A foi testado em condições de ciclo mais prolongadas para verificar se o desempenho se mantém (Tabela 34). Neste ensaio foram utilizados os parâmetros do ensaio anterior, Tabela 31 e Tabela 32, porém aplicados 100 ciclos.

Tabela 34 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura de 2cm (A) – 100 ciclos.

Registo DAQ	Tensão Vs tempo	
Varição da amplitude	<p data-bbox="874 981 957 1019" style="text-align: center;">Picos</p> 	
Resultados	<p>Quanto ao ensaio aqui apresentado, apresenta características similares ao de 10 repetições (Tabela 33).</p> <p>Quanto ao comportamento do sensor, este apresenta uma variação de amplitude em 8,3% no ciclo aplicado.</p> <p>Neste ensaio, o sensor esteve sujeito a 100 ciclos.</p> <p>É possível constatar que a cada ciclo, o sensor tem tendência em retornar ao seu ponto de origem, mas o pico máximo de tensão vai aumentando com o tempo.</p> <p>Em termos gerais, o sensor ensaiado mantém o desempenho de acordo com o ensaio anterior.</p>	

Os resultados devolvidos pelos ensaios à estrutura A demonstraram-se adequados à sua utilização num sensor de pressão. Contudo, pela geometria da perfuração que apresenta círculos alargados de 2cm de diâmetro e superfície livre de apenas 31,4%, foi perceptível que a sensibilidade do sensor seria diretamente influenciada pela zona de aplicação da força, isto é, uma força exercida na zona circular seria sentida de forma diferente de uma outra exercida na zona preenchida com termoadesivo.

Dessa forma, e com o intuito de aperfeiçoar os resultados anteriores apresentados, testou-se o sensor com o mesmo termoadesivo 6388.003net, porém com uma estrutura capaz de obter melhor resolução espacial do sensor.

Visto que as estruturas anteriores (Tabela 23), apresentam área de adesão superficial elevada (69% - 92%), considerou-se uma nova modificação estrutural do termoadesivo por forma a obter menor área de adesão superficial, possivelmente produzindo um aumento da sensibilidade do sensor.

Assim foram testadas as estruturas **F** (0,3cm) e **G** (0,3cm), apresentada na Fig. 60, com o mesmo diâmetro dos espaços circulares, porém com espaçamentos diferentes entre as circunferências. A Tabela 23 apresenta as áreas de contato calculadas, em que a estrutura F apresenta uma adesão superficial de 71%, quando a estrutura G apresenta adesão de apenas 41%.

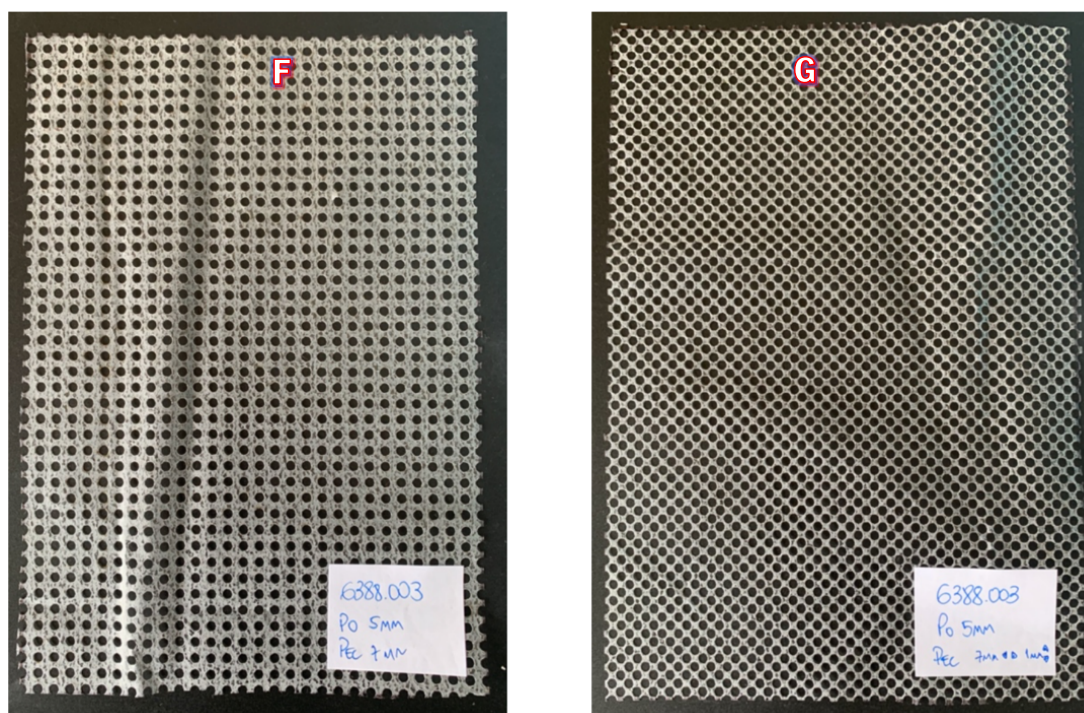


Fig. 60 Provetes modificados do termoadesivo 6388.003net – Estrutura F e G (acervo do autor).

Os ensaios foram realizados com a parametrização apresentada na Tabela 35 e

Tabela 36.

Tabela 35 Parâmetros no dinamômetro para a realização de ensaios de compressão – 6388.003net (Estrutura F e G).

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Velocidade	50mm/min
Força aplicada	500N
Pré-carga	2N
Ciclos	100 repetições

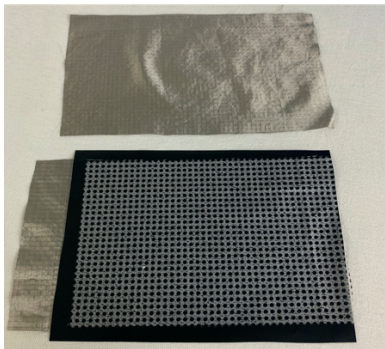
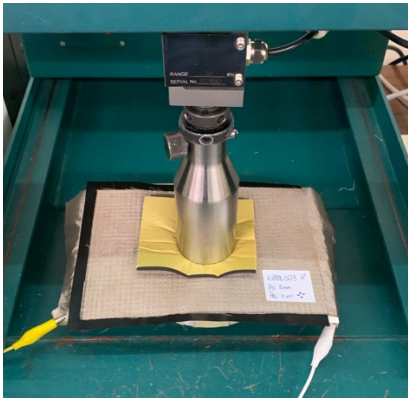
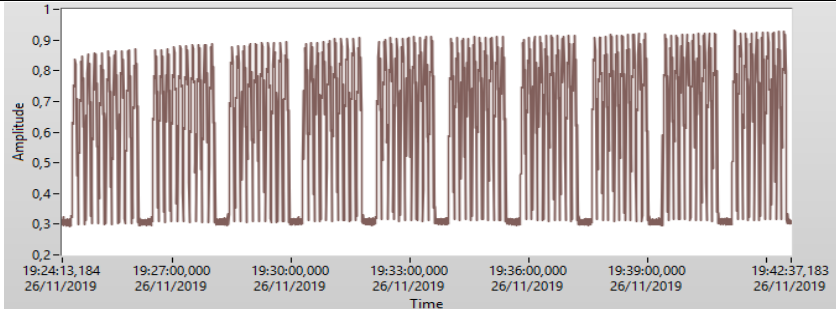
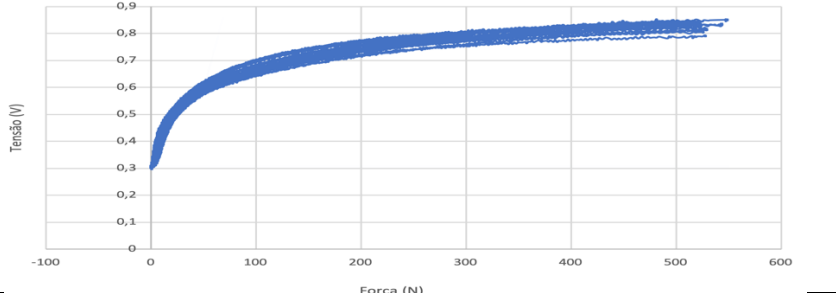
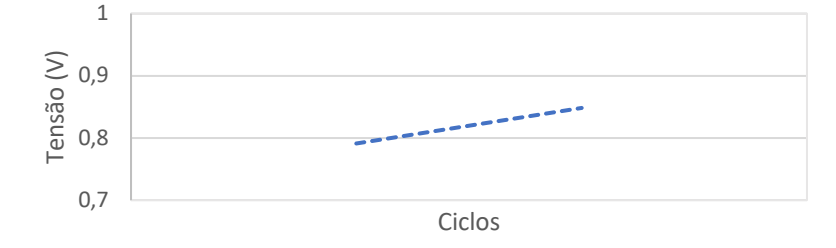
Tabela 36 Parâmetros no DAQ para a aquisição de tensão - 6388.003net (Estrutura F e G).

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Resistência circuito	200Ω
Tensão de saída	0,20V
Frequência de amostragem	1000 amostras/s

Análise e discussão de resultados

A Tabela 37 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura F.

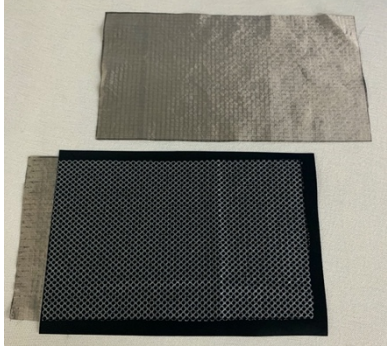
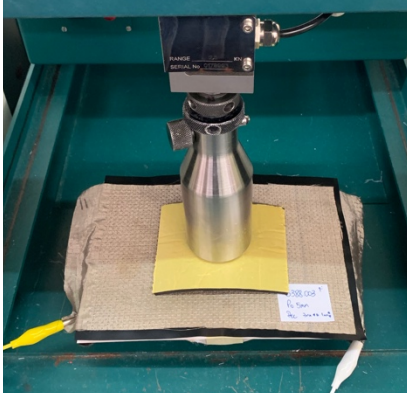
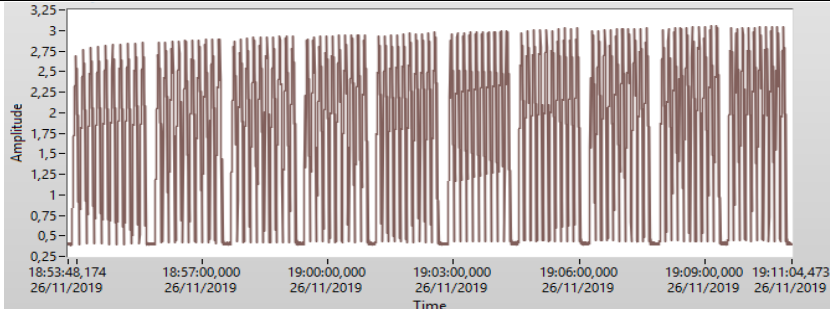
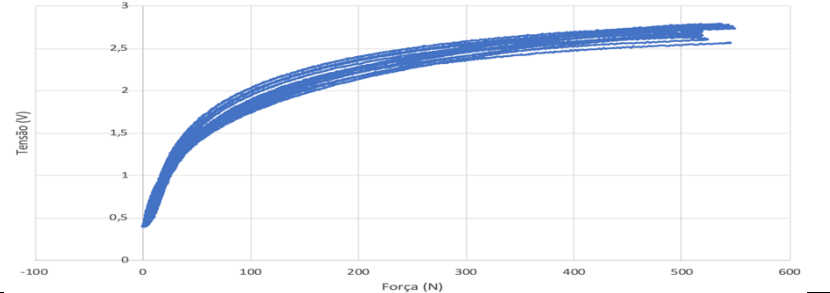
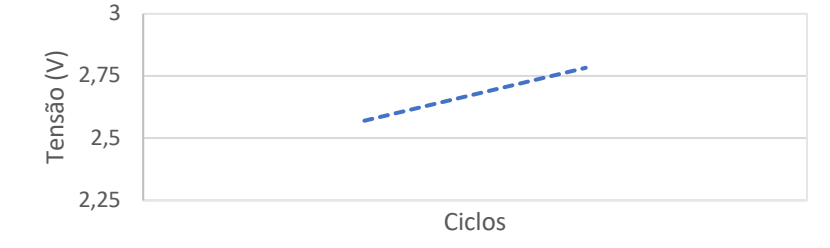
Tabela 37 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura F – 100 ciclos.

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
F 0,3cm	29%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Variação da amplitude	<p>Picos</p> 		
Resultados	Variação da amplitude em cerca de 7%.		

Análise e discussão de resultados

A Tabela 38 apresenta os resultados eletromecânicos referentes à estrutura G.

Tabela 38 Resultados referente ao sensor com termoadesivo 6388.003 estrutura G – 100 ciclos.

Diâmetro	Superfície livre	Sensor pré montado	Sensor construído
G 0,3cm	59%		
Registo DAQ	Tensão Vs tempo		
Tensão Vs força			
Varição da amplitude	<p style="text-align: center;">Picos</p> 		
Resultados	<p>Varição da amplitude em cerca de 7,8%.</p>		

Os ensaios realizados aos sensores F e G (Tabela 37 e Tabela 38) foram sujeitos a 100 ciclos contínuos, com ambas as estruturas a apresentarem resultados positivos quanto aos ensaios eletromecânicos. Em termos de construção apresentam-se com bom aspeto e boa resistência de adesão.

O comportamento e sensibilidade das estruturas F e G são muito semelhantes. Quanto à linearidade destes sensores, verifica-se que pelo gráfico da tensão *versus* força, que ambos os sensores testados têm uma variação de amplitude aproximadamente, entre os 7-8%. Quanto mais regulares forem os ciclos de força, maior será a estabilidade do sensor.

Em ambos os ensaios, regista-se que em função do tempo existe uma constante ascendência da tensão, porém no eixo inferior não se verificam desvios e mantêm o mesmo ponto de origem.

É possível nesta fase concluir que ambas as estruturas (F e G) são adequadas em termos estruturais para aplicação como termoadesivo do sensor, faltando apenas a resistência promovida por ambas em termos de união de materiais, que será testado no próximo ponto.

4.4.5. Análise da resistência ao desprendimento

Dando continuidade ao processo de seleção do termoadesivo mais indicado para a construção do sensor foi utilizado uma adaptação do procedimento normativo *ASTM D1876-2001*, para a caracterização da resistência ao desprendimento dos sensores.

Realizaram-se várias experiências para identificar as estruturas sandwich (Fig. 61) mais resistentes ao desprendimento.

Trata-se de um ensaio de elevada importância pois visa avaliar a resistência de adesão entre os materiais compostos no sensor. A este ensaio foram apenas sujeitos os termoadesivos que apresentaram melhores resultados quer de adesão quer eletromecânicos, especificamente, o 311 *net*, 6388.003 *net* e 6388.003 *film*.

Quanto ao termoadesivo 6388.003 *net*, a estrutura selecionada para este ensaio está representada na Tabela 23 – versão G, pois é semelhante à estrutura do 311 *net*.

Como amostra padrão recorreu-se a uma malha *interlock* 100% algodão, que consiste numa estrutura de tricotagem resistente e estável (Akaydin and Can, 2010; Lopes, 2012), laminada com um termoadesivo adequado às fibras têxteis de algodão. Esta união de materiais é utilizada na indústria têxtil para a produção de vários têxteis técnicos laminados para a área de desporto.



Fig. 61 Provetes testados no ensaio de desprendimento (acervo do autor).

Através deste ensaio é possível comparar os resultados obtidos entre as várias *sandwich* produzidas e constatar qual apresenta a melhor adesão entre eles.

Para a realização deste ensaio, foi utilizado no dinamômetro uma célula de carga 2,5kN com os seguintes parâmetros (Tabela 39).

Tabela 39 Parâmetros do ensaio de desprendimento.

Parâmetro	Valores
Força aplicada	25N
Velocidade	254mm/min
Campo de avaliação	127mm

Os resultados apresentados na Tabela 40 e na Fig. 62, demonstram os dados obtidos referente às 4 amostras testadas.

Note-se, que não é possível obter resultados semelhantes à amostra padrão, muito devido à tipologia dos materiais utilizados na construção do sensor. Os resultados da amostra *Interlock* servem apenas como referência para um laminado de uma resistência exigida a nível industrial.

Tabela 40 Resultados médios obtidos no ensaio de desprendimento.

Amostra testada	Valores médios	Desvio padrão
311net	0,79N	0,13N
6388.003net	5,86N	2,39N
6388.003film	8,45N	1,41N
Interlock 100%Alg film	32,76N	5,19N

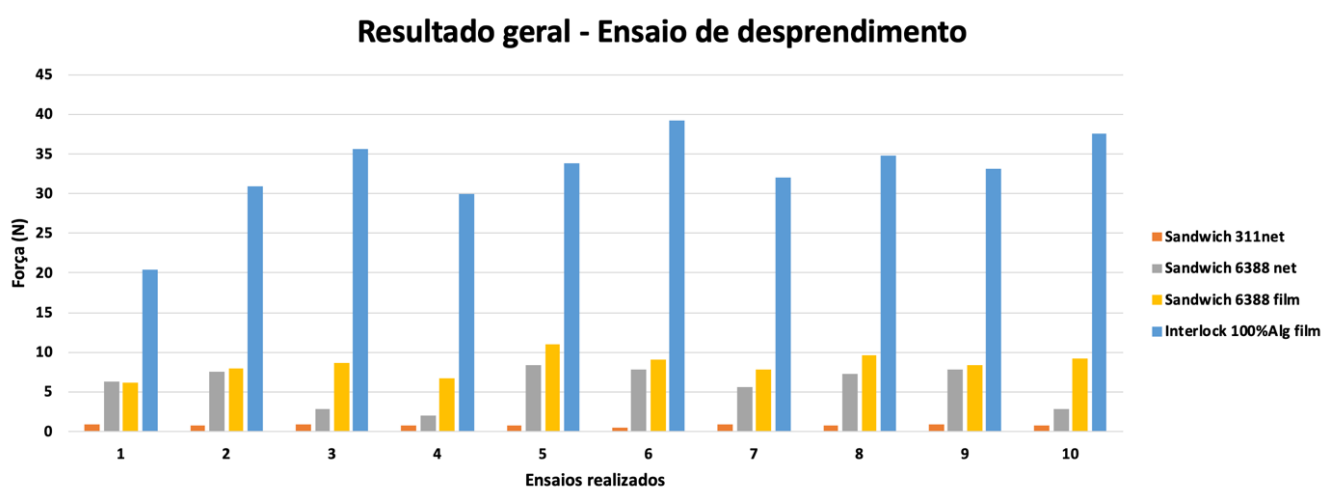


Fig. 62 Resultados obtidos no ensaio de desprendimento (acervo do autor).

É possível verificar diferenças significativas entre as amostras testadas. Quanto ao adesivo 6388.003 é possível comparar os resultados entre a estrutura *film* e *net*. Verifica-se neste, uma diminuição na resistência de adesão quanto à estrutura *net*, sendo este resultado consistente, pois existem pontos sem contato de adesivo, desfavorecendo assim a adesão entre os materiais.

Porém, interessa realçar os resultados do termoadesivo 311net e 6388.003net, pois estes garantiram melhores resultados como referido anteriormente devido à sua estrutura *net*.

Assim, ao testar a amostra 311net (Fig. 63), constatou-se que ofereceu baixa resistência ao desprendimento e alguma facilidade na separação dos materiais quando a axila do dinamómetro exerceu pressão no sentido ascendente.



Fig. 63 Ensaio desprendimento 311net (acervo do autor).

Quanto à amostra 6388.003net (Fig. 64), no decorrer do ensaio verifica-se alguma dificuldade inicial quando aplicada a pressão, não existindo a separação total do termoadesivo ao tecido condutor, ao contrário da amostra testada anteriormente. É possível verificar na figura que o adesivo se mantém colado ao tecido condutor e ao filme polimérico.



Fig. 64 Ensaio desprendimento 6388.003net (acervo do autor).

Face a estes 2 ensaios, apresenta-se na Fig. 65 os resultados relativos exclusivamente aos adesivos 311net e 6388.003net, por forma a verificar com maior preponderância qual o termoadesivo com maior capacidade de adesão e resistência.

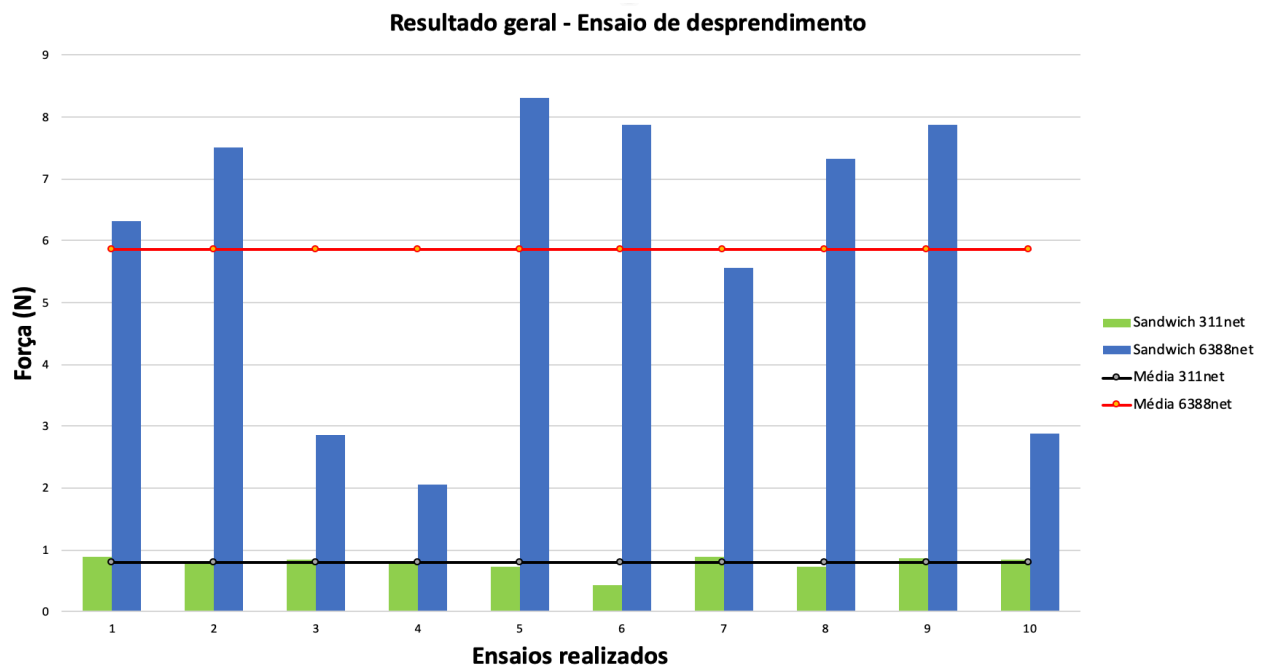


Fig. 65 Comparação de resultado entre termoadesivo 311net e 6388.003net (acervo do autor).

Ao verificar-se os dados obtidos, os resultados são muito surpreendentes e inesperados, pois aparentemente estão ambos bem colados e têm uma estrutura semelhante.

Verifica-se uma diferença significativa entre os dois termoadesivos 311*net* e o 6388.003*net*, sendo que a amostra 6388.003*net* garante cerca de 86,5% maior eficácia no momento da laminagem. Podemos assim concluir que a amostra 6388.003*net* é a melhor solução para a construção do sensor têxtil.

No âmbito da resistência e união dos materiais, a estrutura do sensor G terá menor resistência do que a estrutura F, devido ao diferencial de superfície termocolada.

4.5. COMPOSIÇÃO DO SENSOR PIEZORESISTIVO SELECIONADO

Em forma de conclusão, tendo em conta todos os parâmetros testados e apresentados no desenrolar deste capítulo, o sensor final, tal como representado na Fig. 66 é composto por um tecido condutor *Statex*, filme piezoresistivo *Linqstat* e o termoadesivo selecionado 6388.003*net* estrutura G.

A figura apresenta o sensor final produzido, nas medidas de 20x15cm.

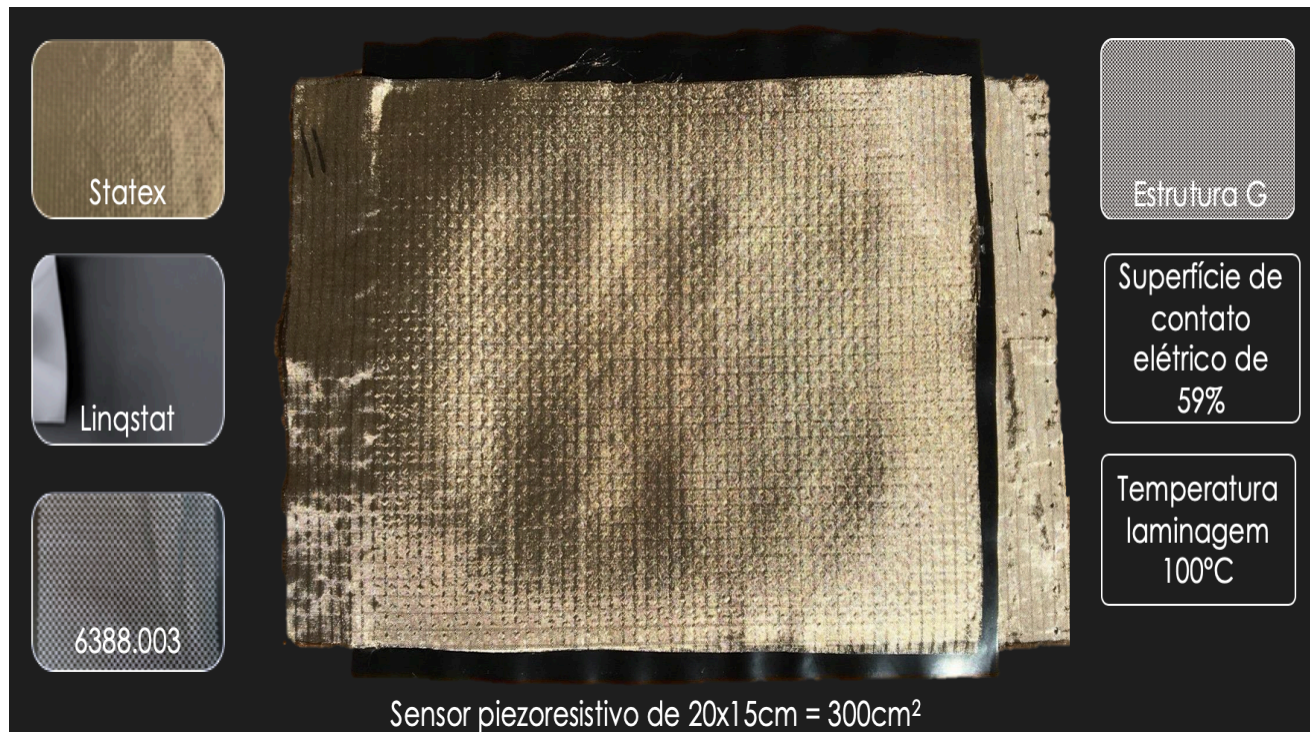


Fig. 66 Sensor têxtil piezoresistivo final (acervo do autor).

5. CONCLUSÕES

A implementação de tecnologia nos têxteis é sem dúvida uma vertente necessária exigida pelos utilizadores, sendo previsível a contínua exploração de sensores têxteis em artigos vestíveis, com vista a melhorar o quotidiano e a exigência de customização por parte do utilizador.

A sensorização dos têxteis no âmbito desportivo vai permitir que o atleta obtenha resultados promissores e aumento de rentabilidade através da monitorização do treino, sendo uma tecnologia passível de ser introduzida em âmbito de lazer ou de alta competição.

Neste sentido esta dissertação baseia-se no estudo e no desenvolvimento de sensores têxteis flexíveis piezoresistivos, capazes de quantificar forças promovidas pelo impacto sobre um determinado têxtil em qualquer atividade desportiva, sendo o foco específico a aplicação em sacos de boxe direcionado a modalidades de artes marciais.

Numa primeira fase, procurou-se identificar o melhor processo de construção para garantir a homogeneidade da sensibilidade por toda a área da estrutura, garantindo resultados lineares, estáveis e com facilidade de reprodutibilidade. O processo industrial utilizado recaiu sobre a utilização de uma calandra rotativa, que representa um processo contínuo aplicável em contexto fabril e que garante a reprodutibilidade entre sensores.

Os materiais utilizados neste estudo - o tecido condutor *Statex* e o filme piezoresistivo *Linqstat* – já conhecidos pelo seu comportamento positivo numa estrutura sensorial – foram avaliados com diferentes termoadesivos de forma a garantir o comportamento piezoresistivo na estrutura. Nesta fase vários termoadesivos com diferentes composições poliméricas foram avaliados, com os materiais à base de poliolefinas a demonstrarem maior capacidade de adesão.

Os sensores de pressão com base neste tipo de materiais e neste processo de construção são uma alternativa económica para a produção de sensores eletromecânicos a baixo custo de produção.

Sobre o filme piezoresistivo *Linqstat*, aplicou-se tratamento plasmático *DBD* o que promoveu maior adesão aos restantes materiais, facto este comprovado numa fase inicial pela análise da superfície via *SEM* e posteriormente por via de avaliação qualitativa comparativa em termos de adesão.

Sendo a variável aqui implementado o material termoadesivo, inicialmente foram avaliados 9 materiais distintos que levaram à seleção inicial da amostra *311net*, que foi devidamente caracterizado em termos eletromecânicos. Contudo, nesta fase surgiu o imprevisto da inexistência da variação da resistência nos protótipos construídos com este material e seriam necessários para obtenção de um sensor piezoresistivo.

Conclusões

Desta forma, foi acrescentado uma nova amostra à gama de termoadesivos – o 6388.003 *film* – que apesar de apresentar uma estrutura em forma de filme, o que tornou necessária uma modificação por corte a laser para garantir o necessário contato elétrico entre os componentes do sensor, revelou maior capacidade de adesão. Foram assim efetuados vários ensaios que permitiram a caracterização aprofundada dos materiais em termos de comportamento térmico (tecido condutor, filme piezoresistivo e termoadesivo 311 e 6388.003).

Com a validação do comportamento eletromecânico e pela análise *SEM* dos laminados produzidos com o termoadesivo 311 e 6388.003, verificou-se que a amostra 311 *net* funde e derrete sobre as fibras condutoras. Sendo o termoadesivo um material dielétrico o efeito piezoresistivo esperado desaparece. Assim, o 6388.003 *film* entre os outros termoadesivos testados foi selecionado para construção do sensor visto que se apresenta menos intrusivo e a cola não se misturou com as fibras do tecido condutor.

Esta seleção do 6388.003 *film* não seria de aplicação final, uma vez que apresentava uma estrutura em filme e que não se adequava à aplicação. Foi necessário nesta fase recorrer a estudos sobre a adaptação estrutural do termoadesivo, através da técnica de corte a laser. Foram ensaiadas 7 estruturas diferentes, com variações no diâmetro e no espaçamento entre eles. Com perfurações entre os 2cm, como a amostra A, aos 0,3 cm de diâmetro como a amostra G.

Em jeito de conclusão, após validação do funcionamento do sensor em termos eletromecânicos positivos, foi efetuado a análise de resistência ao desprendimento, que validou melhores resultados da amostra 6388.003 *net* em relação à 311 *net*.

Em suma, no término desta dissertação, foi possível obter um sensor com comportamento piezoresistivo com sensibilidade adequada, razoavelmente regular para aplicação em âmbito desportivo, nomeadamente em sacos de boxe direcionado para artes marciais, ciclismo, protetores em artes marciais, sistemas de pontuação, entre outros. O sensor produzido apresenta-se como uma estrutura laminada composta por 5 camadas, com as duas faces exteriores de tecido condutor *Statex*, uma camada intermédia central de filme piezoresistivo *Linqstat* e o material termoadesivo 6388.003 *net* estrutura G, para a união do tecido condutor e do filme piezoresistivo.

Este sensor apresenta elevado carácter de interesse para possíveis aplicações comerciais, pela facilidade do processo de obtenção da estrutura, com materiais economicamente viáveis e de fácil obtenção.

Quanto a perspectivas futuras e apesar de existirem melhorias no comportamento dos sensores é necessário melhorar o processo de construção, introduzir conetores e isolar o sensor para evitar o curto circuito do sensor. O desenvolvimento de sensores em processo contínuo traz mais valias, no entanto,

Conclusões

carece de realizar mais estudos para melhorar o processo de produção, bem como caracterizar a sensibilidade e a resposta do sensor, através do *gauge factor* e a respetiva histerese. Por outro lado, os ensaios de caracterização do impacto deverão ser testados de acordo com o método de Charpy ou IZOD, pois este simula o impacto através de um pendulo que permite obter resultados mais precisos quanto ao impacto real. Os sensores aqui testados foram adquiridos através de uma base fixa, no entanto, seria importante testar em base móvel para verificar o seu desempenho nestas condições.

6. BIBLIOGRAFIA

- Akaydin, M. and Can, Y. (2010) 'Pilling performance and abrasion characteristics of selected basic weft knitted fabrics', *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 79(2), pp. 51–54.
- Ashruf, C. M. A. (2002) 'Thin flexible pressure sensors', *Sensor Review*, 22(4), pp. 322–327. doi: 10.1108/02602280210444636.
- Baxter, R. *et al.* (2008) *Wearable electronics and photonics, Animal Genetics*. New York Washington, DC: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. Available at: www.woodheadpublishing.com.
- Bernal, C. *et al.* (2002) 'Influência de alguns parâmetros experimentais nos resultados de análises calorimétricas diferenciais - DSC', *Química Nova*, 25(5), pp. 849–855. doi: 10.1590/S0100-40422002000500023.
- Carvalho, H. *et al.* (2018) 'Flexible Piezoresistive Pressure Sensors for Smart Textiles', pp. 2–7.
- Carvalho, H., Yao, Y. and Gonçalves, L. M. (2017) 'Flexible force sensors for e-textiles', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254(7). doi: 10.1088/1757-899X/254/7/072007.
- Carvalho, M. de F. R. (2014) *Desenvolvimento de matrizes de sensores piezoresistivos para aplicações avançadas*.
- Castano, L. M. and Flatau, A. B. (2014) 'Smart fabric sensors and e-textile technologies: A review', *Smart Materials and Structures*, 23(5). doi: 10.1088/0964-1726/23/5/053001.
- Chang, S. *et al.* (2019) 'A high-sensitivity and low-hysteresis flexible pressure sensor based on carbonized cotton fabric', *Sensors and Actuators, A: Physical*. Elsevier B.V., 294, pp. 45–53. doi: 10.1016/j.sna.2019.05.011.
- Chi, E. H. (2005) 'Introducing wearable force sensors in martial arts', *IEEE Pervasive Computing*, 4(3), pp. 47–53. doi: 10.1109/MPRV.2005.67.
- Compete 2020 (2020) *Projeto iP Vest investe em soluções inovadoras para vestuário técnico e funcional*. Available at: www.portugal2020.pt/content/projeto-ip-vest-investe-em-solucoes-inovadoras-para-vestuario-tecnico-e-funcional.
- Correia, V. M. G. (2013) *Development of piezoresistive sensors for biomedical applications Vítor Manuel Gomes Correia Development of piezoresistive sensors for biomedical applications*.
- Cunha, A. C. (2017) 'Desporto, Cultura e Estilos de Vida: Relações de Influência', *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación*, (04), p. 161. doi: 10.17979/reipe.2017.0.04.2866.
- Ding, Y., Invernale, M. A. and Sotzing, G. A. (2010) 'Conductivity trends of pedot-pss impregnated fabric and the effect of conductivity on electrochromic textile', *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2(6), pp. 1588–1593. doi: 10.1021/am100036n.
- Farrington, J. *et al.* (1999) 'Wearable sensor badge & sensor jacket for context awareness', *International Symposium on Wearable Computers, Digest of Papers*, pp. 107–113. doi: 10.1109/iswc.1999.806681.
- Gomes, P., Tama, D. and Yao, Y. (2018) 'Development of pressure sensors for smart textiles'.
- Gonçalves, C. *et al.* (2018) 'Wearable E-Textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements', *Inventions*, 3(1), p. 14. doi: 10.3390/inventions3010014.
- Goy, C. B. *et al.* (2015) 'Design, fabrication and metrological evaluation of wearable pressure sensors', *Journal of Medical Engineering and Technology*, 39(3), pp. 208–215. doi: 10.3109/03091902.2015.1022665.

Bibliografia

- Hammad, A. E. and El-Molla, S. (2016) 'Nanolead-Free Solder Alloys for Electronic Packaging and Integration', *International Journal of Materials Engineering and Technology*, 15(1), pp. 23–62. doi: 10.17654/mt015010023.
- Helmer, R. *et al.* (2012) 'Interactive biomechanics and electronic textiles', *30th Annual Conference of Biomechanics in Sports – Melbourne 2012*, (65), pp. 223–226.
- Ivan de Medeiros, J. (2013) *Estudo do Comportamento de Estruturas Fibrosas com Base em Materiais com Memória de Forma e Elastómeros*.
- Keefe, P. O. and Lecat, P. (2015) *CONDUCTIVE CLOTH SENSOR*.
- Koncar, V. (2019) *Smart textiles for monitoring and measurement applications, Smart Textiles for In Situ Monitoring of Composites*. doi: 10.1016/b978-0-08-102308-2.00001-2.
- Lage, J. *et al.* (2015) 'Smart Shirt with Embedded Vital Sign and Moisture Sensing', *The First International Conference on Smart Portable, Wearable, Implantable and Disability-oriented Devices and Systems*, (c), pp. 25–30.
- Lin, X. and Seet, B. C. (2015) 'A Linear Wide-Range Textile Pressure Sensor Integrally Embedded in Regular Fabric', *IEEE Sensors Journal*, 15(10), pp. 5384–5385. doi: 10.1109/JSEN.2015.2453214.
- Lopes, C. (2012) *Palavras-chave*.
- Luisa, A., Dias, V. and Braga, M. (2014) 'Caracterização de Misturas de Poliamidas de Elevado Desempenho para Moldação por Injecção Engenharia de Materiais Júri'.
- M. Silva *et al.* (2009) 'Textile sensors for ecg and respiratory frequency on swimsuits', *Science*, (Xu).
- Meyer, J. *et al.* (2010) 'Design and modeling of a textile pressure sensor for sitting posture classification', *IEEE Sensors Journal*, 10(8), pp. 1391–1398. doi: 10.1109/JSEN.2009.2037330.
- Morent, R. *et al.* (2008) 'Non-thermal plasma treatment of textiles', *Surface and Coatings Technology*, 202(14), pp. 3427–3449. doi: 10.1016/j.surfcoat.2007.12.027.
- Morris, K. A. (2011) 'What is hysteresis?', *Applied Mechanics Reviews*, 64(5), pp. 1–14. doi: 10.1115/1.4007112.
- Moura, M. F. R. de M. (2015) *Automatização de uma Máquina de Ensaio do tipo Hounsfield Tensometer, Universidade do Porto*. Available at: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81607/2/37354.pdf>.
- Nelson, A. *et al.* (2015) 'Adaptive and Personalized Gesture Recognition Using Textile Capacitive Sensor Arrays', *IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems*, 1(2), pp. 62–75. doi: 10.1109/TMSCS.2015.2495100.
- O' Neill, J. A. A. *fibras sintéticas* (2003) *Efeito de solventes orgânicos nas propriedades de fibras sintéticas*.
- Oliveira, F. R. (2009) *Tingimento de poliamida 6.6 com corante ácido, reativos e directos após modificação superficial com descarga plasmática de dupla Barreira Dielétrica (DBD)*.
- Oliveira, F. R. *et al.* (2010) 'Surface modification on polyamide 6.6 with Double Barrier Discharge (DBD) plasma to optimise dyeing process by direct dyes', *Materials Science Forum*, 636–637, pp. 846–852. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.846.
- Parvinzadeh, M. and Ebrahimi, I. (2011) 'Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone', *Applied Surface Science*. Elsevier B.V., 257(9), pp. 4062–4068. doi: 10.1016/j.apsusc.2010.11.175.

Bibliografia

- Patel, S. *et al.* (2012) 'A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation', *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. BioMed Central Ltd, 9(1), p. 21. doi: 10.1186/1743-0003-9-21.
- Pizarro, F. *et al.* (2018) 'Easy-to-build textile pressure sensor', *Sensors (Switzerland)*, 18(4). doi: 10.3390/s18041190.
- Qi, K. *et al.* (2019) 'Core-sheath nanofiber yarn for textile pressure sensor with high pressure sensitivity and spatial tactile acuity', *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier Inc., 561, pp. 93–103. doi: 10.1016/j.jcis.2019.11.059.
- Seki, Y. *et al.* (2010) 'Effect of the low and radio frequency oxygen plasma treatment of jute fiber on mechanical properties of jute fiber/polyester composite', *Fibers and Polymers*, 11(8), pp. 1159–1164. doi: 10.1007/s12221-010-1159-5.
- Shi, Q. *et al.* (2011) 'One-step synthesis of silver nanoparticle-filled nylon 6 nanofibers and their antibacterial properties', *Journal of Materials Chemistry*, 21(28), pp. 10330–10335. doi: 10.1039/c1jm11492a.
- Shishoo, R. (2007) *Plasma Technologies for Textiles*.
- Shu, Y. *et al.* (2015) 'A pressure sensing system for heart rate monitoring with polymer-based pressure sensors and an anti-interference post processing circuit', *Sensors (Switzerland)*, 15(2), pp. 3224–3235. doi: 10.3390/s150203224.
- Silva, M. V. B. da (2010) *Análise térmica de fibras têxteis*. Universidade do minho.
- Souza, L. F. De and Ribeiro, R. M. (2013) 'Sensores Piezoresistivos E Sensores Piezoelétricos', pp. 2–5.
- Stoppa, M. and Chiolerio, A. (2014) 'Wearable electronics and smart textiles: A critical review', *Sensors (Switzerland)*, 14(7), pp. 11957–11992. doi: 10.3390/s140711957.
- Suganuma, T. *et al.* (2000) 'Overview of the IBM Java Just-in-Time Compiler and (2) the Journal reference and IBM copy-right notice are included on the', *Ibm Systems Journal*, 39.
- Tognetti, A. *et al.* (2014) 'New generation of wearable goniometers for motion capture systems', *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), pp. 1–17. doi: 10.1186/1743-0003-11-56.
- Vásquez Quintero, A. *et al.* (2015) 'Capacitive strain sensors inkjet-printed on PET fibers for integration in industrial textile', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 120, pp. 279–282. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.613.
- Veltink, P. H. and De Rossi, D. (2010) 'Conversations in BME', *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, (June), pp. 37–43. doi: 10.1109/MEMB.2010.936555.
- Wang, H. *et al.* (2014) 'Têxteis Inteligentes – Uma breve revisão da literatura Smart Textile – A Review of Literature (State of the Art)', *Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica*, 5(4), p. 22. doi: 10.3390/s130404192.
- Weaving, B. (2012) 'Smart textiles : Challenges and opportunities', 091301, pp. 1–15.
- Wen, Y. K. (1992) *Intelligent Structures - 2: Monitoring and control*. New York Washington, DC: Taylor & Francis.
- Xiong, Y. *et al.* (2019) 'A Flexible, Ultra-Highly Sensitive and Stable Capacitive Pressure Sensor with Convex Microarrays for Motion and Health Monitoring', *Nano Energy*. Elsevier Ltd, p. 104436. doi: 10.1016/j.nanoen.2019.104436.
- Yao, B. *et al.* (2013) 'Test Method for Compression Resilience Evaluation of Textiles', *TELKOMNIKA*

Bibliografia

Indonesian Journal of Electrical Engineering, 11(2), pp. 674–680. doi: 10.11591/telkomnika.v11i2.1992.

Zaikov, G. E. (2016) 'Nanostructured Fibers Via Electrospinning (Part II)', *Applied Nanotechnology: Materials and Applications*, (1), pp. 281–324. doi: 10.1201/9781315366333.

Zille, A., Oliveira, F. R. and Souto, P. A. P. (2015) 'Plasma treatment in textile industry', *Plasma Processes and Polymers*, 12(2), pp. 98–131. doi: 10.1002/ppap.201400052.

ANEXOS

Anexo 1 Tecido condutor Shieldex Bremen.

visit: www.statex.de — contact: info@statex.de

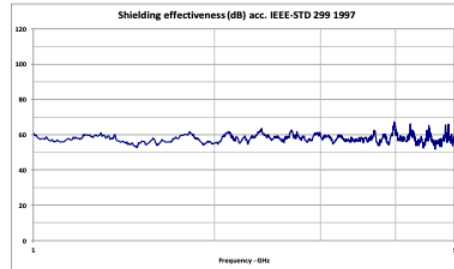
Technical Data Sheet



Shieldex® Bremen

No.: 110010180

Purpose	Conductive fabric for general use (base material for EMI/RFI gaskets, base material for EMI/RFI garments, passive static eliminator for copier, fax & printers, EMI/RFI cable shielding, medical clothes)
Description	Silver plated polyamide fabric (PW or RS)
Raw material	Parachute silk (polyamide fabric RS)
Plating	99% pure silver
Surface resistivity	Average < 0.3 Ohms/□
Shielding effectiveness	Average > 60 db from 300Mhz to 10Ghz
Temperature range	-30°C to 90°C
Total thickness	0.090mm ± 12%
Weight	43g/m ² ± 10%
Roll width	134cm ±3cm
Roll length	Average 100m



Compliance and Certification

RoHS
Reach
Öko-Tex®

Alterations Reserved
15.04.16/05



PRODUKTIONS + VERTRIEBS GMBH

Kleiner Ort 11 - 28357 Bremen / Germany
Tel: +49 421 27 50 47 - Fax: +49 421 27 36 43
info@statex.de - www.statex.de

Anexo 2 Filme piezoresistivo MVCF.

LINQSTAT MVCF 50,000 Ohms/sq 8 mil Conductive Film

Harmonization Code : 3920.10.89.90 |

Technical Specifications

General Properties	
Specific Gravity	1.02-1.10
Chemistry Type	Carbon-Loaded PE
Color ¹	Black
Film Thickness	0.2 mm
Electrical Properties	
Surface Resistivity	50000 Ohms/sq
Thermal Properties	
Heat Sealable	
Heat Seal Temperature	100 °C
Heat Seal Pressure	250 kPa
Heat Sealable	Yes
Heat Distortion Temperature ¹	85 °C
Heat Seal Time	3 sec
Other Properties	
RoHS Compliant ¹	Yes

Expand All Collapse All

<ul style="list-style-type: none"> ▶ Chemical Susceptibility <ul style="list-style-type: none"> ▶ Weak Acids: Resistant ▶ Methanol: Resistant ▶ Ethanol: Resistant ▶ Isopropanol: Resistant ▶ Ketones: Slow Attack ▶ Weak Alkalines: Slow Attack ▶ Hydrocarbons: Non-Resistant ▶ Technical Specifications <ul style="list-style-type: none"> ▶ Material Type : Carbon-impregnated Polyolefin Color : Black Opaque Temperature Limits : -45°C to 65°C (-50°F to 150°F) Heat Sealable : Yes Volume Resistivity : <500 ohm-cm Surface Resistivity : < 31,000 ohms/sq.cm Static Decay : < 2.0 sec. Shelf-Life : Indefinite ▶ Technical Datasheets <ul style="list-style-type: none"> ▶ TDS (English) PDF LINQSTAT™ VCF-Series Volume Conductive Film 	
---	--

Anexo 3 Termoadesivo 1 – PERMESS 095.095.

Permess International B.V
 D.J. Bunschotenstraat 14
 7471 CZ Goor - The Netherlands

P.O. Box 177
 7470 AD Goor - The Netherlands

Telephone: +31 (0)547 - 280 000
 Telefax: +31 (0)547 - 280 200
 E-mail: info@permess.nl

Quality 095.095

Description : Polyamide laminating web. Mostly used as tape.

Beschreibung : Polyamide-Spinnfaservlies. Wird hauptsächlich als Band eingesetzt.

Omschrijving : Polyamide web voor lamineren. Meestal gebruikt als tape.

Composition : Polyamide

Width (cm) : 150

Weight approx (gr/m²) : 24

Weave : Web

Coating : Polyamide
 mesh 17

Colour : 051 white

Piece length (mtr) : 100

Aftercare : 

Fusing conditions : **Temperature** : 130-145 °C
Pressure : 3 - 4 bar
Time : 8 - 15 second

Warranty : We recommend to test each fabric in combination with the interlining, before starting production. Fusing conditions are tested according to the continuous press.

Garantie : Wir empfehlen jeden Stoff in Kombination mit der Einlage zu testen, vor Anfang der Produktion. Fixierkonditionen gelten bei Verwendung einer Durchlaufpresse.

Garantie : Wij adviseren om alle bovenstoffen te testen in combinatie met de interlining, voor aanvang van productie. Plakcondities zijn getest volgens de doorloopers.




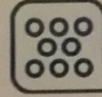


6-2-2014


Anexo 4 Termoadesivo – MANLY 8140.

BARCELONA PORTO MILANO
MANLY
www.manlyinterlinings.com







FICHA TÉCNICA | SCHEDA TECNICA | FICHE TECHNIQUE | TECHNICAL DATA

8140








	90 cm		Poliamida Poliammide Polyamide
	Blanco Bianco Blanc White		PA
	Entretelas especiales para unir tejidos Interfodera Biadesiva per unire tessuti Triplures speciales pou joindre des tissus Special interlinings to join (assemble) fabrics		27 gr / m2




Condiciones de Fusión - Condizioni di Adesivizzazione - Conditions de Thermocollage - Standard Fusion Conditions

	 115 / 130 °C	 12 / 15 s.	 200 / 350 mbar
	115 / 130 °C	12 / 15 s.	2 / 4 bar
	160 °C	8 s.	Press well down

✓

Se recomienda antes de proceder a una utilización industrial efectuar pruebas completas de adhesión y mantenimiento debido a la gran variedad de tejidos y otros materiales de confección existentes.
 Si raccomanda, prima di iniziare la produzione, consigliamo di eseguire prova adesivazione e lavaggio a causa della grande varietà di tessuti e altri materiali di abbigliamento esistente.
 Nous conseillons de passer des essais de thermocollage et l'entretien avant le commencement de la production, du au nombre de tissus et de matériels différents existents.
 We recommend that fusing trials and subsequent care treatments are carried out before production commences due to the wide range of fabrics and other material bases.

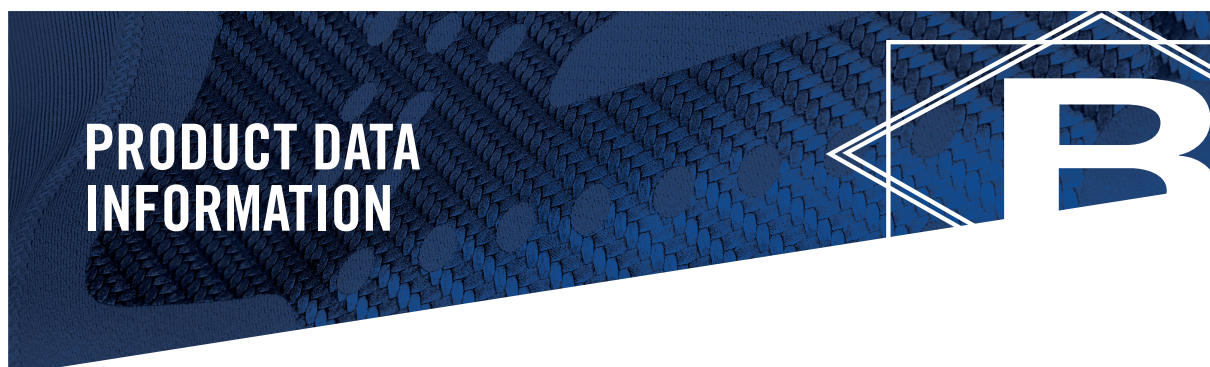


CONFIDENCE
IN TEXTILES

Tested for harmful substances
according to Oeko-Tex® Standard 100

BARCELONA T. +34 93 118 800 manly@manlyinterlinings.com	PORTO T. +351 252 841 309 manly@manlyinterlinings.pt	MILANO T. +39 02 49 47 62 72 manly@manlyinterlinings.it
--	---	--

Textil Manly, s.a.
 C/ Garbí, 18, Nau 6 D - Pol. Ind. Can Volart - 08150 Parets del Vallès (Barcelona - Spain)
 T. +34 93 311 88 00 - manly@manlyinterlinings.com - www.manlyinterlinings.com

Anexo 5 Termoadesivo - BEMIS BF3000.**FLOWFREE™ BASE (BFF3000)**

CONSTRUCTION / SEWFREE ADHESIVE

PRODUCT BENEFITS

Flowfree technology features engineered perforations that promote and enhance breathability. It doesn't retain moisture like traditional elastics and meshes. Flowfree was specifically created to help athletes achieve more speed, mobility and power with far fewer distractions.

Stretch: Good stretch and recovery

Specialty Features: Low temperature activation

Hand Feel: Soft

Certifications: OEKO-TEX®

COMPOSITION

Ester Polyurethane

THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES

STOCKED COLOR	Clear
STOCKED WIDTH	406 mm (16") & 1448 mm (57") – product can be slit to requested widths, no less than 10 mm (.39")
GAUGE	50 µm (.002"), 100 µm (.004")
ADHESIVE WEIGHT	25.7 g/m ² (per 25 µm)
RELEASE LINER	Polypropylene
SOFTENING POINT	83°C (181°F)
MELT FLOW INDEX	45 dg/min at 175°C / 2.16 kg
GLUE LINE TEMPERATURE¹	110°C to 140°C (230°F to 284°F)

¹ Glue Line Temperature relates to the temperature the adhesive must reach during bonding to achieve optimal bond strength.

Anexo 6 Termoadesivo - BEMIS BFF 3001.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p style="margin: 0;">Product</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 2px 0;"/> <p style="margin: 0;">Data Sheet</p> </div>	<p style="font-size: 8px;">Bemis Hong Kong Ltd 7th Floor, East Waiwick House Taikoo Place, 979 King's Road Quarry Bay, Hong Kong Tel: +852 2785 5155 Fax: +852 2785 5455 www.bemisworldwide.com</p>	<p style="font-size: 8px;">Bemis Associates UK Units 1-5, Turnpike Close Grantham, Lincolnshire United Kingdom NG31 7XU Tel: +44 (0) 1476 594000 Fax: +44 (0) 1476 576922 www.bemisworldwide.com</p>	<p style="font-size: 8px;">Bemis Associates Inc. One Bemis Way Shirley, MA 01464 USA Tel: 978-425-6761 Toll Free: 800-543-1324 Fax: 978-425-2278 www.bemisworldwide.com</p>
<p style="margin: 0;">BEMIS</p>			
<p style="margin: 0;">Adhesives, Specialty Films & Seam Tape</p>			

Submitted by: Dean Bourque

Date: 3/25/2015

Version: 1

PRODUCT

Bemis FlowFree
BFF3001

INTENDED APPLICATION

The Bemis FlowFree allows air and moisture to flow through the adhesive film providing comfort to the wearer while maintaining excellent bonding properties. Anticipated applications include compression panels to provide muscle support, sport bras to provide targeted support with a soft hand, and Sewfree seams to reduce weight and create a flexible seam. The formulation is ideal for Performance Wear and Sportswear application

PRODUCT BENEFITS

Bemis FlowFree can be used in applications where stretch, soft hand and recovery are desired in an area where air and moisture flow to the wearer is also important. In addition to air and moisture flow, the Bemis FlowFree film offers additional benefits such as compression, controlled stretch, soft hand, high recovery, and reduced weight.

COMPOSITION

Ester Polyurethane

THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES

- Color: Transparent
- Weight: 25.7 g/m² (per 25 µm)
- Release Liner: Polypropylene
- Gauge: 50 µm (0.002")
- Width: 1448 mm (57")
- Width: 406 mm (16"). Product can be slit to requested widths, no less than 10mm (.39")
- Hand: Very Soft
- Wash: Excellent up to 60°C
- Softening Point: 115°C
- Melt Flow Index: 34 dg/min Condition: 175°C / 2.16 kg load

Modulus and Recovery:

Gauge	Modulus of a 25.4 mm(1") wide sample		Recovery after 100% elongation at a rate of 304 mm(12") per minute
	@40% of original length	@100% of original length	
50 µm (0.002")	1.05 N (0.24 lbf.)	1.62 N (0.36 lbf.)	100.0%

NOTICE: Seller hereby excludes any express warranties and the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The following is made in lieu of any such warranties. Bemis Associates, Inc. believes the information and specifications supplied are reliable, but does not guarantee that any results shown or claimed will be obtained. Before using the user shall determine the suitability and fitness of the product for its intended use. The user assumes all risks and liability whatever in connection with its own tests and use. Neither seller nor manufacturer shall be liable for any injury, loss or damage, direct or consequential, arising out of the use, misuse or inability to use the product.

4/9/2015

Confidential

BFF3001 Product Data Sheet

Anexo 8 Termoadesivo - BEMIS 3206.

<h1>Apparel</h1> <h2>Product Data Sheet</h2>	<p>Bemis Hong Kong Ltd. 7th Floor, East Warwick House Takoo Place, 979 King's Road Quarry Bay, Hong Kong Tel: +852 2785 5155 Fax: +852 2785 5455 www.bemisworldwide.com</p>	<p>Bemis Associates UK Units 1-5, Turnpike Close Grantham, Lincolnshire United Kingdom NG31 7XU Tel: +44 (0) 1476 594000 Fax: +44 (0) 1476 576922 www.bemisworldwide.com</p>	<p>Bemis Associates Inc. One Bemis Way Shirley, MA 01464 USA Tel: 978-425-6761 Toll Free: 800-643-1324 Fax: 978-425-2278 www.bemisworldwide.com</p>
	 <p>BEMIS</p> <p>Adhesives, Coatings, Specialty Films & Seam Tape</p>		

Submitted by: E Toner

Date: 4/19/12

Version: 3

PRODUCT 3206**DESCRIPTION:**

This thermoplastic polyurethane adhesive is elastomeric with a very soft hand. 3206 adheres to a variety of fabrics including Nylon, Polyester, Nylon/Spandex blends, Polyester/Spandex blends, Cotton and Polyester/ Cotton blends. It also adheres to vinyl and polyurethane coated fabrics forming a bond which is resistant to laundering and dry cleaning.

COMPOSITION:

Polyurethane

THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES

- Color: Cloudy, Translucent, Amber Cast, Opaque White
- Weight: 30 gm/m² (per 25 µm)
- Release Liner: Paper, PE liner
- Gauge: 152 µm (.006")
- Width: 1524 mm (60"); Product can be slit to requested widths, no less than 4mm (.157")
- Hand: Medium
- Wash: Excellent up to 40°C
- Softening Point: 75°C
- Melt Flow Index: 50 dg/min Condition: 175°C / 2.16 Kg Load
- Glue Line Temperature¹: 120°C to 130°C
- Recommended Bonding Conditions²:
 - Flat Press:
 - Machine Setting: 120°C to 130°C
 - Dwell Time: 15 - 20 seconds
 - Pressure: 2.8 - 4.2 Bar (40 - 60 psi)
 - Continuous Bonding Machine:
 - Machine Setting: 200°C to 250°C
 - Speed: 1.5 - 2.0 m/min
 - Pressure: 1.0 Bar (14.3 psi)

¹ Glue Line Temperature (GLT) refers to the temperature of the adhesive in the bonding process. Glue line temperature must be measured to receive accurate machine settings.

² Recommended bonding conditions will vary between different machinery and fabrics. The recommended conditions stated are a starting point only. Optimal bonding conditions should be established by the factory for the specific application.

NOTICE: Seller hereby excludes any express warranties and the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The following is made in lieu of any such warranties. Bemis Associates, Inc. believes the information and specifications supplied are reliable, but does not guarantee that any results shown or claimed will be obtained. Before using, the user shall determine the suitability and fitness of the product for its intended use. The user assumes all risks and liability whatever in connection with its own tests and use. Neither seller nor manufacturer shall be liable for any injury, loss or damage, direct or consequential, arising out of the use, misuse or inability to use the product.

4/19/2012

CONFIDENTIAL

3206 Apparel Product Data Sheet.doc

Anexo 9 Termoadesivo - BEMIS 5256.

<div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"> <h1 style="margin: 0; color: white; background-color: blue; padding: 5px;">Apparel</h1> <h2 style="margin: 0; color: white; background-color: blue; padding: 5px;">Product Data Sheet</h2> </div>	<p style="font-size: small;">Bemis Hong Kong Ltd 7th Floor, East Warwick House Taikoo Place, 979 King's Road Quarry Bay, Hong Kong Tel: +852 2785 5155 Fax: +852 2785 5455 www.bemisworldwide.com</p>	<p style="font-size: small;">Bemis Associates UK Units 1-5, Turnpike Close Grantham, Lincolnshire United Kingdom NG31 7XU Tel: +44 (0) 1476 594000 Fax: +44 (0) 1476 576922 www.bemisworldwide.com</p> <p style="font-size: small;">Bemis Associates Inc. One Bemis Way Shirley, MA 01464 USA Tel: 978-425-6761 Toll Free: 800-543-1324 Fax: 978-425-2278 www.bemisworldwide.com</p>
<p style="font-size: small; color: blue;">Adhesives, Specialty Films & Seam Tape</p>		

Submitted by: R. Goodwin	Date: 5/29/2014	Version: 1
--------------------------	-----------------	------------

PRODUCT	5256
----------------	------

DESCRIPTION:
Bemis 5256 is a polyester based thermoplastic adhesive that produces excellent adhesion to cotton, poly/cotton and blended fabrics. Bemis 5256 exhibits excellent laundry and dry cleaning resistance. 5256 is compliant with Oeko-Tex Standard 100 Class 1 (Baby) as a Tin-free and Phenol-free adhesive

SUGGESTED APPLICATIONS:
5256 is engineered to produce strong bonds to garments and various materials.

PRODUCT BENEFITS:
5256 produces a durable bond which will withstand laundry and dry-cleaning. This adhesive is classified as a Tin-free and Phenol-free product as defined in the Oeko-Tex Standard 100 Class 1 (Baby).

COMPOSITION:
Polyester

- THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES**
- Color: Hazy, Translucent
 - Weight: 30 gm/m² (per 25 µm)
 - Release Liner: Free Film
 - Gauge: 76 µm (.003")
 - Width: 1289 mm (50.75")
 - Hand: Firm
 - Wash: Excellent up to 60 °C
 - Softening Point: 125 °C
 - Melt Flow Index: 22 dg/min Condition: 175 °C / 2.16 Kg Load
 - Glue Line Temperature¹: 149 °C to 191 °C
 - Recommended Bonding Conditions²:
 - **Flat Press:**
 - Machine Setting: 160 °C to 200 °C
 - Dwell Time: 15-20 seconds
 - Pressure: 2.8-4.2 Bar (40-60 psi)
 - **Continuous Bonding Machine:** This adhesive is not recommended for continuous bonding

¹ Glue Line Temperature (GLT) refers to the temperature of the adhesive in the bonding process. Glue line temperature must be measured to receive accurate machine settings.

² Recommended bonding conditions will vary between different machinery and fabrics. The recommended conditions stated are a starting point only. Optimal bonding conditions should be established by the factory for the specific application.

NOTICE: Seller hereby excludes any express warranties and the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The following is made in lieu of any such warranties. Bemis Associates, Inc. believes the information and specifications supplied are reliable, but does not guarantee that any results shown or claimed will be obtained. Before using, the user shall determine the suitability and fitness of the product for its intended use. The user assumes all risks and liability whatever in connection with its own tests and use. Neither seller nor manufacturer shall be liable for any injury, loss or damage, direct or consequential, arising out of the use, misuse or inability to use the product.

Anexo 10 Termoadesivo - BEMIS 3231.**SEWFREE ADHESIVE (3231)**

CONSTRUCTION / SEWFREE ADHESIVE

PRODUCT BENEFITS

Sewfree adhesive is engineered to replace elastics and bulky sewn seams in garments. It allows for sleeker lines, softer corners and stronger seams. This adhesive film activates at low temperature and is designed for adhesion to decorative vinyl, PU coated fabrics, various textiles, and leather.

COMPOSITION

Polyurethane

THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES

STOCKED COLOR	Clear
STOCKED WIDTH	1524mm (50") – product can be slit to requested widths, no less than 4 mm (.16")
GAUGE	25 µm (.001") and 50 µm (.002") and 125 µm (.005") and 175 µm (.007")
ADHESIVE WEIGHT	29 g/m ² (per 25 µm)
RELEASE LINER	Unsupported Release Paper
SOFTENING POINT	75°C (167°F)
MELT FLOW INDEX	11 dg/min at 175°C / 2.16 kg
GLUE LINE TEMPERATURE¹	80°C to 121°C (176°F to 250°F)

RECOMMENDED BONDING CONDITIONS²**FLAT PRESS:**

TEMPERATURE	85°C to 125°C
TIME	10 to 30 seconds
PRESSURE	40 to 60 psi (2.8 to 4.2 bar)

¹ Glue Line Temperature relates to the temperature the adhesive must reach during bonding to achieve optimal bond strength.

² Recommended bonding conditions will vary between machinery, fabrics and applications. Optimal bonding conditions should be established by Bemis and the customer for each application prior to production.

Anexo 11 Termoadesivo - PROTECHNIC 311.



Thermoplast

Technical data sheet

311 NET	<ul style="list-style-type: none"> • Allows quick bonding to most fabrics and should always be considered where one substrate is an olefinic material or if the bond is subjected to only mild service temperature & environments • Good bonding on copolyester (fi, textile), charcoal foam and cork 	
------------------------------	---	--

GENERAL INFORMATION		
Chemical information	Polyolefine	
Form	NET	
Standard Colour	Yellowish	
Backing possibility	With or without paper backing	
	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Weight (gsm) (According ISO 12127)	30	35
Tolerance	<i>+/-1,5g(<16gsm) or +/-10%(>16gsm)</i>	<i>+/-1,5g(<16gsm) or +/-10%(>16gsm)</i>

PHYSICAL DATA		
DSC melting range ⁽¹⁾	<i>Min</i>	<i>Max</i>
	78	88
DSC Onset ⁽¹⁾	68	
Viscosity (MVR) ⁽²⁾	Very low	
	<i>(very high < 2cc/10min; high = 3 to 18; medium = 19 to 50; low = 51 to 100; very low > 100)</i>	
Physical note	-	

⁽¹⁾According to ISO 11357. ⁽²⁾According ISO 527-1, on samples from 20 to 30µm thick and 50mm wide. Not measured on web and net. ⁽³⁾Measured at 160°C, 2,16kg (According ISO 1133-1); Some of the products may overlap on 2 types. ⁽⁴⁾Only for TPU.

FINAL PRESENTATION (see our quality standard)	
Maximum Width (mm)	1500
Width tolerance (mm)	Untrimmed: +0;+10 / Trimmed: depending on the width
Standard roll length (lm)	100
Remark	-
Storage conditions	<p><i>Do not store below 0°C or above 40°C.</i></p> <p><i>Store in a dry place away from direct sunlight.</i></p> <p><i>Shelf life: 12 months after delivery under appropriate storage conditions and into its original packaging</i></p>

NOTICE: Seller hereby excludes any express warranties and the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The following is made in lieu of any such warranties. Protechnic believes the information and specifications supplied are reliable, but does not guarantee that any results shown or claimed will be obtained. Before using, the user shall determine the suitability and fitness of the product for its intended use. The user assumes all risks and liability whatever in connection with its own tests and use. Neither seller nor manufacturer shall be liable for any injury, loss or damage, direct or consequential, arising out of the use, misuse or inability to use the product.

PROTECHNIC
www.protechnic.fr

41, Avenue Montaigne - BP30178 CERNAY - FR
 Tel : +33(0)3 89 35 60 00
Commercial@protechnic.fr

Up date: 30/04/2018
 Version: B



Anexo 12 Termoadesivo - BEMIS 6388.003.

PRODUCT DATA INFORMATION

SEWFREE ADHESIVE (6388)
CONSTRUCTION / SEWFREE ADHESIVE

PRODUCT BENEFITS

Sewfree adhesive is engineered to replace elastics and bulky sewn seams in garments. It allows for sleeker lines, softer corners and stronger seams. 6388 exhibits excellent adhesion to many textiles, including olefin foams and most polar substrates.

Certifications: OEKO-TEX®

COMPOSITION

Ethylene Acrylate

THERMAL & PHYSICAL PROPERTIES

STOCKED COLOR	Clear
STOCKED WIDTH	1473mm (58") – product can be slit to requested widths, no less than 4 mm (.16")
GAUGE	50 µm (.002") and 75 µm (.003") and 125 µm (.005") and 175 µm (.007")
ADHESIVE WEIGHT	24.8 g/m ² (per 25 µm)
RELEASE LINER	None – Unsupported Adhesive
SOFTENING POINT	85°C (185°F)
MELT FLOW INDEX	20 dg/min at 175°C / 2.16 kg

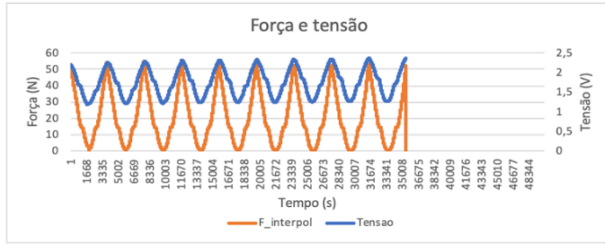
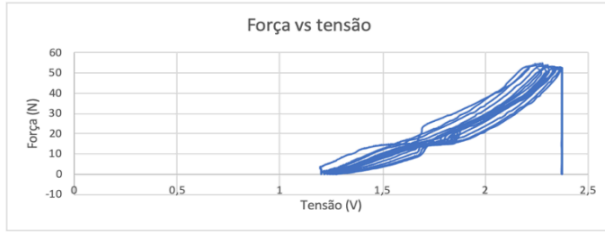
DURABILITY TESTING

Wash/Dry:	Excellent up to 40°C
-----------	----------------------

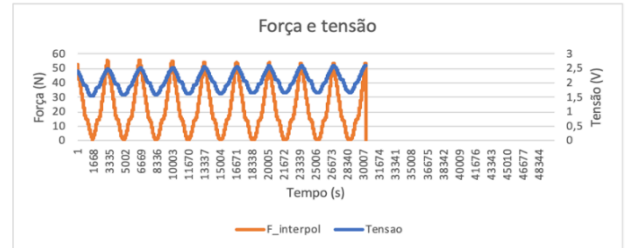
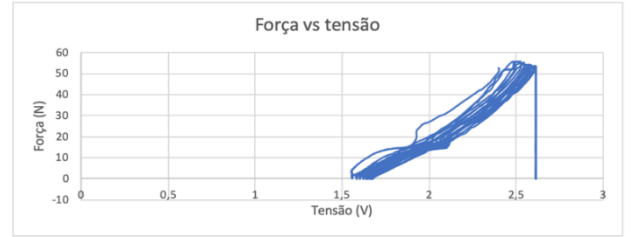
bemisworldwide.com June 8, 2018

Anexo 13 Resultados eletromecânicos ao sensor com termoadesivo 311net – sem plasma

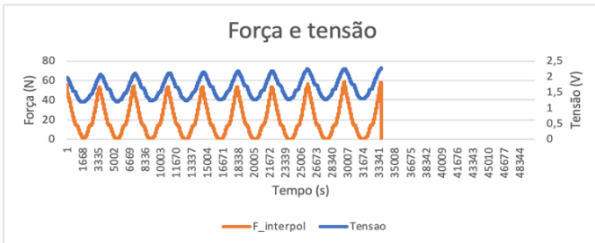
Ensaio 2 - 20190518_ensaio02_linqstat_protectnic_semplasma_T100_R200_V05_F50_S50



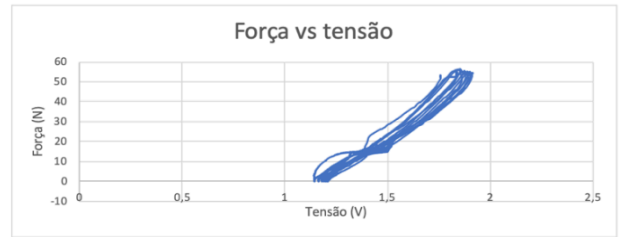
Ensaio 4 - 20190518_ensaio04_linqstat_protectnic_semplasma_T110_R200_V05_F50_S50



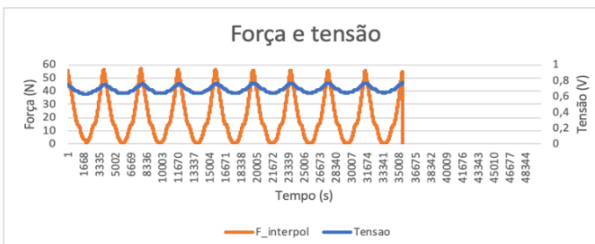
Ensaio 6 - 20190518_ensaio06_linqstat_protectnic_semplasma_T115_R200_V05_F50_S50



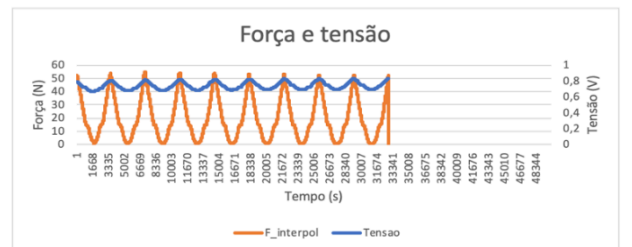
Ensaio 8 - 20190518_ensaio08_linqstat_protectnic_semplasma_T120_R200_V05_F50_S50



Ensaio 10 - 20190518_ensaio10_linqstat_protectnic_semplasma_T125_R200_V05_F50_S50

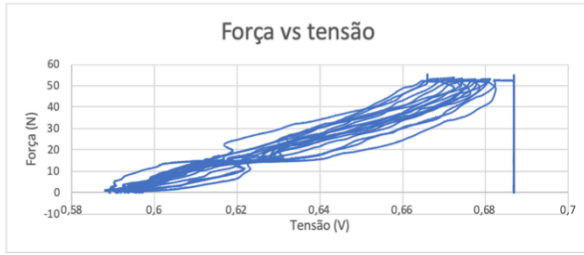


Ensaio 12 - 20190518_ensaio12_linqstat_protectnic_semplasma_T130_R200_V05_F50_S50

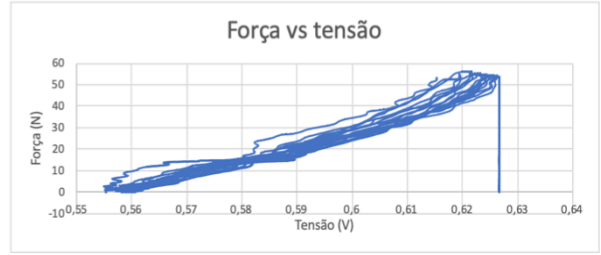


Anexos

Ensaio 14 - 20190518_ensaio14_linqstat_protectnic_semplasma_T135_R200_V05_F50_S50

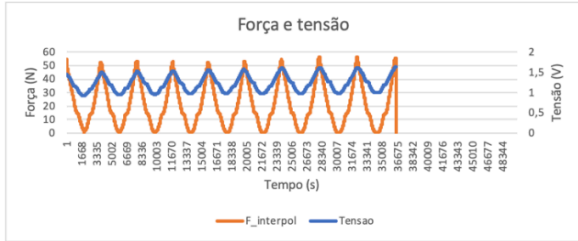
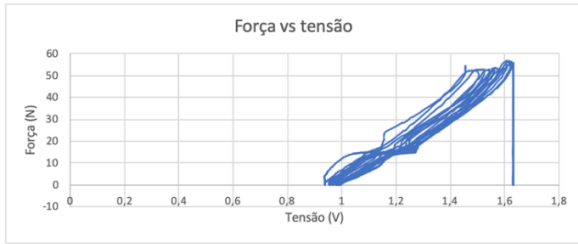


Ensaio 16 - 20190518_ensaio16_linqstat_protectnic_semplasma_T140_R200_V05_F50_S50

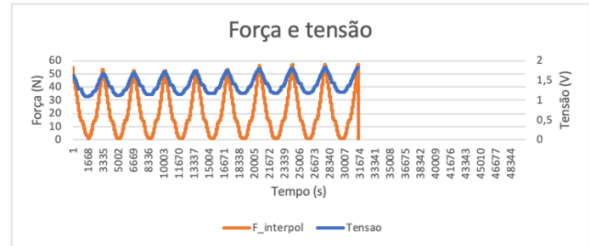
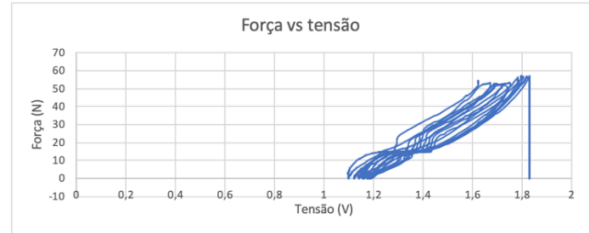


Anexo 14 Resultados eletromecânicos ao sensor com termoadesivo 311net – com plasma

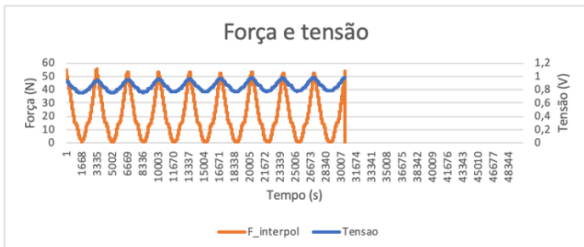
Ensaio 1 - 20190518_ensaio01_linqstat_protectnic_plasma_T100_R200_V05_F50_S50



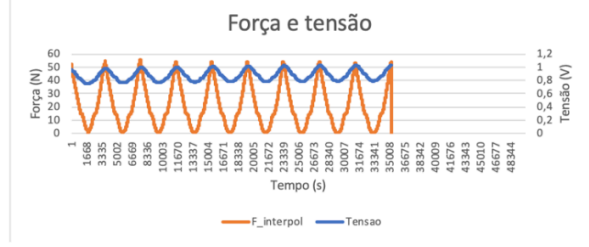
Ensaio 3 - 20190518_ensaio03_linqstat_protectnic_plasma_T110_R200_V05_F50_S50



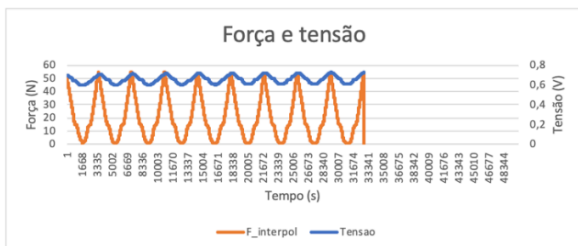
Ensaio 7 - 20190518_ensaio07_linqstat_protectnic_plasma_T120_R200_V05_F50_S50



Ensaio 9 - 20190518_ensaio09_linqstat_protectnic_plasma_T125_R200_V05_F50_S50



Ensaio 11 - 20190518_ensaio11_linqstat_protectnic_plasma_T130_R200_V05_F50_S50



Ensaio 13 - 20190518_ensaio13_linqstat_protectnic_plasma_T135_R200_V05_F50_S50

