Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Sofia Pinto Rebelo

Otimização de estruturas têxteis para gestão de humidade obtidas a partir de fibras funcionais

novembro de 2023

Otimização de estruturas têxteis para gestão de humidade obtidas a partir de fibras funcionais

Ana Sofia Pinto Rebelo

UMinho | 2023

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Sofia Pinto Rebelo

Otimização de estruturas têxteis para gestão de humidade obtidas a partir de fibras funcionais

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Têxtil
Área de Especialização Materiais e Acabamentos Funcionais

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Graça Soares

novembro de 2023

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.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com a ajuda fundamental de docentes, técnicos de laboratório, familiares e de colaboradores do Centi, aos quais deixo o meu sentido agradecimento.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Graça Soares, por ter aceite o meu pedido de orientação e por me ter apoiado ao longo deste desafio, que apesar de ter tido os seus contratempos, foi um projeto desafiante e inovador, no qual me senti realizada e motivada para conseguir alcançar sempre mais. Para além disto, agradeço os ensinamentos, paciência e disponibilidade prestada sempre que solicitada.

Não posso deixar de expressar o meu especial agradecimento à Engenheira Sofia Silva do Centi, por todos os comentários de incentivo, interesse e ajuda na procura de fundamentos importantes para o melhoramento desta dissertação.

Um especial obrigado à Engenheira Juliana Silva, também colaboradora do Centi, por todo o apoio incessante e identificação das vantagens de cada obstáculo e imprevisto que foram surgindo. Também por estar constantemente disponível, auxiliando-me e fornecendo sugestões pertinentes para ultrapassar os problemas no decorrer deste processo, bem como pela atenção que teve sempre na ajuda com artigos e opiniões que enriqueceram todo o meu trabalho. O meu muito sincero obrigada!

À Engenheira Cintia Martins, pelo apoio prestado no desenvolvimento das fibras e pela partilha do seu conhecimento ligado ao processo de *melt-spinning*.

Ao Engenheiro Joaquim Jorge, não só pela disponibilidade, mas também pela sua partilha de conhecimentos e auxílio nos testes efetuados. Bem como ao Engenheiro Filipe Rodrigues pela ajuda no desenvolvimento das malhas.

À Engenheira Ângela Silva pelo apoio prestado aquando da realização da funcionalização dos materiais.

À Engenheira Cátia Alves, uma pessoa muito especial ao longo de todos os meus anos académicos, e mais uma vez um grande apoio no que diz respeito à minha dissertação, auxiliando-me sempre que necessário.

À empresa CSM Lavandaria Industrial Lda, por toda o empenho que teve em disponibilizar todo o seu conhecimento na área de acabamentos têxteis, bem como a disponibilização de alguns dos seus equipamentos laboratoriais em momentos de mais dificuldade.

Ao Departamento de Engenharia Têxtil e ao CeNTI - Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes por possibilitarem a realização dos ensaios nas suas infraestruturas.

Por fim, e não os menos importantes, o meu especial agradecimento aos meus pais e a todos os meus amigos mais próximos, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram em todas as minhas escolhas, sendo que esta etapa não foi uma exceção.

Obrigado a todos por estrem presentes na finalização de mais uma etapa da minha vida!

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.

Assinado por: **ANA SOFIA PINTO REBELO**
Num. de Identificação: 30352004
Data: 2023.11.28 12:56:16+00'00'

Resumo

A gestão de humidade é uma das propriedades mais importantes de conforto, o que significa que um tecido com melhores características para esta gestão irá promover um ambiente mais favorável entre a pele e o tecido, reduzindo o mau estar do utilizador.

Atualmente e cada vez mais, a opinião do consumidor é um fator extremamente importante para o desenvolvimento de qualquer produto. Considerando a influência do conforto na tomada de decisão de compra de um determinado artigo de vestuário, urge resolver os problemas de gestão de humidade identificados nesses produtos.

No presente trabalho, em colaboração com o CeNTI - Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes, desenvolveram-se fibras sintéticas poliméricas geradas através do método de *melt-spinning* com diferente geometria. Produziram-se fibras trilobais e fibras circulares, que apresentavam propriedades únicas no que dizia respeito à dissipação de líquidos. Estas fibras foram usadas na produção de malhas, que também sofreram um processo de acabamento de modo a maximizar as suas características de gestão de humidade.

A análise do comportamento dos materiais desenvolvidos em termos de gestão de humidade foi feita usando diferentes testes, tais como o teste Moisture Managment Tester (MMT), o teste de avaliação da permeabilidade ao vapor de água e ao ar, o teste de hidrofilidade por absorção, o teste de determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial e o teste da secagem.

Após toda a elaboração do trabalho e análise de resultados obtidos foi possível concluir que as fibras trilobais apresentam características de gestão de humidade muito superiores às fibras circulares convencionais.

Palavras-chave: Conforto; Gestão de humidade; *Melt-spinning*; Estruturas têxteis.

Abstract

Moisture management is one of the most important comfort properties, which means that a fabric with better characteristics for this management will promote a more favourable environment between the skin and the fabric, reducing discomfort for the user.

Currently and increasingly, consumer opinion is an extremely important factor in the development of any product. Considering the influence of comfort on the purchase decision of a specific clothing item, it is urgent to resolve the moisture management problems identified in these products.

In the present work, in collaboration with CeNTI - Center for Nanotechnology and Technical, Functional and Intelligent Materials, polymeric synthetic fibers generated through the melt-spinning method with different geometry were developed. Trilobal fibers and circular fibers were produced, which had unique properties with regard to liquid dissipation. These fibers were used in the production of knitwear, which also underwent a finishing process to maximize its moisture management characteristics.

The analysis of the behaviour of the materials developed in terms of moisture management was carried out using different tests, such as the Moisture Management Tester (MMT) test, the water vapor and air permeability assessment test, the hydrophilicity test by absorption, the test to determine the resistance of fabrics to surface wetting and the drying test.

After all the preparation of the work and analysis of the results obtained, it was possible to conclude that trilobal fibers present moisture management characteristics that are much superior to conventional circular fibers.

Keywords: Comfort; Moisture management; Melt-spinning; Textile structures.

Índice

Resumo vi

Abstract vii

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos xii

Índice de figuras xiii

Índice de tabelas xvi

Índice de Equações xviii

1. Introdução 1

1.1. Motivação 1

1.2. Enquadramento 2

1.3. Objetivos 2

1.4. Estrutura da Dissertação 3

1.5. Metodologia do trabalho 4

2. Enquadramento teórico 5

2.1. Conforto termofisiológico - Gestão de humidade 5

2.1.1. Propriedades dos têxteis ligadas ao conforto 6

2.2. Desporto 8

2.2.1. A importância dos têxteis no vestuário desportivo 9

2.3. Fibras têxteis 10

2.3.1. Fibras trilobais 10

2.3.2. Fibras bi-componentes 11

2.4. Estratégias de modificação de fibras e materiais 12

2.5. Polímeros termoplásticos 13

2.5.1. Poliamida 14

2.5.2. Poliéster 15

2.5.3 Tereftalato de Polibutileno (PBT) 15
2.6. *Melt-spinning* 16
2.6.1. Fibras trilobais obtidas através de *melt-spinning* 19
2.7. Características do substrato têxtil com boas propriedades de gestão de humidade 20
2.8. Estruturas têxteis 20
2.8.1. Malhas de trama 22
2.7.2. Malha *Jersey* 23
2.7.3. Parâmetros de produção de malhas jersey 24
2.7.4. Teares para produção de malhas 27
2.9. Tecnologias existentes 29
2.9.1. *CoolMax* 30
2.9.2. *Adidas* 31
2.9.3. *Nike Dri-FIT* 33
2.9.4. *Equarea* 34
2.9.5. Patentes 34
3. Materiais e Métodos 41
3.1. Materiais 41
3.2. Métodos 41
3.2.1 Obtenção de fibra de PBT por *melt-spinning* 41
3.2.2. Determinação da massa linear do filamento 43
3.2.3 Microscopia ótica 43
3.2.4. Propriedades mecânicas das fibras 44
3.2.5. Produção das malhas 46
3.2.6. Acabamento hidrodinâmico 47
3.2.7. Determinação do grau de aperto da malha 48

3.2.8. Determinação da contextura 49
3.2.9. Determinação da espessura da malha 49
3.2.10. Determinação do peso por unidade de área 50
3.2.11. Propriedades mecânicas da malha 51
3.2.12. Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água 52
3.2.13. Avaliação da Permeabilidade ao ar 54
3.2.14. Teste de Hidrofilidade por Absorção (*Drop Test*) 56
3.2.15. Determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial (Teste do chuveiro) 56
3.2.16. Teste da Secagem 58
3.2.17. Análise dos dados 59
3.2.18. Moisture Management Tester (MMT) 60
3.2.19. Requisitos para produção de vestuário desportivo 63
4. Análise e Discussão de Resultados 64
4.1. Obtenção de fibra de PBT por *melt-spinning* 64
4.2. Caracterização das fibras 65
4.2.1. Determinação da massa linear da fibra 65
4.2.2. Microscopia ótica 65
4.2.3. Propriedades mecânicas das fibras 67
4.3. Caracterização das malhas 68
4.3.1. Escolha da fibra para a produção das malhas 68
4.3.2. Determinação do grau de aperto da malha 69
4.3.3. Determinação da contextura 71
4.3.4. Determinação da espessura da malha 72
4.3.5. Determinação da massa por unidade de superfície 73
4.3.6. Propriedades mecânicas da malha 75

4.3.7. Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água 78
4.3.8. Avaliação da Permeabilidade ao ar 81
4.3.9. Teste de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test) 84
4.3.10. Determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial (Teste do chuveiro) 87
4.3.11. Teste da Secagem 89
4.3.12. Moisture Management Tester (MMT) 94
5. Conclusões e Perspetivas Futuras 98
5.1. Conclusões 98
5.2. Perspetivas Futuras 99
Bibliografia 101
Anexos 106
Anexo 1. Fichas técnicas das malhas 106
Anexo 2. Ficha técnica do produto *TanaFinish HPX* 112

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

A	A.S.T.M.	*American Society for Testing and Materials*
C	CDR	Razão de estiramento a frio
D	DoE	*Design of Experiments*
	DP	Desvio Padrão
	DDR	Razão de estiramento a quente
I	ISO	International Organization for Standardization
M	MMT	*Moisture Management Tester* (Teste de gestão de humidade)
N	NP	Norma Portuguesa
O	OMMC	Capacidade de gestão de humidade
P	PCM	*Phase change materials*
	PBT	Tereftalato de polibutileno
S	SMA	*Shape memory alloys*

Índice de figuras

Figura 1 - Metodologia do trabalho 4
Figura 2 - Macroporos e Microporos (Fonte: Benltoufa; Fayala; BenNasrallah, 2008). 6
Figura 3 - Percentagem de Regain das principais fibras têxteis (Fonte: Vasconcelos, 2016) 7
Figura 4 - Percentagem de retenção de líquido das principais fibras têxteis (Fonte: (Vasconcelos, 2016)) 7
Figura 5 - Comportamento das fibras à resiliência 11
Figura 6 - Fibra trilobal e seu derivado, respetivamente (Fonte: Fiber Innovation ecnology 2008). 11
Figura 7 - Fibra segmented-pie (Fonte: (Shim, Pourdeyhimi, & Latifi, 2010)) 12
Figura 8 - Esquema da extrusão por melt-spinning (Carvalho, 2015). 17
Figura 9 - Ilustração estiramento no melt-spinning (Fonte: Centi) 19
Figura 10 - Alteração da fibra trilobal consoante o tempo de solidificação (Hufenus, Yan, Dauner, & Kikutani, 2020) 19
Figura 11 - Diferentes tipos de construção de tecido (Fonte: (Vasconcelos, 2016)). 21
Figura 12 - Laçada de uma malha de trama (Catarino, 1998) 22
Figura 13 - Tipos de laçadas da malha de trama (Rocha, 2020) 23
Figura 14 - Direito técnico da malha jersey (Catarino, 1998) 24
Figura 15 - T-shirt equipa de futsal masculina (Fonte : (Souza J. M., 2008)) 25
Figura 16 - Tear reto (Fonte: (NS, 2021)) 28
Figura 17 - Tear circular (Fonte: (NS, 2021)) 29
Figura 18 - Fibra de CoolMax (Fonte:https://www.coolmax.com/en/business/search-technologies/coolmax-ecomade-technology) 31
Figura 19 - Minerais nas fibras de CoolMax (Fonte: http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-apparel). 31
Figura 20 - Tecnologia ClimaCool (Fonte: http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-appare). 32
Figura 21 - Tecnologia Dri-FIT (Fonte: www.nike.com) 33
Figura 22 - Tecnologia Equarea (Fonte:https://www.youtube.com/watch?v=SCXXGSD8jS8) 34
Figura 23 - Esquema da extrusora Centi (Fonte: Centi) 42

Figura 24 - Microscópio ótico (Fonte: Autor) 43
Figura 25 - Diâmetros das fibras trilobais – ampliado 20x (Fonte: Autor) 44
Figura 26 - Dinamómetro e carga de célula (Fonte: Autor) 45
Figura 27 - Tear Tricolab (Fonte: Autor) 47
Figura 28 - Produto de acabamento (Fonte: Autor) 47
Figura 29 - Contextura (Fonte: Autor) 49
Figura 30 – Medidor de espessura (Fonte: Autor) 50
Figura 31 - Dinamômetro (Fonte: Autor) 51
Figura 32 - Permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor) 53
Figura 33 - Suporte e equipamento utilizado no ensaio de avaliação da permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor) 54
Figura 34 - Permeabilímetro (Fonte: Autor) 55
Figura 35 - Teste da gota (Fonte: Autor) 56
Figura 36 - Teste do chuveiro (Fonte: Autor) 57
Figura 37 - Escala do grau de molhagem de um tecido segundo a Norma (Fonte: Norma NP EN 24 920 1993) 57
Figura 38 - Estufa Salvis (Fonte: Autor) 58
Figura 39 - Amostras para o teste de secagem (Fonte: Autor) 59
Figura 40 - Esquema de funcionamento do Moisture Management Tester (Fonte: Borelli, 2013) 61
Figura 41 - Máquina MMT (Fonte: University of Zagreb - Faculty of Textile Technology) 63
Figura 42 - Gráfico da tenacidade e alongamento à rotura (Fonte: Autor) 68
Figura 43 - Gráfico propriedades mecânicas - fileiras (Fonte: Autor) 75
Figura 44 - Gráfico propriedades mecânicas - colunas (Fonte: Autor) 77
Figura 45 - Influência da geometria e acabamento na permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor) 81
Figura 46 - Gráficos estatísticos para a permeabilidade ao ar (Fonte: Autor) 83
Figura 47 - Evaporação da água através do tecido (Borelli, 2013) 84
Figura 48 - Gráficos estatísticos Drop Test (Fonte: Autor) 86
Figura 49 - Gráfico das curvas de secagem (Fonte: Autor) 90
Figura 50 - Amostra para o teste de secagem (Fonte: Autor) 90

Figura 51 - Gráfico do tempo de secagem (Fonte: Autor) 92
Figura 52 - Gráficos estatísticos teste de secagem (Fonte: Autor) 93
Figura 53 - Resultados MMT malha T2 (Fonte: Autor) 96
Figura 54 - Resultados MMT malha C2 (Fonte: Autor) 96
Figura 55 - Malha T1 106
Figura 56 - Malha T2 107
Figura 57 - Malha T3 108
Figura 58 - Malha C1 109
Figura 59 -Malha C2 110
Figura 60 - Malha C3 111

Índice de tabelas

Tabela 1 - Caudal das bombas para fibras trilobais (Fonte: Autor) 18
Tabela 2 - Principais propriedades dimensionais e funcionais da t-shirt (Fonte: Autor) 26
Tabela 3 - Especificações das malhas jersey poliéster/PBT (Fonte: Autor) 27
Tabela 4 - Patentes de têxteis com capacidade de gestão de humidade (Fonte: Autor) 35
Tabela 5 - Condições de ensaio (propriedades mecânicas) (Fonte: Autor) 46
Tabela 6 - Nomenclatura das amostras (Fonte: Autor) 46
Tabela 7 - Requisitos (Fonte: Autor) 63
Tabela 8 - Parâmetros de produção das fibras (Fonte: Autor) 64
Tabela 9 - Parâmetros de produção das fibras (Fonte: Autor) 64
Tabela 10 - Massa linear das fibras (Fonte: Autor) 65
Tabela 11 - Imagens Microscópicas (Fonte: Autor) 66
Tabela 12 - Fator de forma das fibras trilobais (Fonte: Autor) 67
Tabela 13 - Propriedades mecânicas das fibras (Fonte: Autor) 67
Tabela 14 - Comprimento das laçadas (Fonte: Autor) 69
Tabela 15 - Grau de aperto (Fonte: Autor) 69
Tabela 16 - Imagens do grau de aperto das malhas (Fonte: Autor) 70
Tabela 17 - Fileiras e Colunas (Fonte: Autor) 71
Tabela 18 - Espessura das malhas (Fonte: Autor) 72
Tabela 19 - Massa por unidade de superfície (Fonte: Autor) 73
Tabela 20 - Alongamento e força à rotura e respetivos desvios padrão – colunas (Fonte: Autor) 75
Tabela 21 - Alongamento e força à rotura – colunas (Fonte: Autor) 76
Tabela 22 - Permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor) 78
Tabela 23 - Análise estatística da permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor) 80
Tabela 24 - Permeabilidade ao ar (Fonte: Autor) 82
Tabela 25 - Análise estatística da permeabilidade ao ar (Fonte: Autor) 83
Tabela 26 - Tempo de absorção das malhas (Fonte: Autor) 85
Tabela 27 - Análise estatística Drop Teste (Fonte: Autor) 86
Tabela 28 - Grau de molhagem das malhas (Fonte: Autor) 88
Tabela 29 - Média dos pesos utilizados no teste de secagem (Fonte: Autor) 89

Tabela 30 - Massa das amostras de malha e água nos ensaios de secagem (Fonte: Autor) 91
Tabela 31 - Análise estatística do teste da secagem (Fonte: Autor) 93
Tabela 32 - Tratamento de dados dos ensaios às amostras (Fonte: Autor) 94
Tabela 33 - Resultados OMMC 95

Índice de Equações

Equação 1 – Determinação da massa linear 43
Equação 2 - Determinação do Fator de forma 44
Equação 3 – Determinação da tenacidade 45
Equação 4 – Determinação do grau de aperto 48
Equação 5 – Determinação do comprimento do fio 48
Equação 6 - Determinação da massa linear por unidade de área 50
Equação 7 – Determinação da permeabilidade ao vapor de água 52
Equação 8 – Determinação do índice da permeabilidade ao vapor de água 53
Equação 9 – Determinação da permeabilidade ao ar 55

1. Introdução

Neste capítulo introdutório encontram-se descritas as principais motivações, enquadramento teórico e objetivos associados ao desenvolvimento do presente trabalho. Além disso, descreve-se a organização da dissertação, fazendo referência ao estudo do mercado de produtos com capacidade de gestão de humidade, ao estado da arte e aos conceitos teóricos relacionados com o conforto nos têxteis, ao tipo de fibras favoráveis em termos de gestão de humidade, ao tipo de estruturas têxteis e suas características, assim como às metodologias, materiais, métodos e técnicas abordadas.

1.1. Motivação

Os materiais têxteis, principalmente aqueles que se encontram em contacto com o ser humano, devem possuir diversas características favoráveis ao seu uso. Uma das mais importantes está relacionada com o conforto que proporciona (Madeira, 2009).

A gestão de humidade é uma das propriedades fundamentais quando se trata de têxteis em contacto com a pele, principalmente aqueles associados a produtos utilizados na prática desportiva. Esta propriedade apresenta um elevado grau de importância no conforto termofisiológico do corpo humano, sendo caracterizada com base num fenómeno de transferência de humidade, que resulta da sua absorção e transporte até à superfície externa do tecido (Das, 2009). O transporte do líquido num substrato têxtil pode resultar do fluxo capilar gerado pelas características da fibra (Patnaik, 2006) e depende das propriedades das estruturas têxteis, tais como da repelência e/ou absorção da água, da capilaridade das fibras e dos fios, da geometria do tecido e da estrutura interna dos materiais constituintes (Martin, 2010).

A propriedade em estudo é relevante em diferentes aplicações têxteis, mas apresenta um maior impacto quando se trata de vestuário desportivo, uma vez que durante a sua utilização há uma maior formação de humidade no corpo e, portanto, uma maior necessidade de melhor gestão desta humidade nessas condições.

Deste modo, entendeu-se a necessidade de desenvolver novos produtos têxteis com uma elevada capacidade de gestão de humidade, mas mantendo todas as outras características que influenciam o seu desempenho e são importantes para o seu uso. Sendo assim, surgiu a ideia de criar diferentes fibras têxteis poliméricas obtidas por *melt-spinning* que, através da estruturação em diferentes geometrias, permitisse projetar uma estrutura com características melhoradas em termos de gestão de humidade para ser aplicada em têxteis . Alem disso, atendeu-se ao tipo de materiais e acabamentos que melhor permitissem obter malhas com aplicação final a área dos têxteis desportivos.

1.2. Enquadramento

Neste projeto desenvolveram-se fibras sintéticas de PBT através do processo de *melt-spinning* com diferentes geometrias, que variavam em termos de diâmetro, massa linear e forma.

Posteriormente, as fibras desenvolvidas, com geometria trilobal e com geometria circular, foram usadas para produzir malhas com graus de aperto diferentes, nomeadamente 12, 14 e 16. Estas malhas foram depois sujeitas a um acabamento hidrodinâmico com o objetivo de maximizar a sua capacidade de gestão de humidade.

O desempenho em termos de gestão de humidade das estruturas desenvolvidas foi avaliado através de testes físico-químicos específicos, como o teste *Moisture Managment Tester* (MMT), o teste de avaliação da permeabilidade ao vapor de água e ao ar, o teste de hidrofilidade por absorção, o teste de determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial e o teste da secagem.

1.3. Objetivos

O objetivo principal da dissertação consistiu no desenvolvimento de fibras têxteis, com propriedades de gestão de humidade, obtidas através de polímeros termoplásticos, pelo método de *melt-spinning*. Estas fibras foram produzidas com diferentes geometrias, de forma a maximizar

as suas características em termos de gestão de humidade e aplicadas na produção de malhas *Jersey*.

Um segundo objetivo consistiu em avaliar a influência de um acabamento hidrodinâmico nas propriedades de gestão de humidade das malhas prototipadas.

1.4. Estrutura da Dissertação

O presente trabalho descreve-se em cinco capítulos, de modo a enquadrar todos os tópicos relevantes para a realização da dissertação. Estes capítulos dividem-se em subsecções, com o intuito de facilitar a compreensão de certos aspetos descritos.

O primeiro capítulo começa com o enquadramento e motivação do tema de dissertação, fazendo uma referência ao produto em desenvolvimento. De seguida, apresenta-se o objetivo principal e os específicos, bem como a estrutura do projeto em estudo.

No segundo capítulo evidenciam-se os conceitos teóricos necessários para a compreensão do tema e das escolhas efetuadas, tal como o estado da arte, abordagem dos têxteis para desporto, estudo de mercado e metodologias possíveis de utilização para o desenvolvimento deste projeto.

No que diz respeito ao terceiro capítulo, são apresentados os materiais utilizados, evidenciando os substratos têxteis (PBT) e produtos auxiliares para os acabamentos. Apresentam-se também os métodos de controlo de qualidade, etapas da produção das fibras e desenvolvimento das malhas, bem como as técnicas de funcionalização e otimização do processo utilizado.

Relativamente ao quarto capítulo, são expostos os resultados obtidos na parte experimental do trabalho, sob a forma de tabelas e figuras, bem como a sua análise e discussão dos mesmos.

Finalmente, o capítulo cinco relata as conclusões fundamentais do trabalho desenvolvido, assim como as perspetivas futuras.

1.5. Metodologia do trabalho

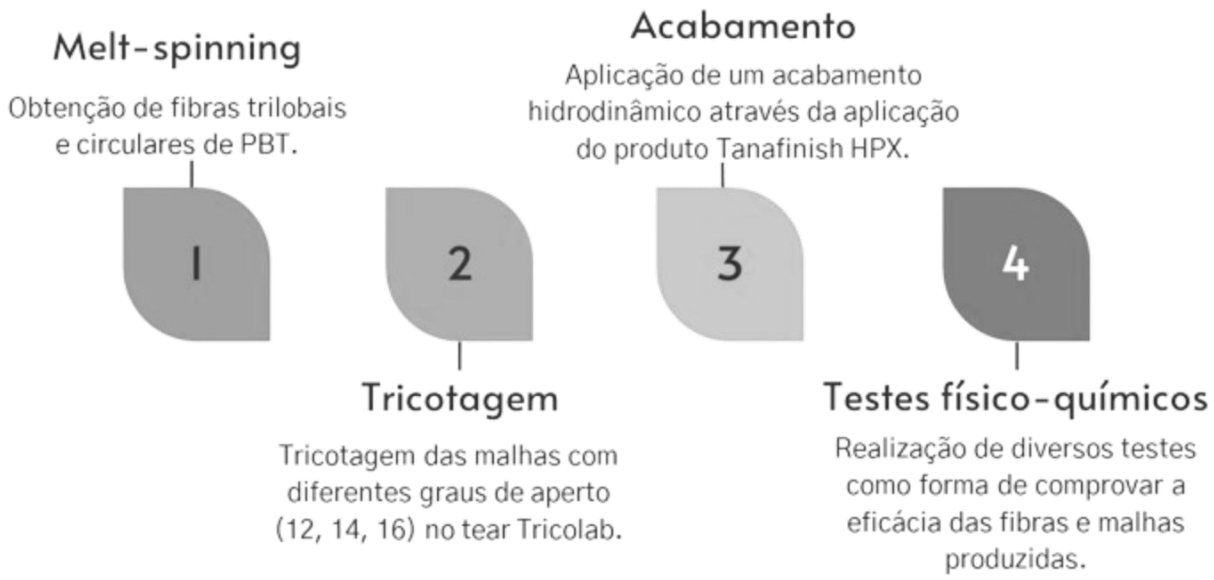


Figura 1 - Metodologia do trabalho

2. Enquadramento teórico

Os materiais têxteis, principalmente aqueles que se encontram em contacto com o ser humano, devem possuir diversas propriedades favoráveis ao seu uso. Um dos aspetos mais importantes num têxtil está relacionado com o conforto que este é capaz de conferir ao ser humano, sendo este definido como um equilíbrio termodinâmico constante entre o microclima (clima criado entre a pele e a primeira camada do tecido) e o ambiente (Madeira, 2009).

Para se alcançar um estado de conforto é essencial que a temperatura e humidade do corpo se mantenham constantes e garantir que a quantidade de calor gerada pela atividade física seja igual à quantidade dissipada no ambiente (Madeira, 2009).

2.1. Conforto termofisiológico - Gestão de humidade

A gestão de humidade é uma propriedade com elevado grau de importância no conforto termofisiológico do corpo humano. Esta é caracterizada tendo por base um fenómeno de transferência de humidade, através do qual um tecido é capaz de a absorver e transportar para a superfície externa (Das, 2009). Deste modo, a avaliação da gestão de humidade de um substrato têxtil é importante, podendo ser realizada considerando a humidade no estado gasoso ou líquido (Fangueiro, Cruz, Araújo, & Araújo, 2011).

As características do substrato, como é o caso da estrutura e do acabamento a que tenha sido sujeito são determinantes para facilitar a difusão dos fluídos (Fangueiro, Cruz, Araújo, & Araújo, 2011). Outro fator muito importante e com grande influência neste transporte de humidade é o tipo de fibra utilizada e a sua morfologia.

O transporte de um líquido num substrato têxtil depende das tensões resultantes do fluxo capilar gerido pelas características da fibra (Patnaik, 2006). Este fator é dependente também das propriedades das estruturas têxteis, tais como da repelência/absorção da água, da capilaridade das fibras e dos fios, da geometria do tecido, assim como da estrutura interna dos materiais constituintes (Martin, 2010). Assim, uma conveniente gestão de humidade em têxteis pode ser

obtida através da adequada construção do tecido com a melhor escolha do debuxo, dos acabamentos químicos (conceito de secagem rápida) ou, ainda, através da mistura das duas abordagens (Lima Filho, 2009).

Nas estruturas têxteis, os capilares das fibras são responsáveis por transportar a humidade. Por isso, este transporte depende do diâmetro, da geometria e do número de capilares e da energia superficial. Esta última característica pode ser modificada através do acabamento do produto (Vasconcelos, 2016).

Um substrato têxtil pode apresentar macroporos e microporos, tal como é ilustrado na Figura 2. Os macroporos resultam da presença de espaços vazios entre os fios na estrutura do tecido. Por outro lado, os microporos correspondem a espaços vazios entre as fibras.

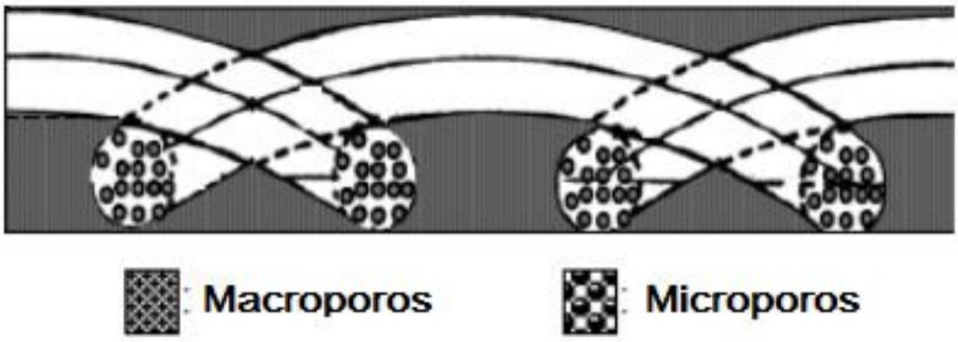


Figura 2 - Macroporos e Microporos (Fonte: Benltoufa; Fayala; BenNasrallah, 2008).

2.1.1. Propriedades dos têxteis ligadas ao conforto

O conforto associado aos substratos têxteis, encontra-se dependente das propriedades intrínsecas dos materiais, tais como a gestão de humidade e o controlo térmico.

A *American Society for Testing and Materials* (A.S.T.M.) define a Taxa de Recuperação de Humidade, mais conhecida como "*Regain*", como a humidade presente num determinado material sob condições pré-estabelecidas em relação à amostra sem água, sendo esta expressa na forma de percentagem (Vasconcelos, 2016). Neste sentido, é possível, de forma simplificada, afirmar que "*Regain*" é a percentagem de água que o material absorve em relação à sua massa seca em condições controladas de humidade e temperatura (Aguiar Neto, 2005).

A partir da Figura 3, é possível analisar a percentagem de *Regain* das principais fibras têxteis, enquanto que a Figura 4 mostra a respetiva percentagem de retenção de líquido.

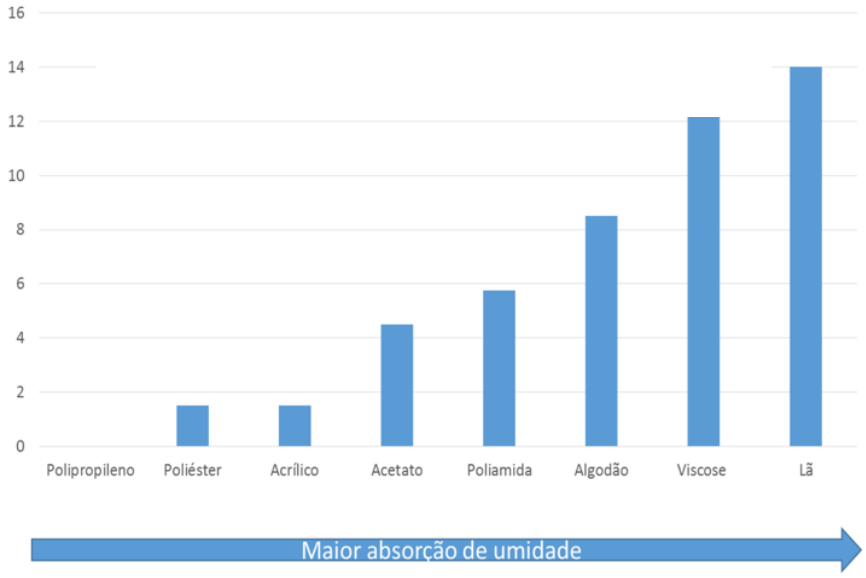


Figura 3 - Percentagem de *Regain* das principais fibras têxteis (Fonte: Vasconcelos, 2016)

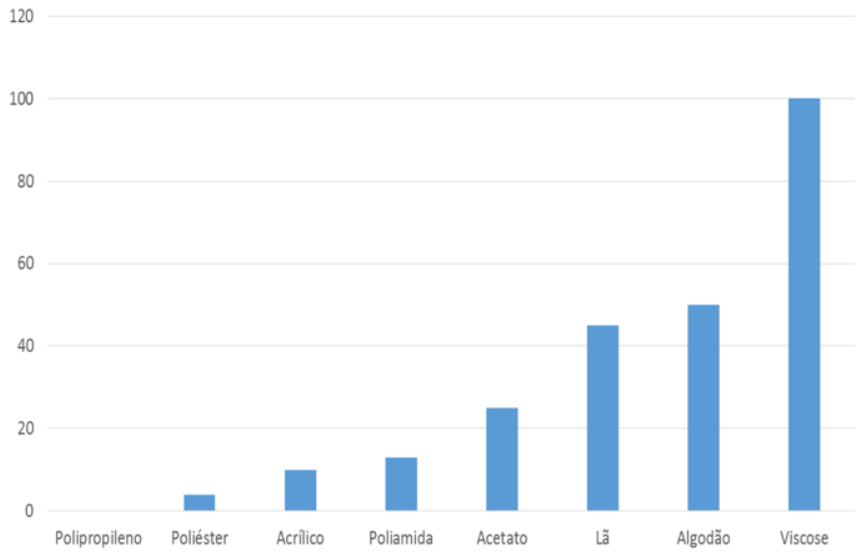


Figura 4 - Percentagem de retenção de líquido das principais fibras têxteis (Fonte: (Vasconcelos, 2016))

Atendendo aos dados apresentados anteriormente, verifica-se que a fibra com maior capacidade de absorção de humidade é a lã, enquanto que a que apresenta menor capacidade é o poliéster.

O polipropileno não apresenta capacidade de absorção de humidade. Relativamente à percentagem de retenção de líquidos, verifica-se que a fibra que apresenta a maior percentagem é a viscose, sendo que, mais uma vez o polipropileno apresenta um valor nulo.

Apesar de certas fibras sintéticas apresentarem uma percentagem de absorção de humidade muito baixa, é possível contrariar este fator através de modificações de fibras por aplicação de acabamentos. As fibras de poliéster, por exemplo, obtêm uma melhor gestão de humidade quando são tratadas com um revestimento hidrofílico. Este revestimento faz com que o núcleo da fibra permaneça hidrófobo, permitindo que a humidade migre ao longo da superfície hidrofílica externa dos filamentos sem que ocorra a absorção. No entanto, este tipo de tratamento apresenta o inconveniente de possuir reduzida resistência às lavagens. Para se contrariar essa desvantagem é possível recorrer à modificação química da superfície do material, porém este processo revela-se frequentemente mais dispendioso (HU, 2005).

2.2. Desporto

O desporto encontra-se dividido em dois grandes setores, o setor do desperto profissional que abrange todos os atletas e competições federadas e o setor do desporto amador que vai desde a prática de ginásio, a modalidades escolares e a exercício em casa. Sendo assim, e tendo em conta os dois setores é possível concluir que o desporto tem uma grande importância a nível económico mundial (Vasconcelos, 2016).

Esta área tem vindo cada vez mais a ganhar importância uma vez que cada vez mais as pessoas se tentam ligar a um modo de vida saudável, o torna o desporto numa grande oportunidade de investimento, tanto a nível de espetáculo no mundo profissional como a nível de produto de consumo no desporto amador, abrindo assim um grande horizonte no que diz respeito à investigação (Souza J. M., 2008).

2.2.1. A importância dos têxteis no vestuário desportivo

A nível dos têxteis desportivos as empresas focam-se em desenvolver produtos inovadores e funcionais em todas as categorias do desporto, esperando-se o lançamento de artigos com propriedades superiores aos já existentes no mercado (Bramel, 2005).

Assim sendo, e tendo em conta que a longa história da indústria têxtil, esta tenta encaixar-se de forma moderna e prática no desenvolvimento de vestuário desportivo, com tecnologia avançada no que diz respeito à gestão de humidade, prolongando o tempo seco do atleta e, assim, contribuindo para o conforto do utilizador (Vasconcelos, 2016).

Estudos já realizados, comprovam que o consumidor atual procura cada vez mais o conforto nas suas peças, sendo este um dos fatores principais na decisão de compra. A procura acentuado por parte do consumidor pelo conforto faz com que a engenharia têxtil trabalhe todos os seus setores nesse sentido, desde as fibras, fios e estruturas até aos acabamentos (Vasconcelos, 2016).

Considerando a área desportiva existem roupas específicas para cada tipo de atividade, género e ambiente, sendo que a mesma modalidade pode possuir diferentes tipos de vestuário caso as condições ambientais se alterem. A roupa que o atleta veste irá influenciar significativamente o seu desempenho uma vez que a sua constituição, modelagem, toque e caimento podem interferir na exibição do mesmo (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

Em termos do ritmo e esforço do atleta a roupa também irá desempenhar um papel muito importante, estando aqui o seu papel ligado à termorregulação, ou seja, fazer com que a temperatura corporal se mantenha estável através da rápida evaporação da transpiração. Esta termorregulação ajuda o atleta a manter-se seco e atrasa o aparecimento da fadiga, melhorando o seu rendimento (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

Posto isto, percebe-se que a indústria têxtil visa disponibilizar produtos extremamente leves, respiráveis e de rápida secagem, satisfazendo, assim, a mais importante característica: o conforto (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

Para o desenvolvimento deste tipo de vestuário, as indústrias química e têxtil têm trabalhado lado a lado na produção de melhores peças que possam contribuir para um melhor desempenho sempre aliado ao conforto dos atletas (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

Durante os processos de conceção e desenvolvimento, alguns aspetos são abordados por McCann et al. (2005), para a satisfação do utilizador, tais como: a cultura, as necessidades do corpo, as necessidades da atividade e a estética. A utilização desse conjunto definirá a estrutura, forma, estilo e detalhes de maneira diferenciada do produto final, que terá principalmente características funcionais (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

Assim sendo, a indústria têxtil, em conjunto com outras indústrias, procura melhorar a fusão entre a estética visual e a estética desportiva, levando à produção de peças tão funcionais como esteticamente atraentes e apelativas (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

2.3. Fibras têxteis

Outra forma de melhorar as propriedades de gestão de humidade das fibras sintéticas é através da manipulação da sua morfologia individual, do número de filamentos e da secção transversal. As fibras de secção transversal não convencional, têm alcançado um destaque considerável devido à sua influência no comportamento da fibra, em termos de desempenho, conforto e tatilidade (Roy & Sinha, 2014).

De seguida serão apresentadas algumas geometrias de secção transversal frequentemente usadas para melhoria das propriedades de gestão de humidade.

2.3.1. Fibras trilobais

As fibras trilobais apresentam características de capilaridade semelhantes às fibras ocas. Estas fibras apresentam uma forma com secção transversal com três lados distintos, podendo apresentar dois polímeros na sua composição, ou seja, serem bicomponentes (Souza & de Almeida Carneiro, 2016). Esta tipologia de fibra de secção transversal modificada pode trazer vantagens adicionais aos materiais como o transporte da humidade (Souza & de Almeida Carneiro, 2016).

Em termos de resiliência, que se traduz na energia que pode ser acumulada pela fibra sem produzir deformação, ou seja, a fibra tem a capacidade de voltar à posição inicial após sofrer uma deformação, a fibra trilobal é aquela que apresenta melhores valores quando comparado com

outras fibras, tais como fibras triangulares e fibras redondas, como é possível ver na figura apresentada de seguida (Kuanse, 2008).

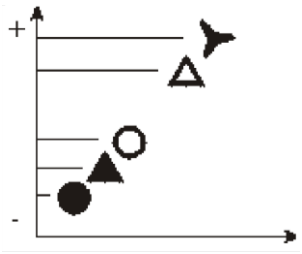


Figura 5 - Comportamento das fibras à resiliência

Estas fibras apresentam canais na sua superfície, que facilitam o transporte do líquido através da ação capilar. Para além disto, a produção de fibras que possuem estes canais facilita o processo de dissipação de líquidos, podendo existir variantes destas com mais lóbulos, como mostra na Figura 6.

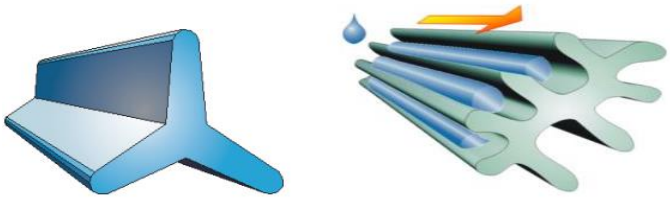


Figura 6 - Fibra trilobal e seu derivado, respetivamente (Fonte: *Fiber Innovation ecnology* 2008).

2.3.2. Fibras bi-componentes

As fibras *segmented-pie* são fibras que apresentam na sua composição dois ou mais polímeros que possuem propriedades químicas ou físicas díspares. Devido a esta incompatibilidade entre materiais, ocorre uma separação entre as diferentes secções da fibra, formando fibras ultrafinas, tal como representado na Figura 7. Deste modo, ocorre a formação de mais canais que, por sua vez, promovem o transporte por capilaridade (Fibrenamics, 2022).

No processo de formação destas fibras são utilizadas duas extrusoras para facilitar a fusão dos polímeros. Numa fase posterior à fusão dos polímeros, estes são conduzidos separadamente para serem fiados em filamentos e tornarem-se numa única fibra (Fibrenamics, 2022).

A utilização desta tipologia de fibras apresenta diversas vantagens, devido ao facto de possuírem uma distribuição uniforme do polímero e uma elevada resistência à temperatura. Além disto o seu processo de produção é pouco poluente, visto que não ocorre a libertação de efluentes, podendo o material ser reciclável, o que o torna num material sustentável, algo que nos dias de hoje é de extrema importância (Fibrenamics, 2022).

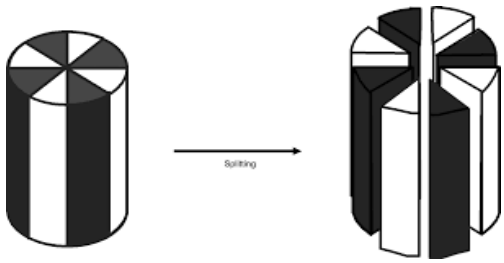


Figura 7 - Fibra *segmented-pie* (Fonte: *(Shim, Pourdeyhimi, & Latifi, 2010)*)

2.4. Estratégias de modificação de fibras e materiais

Atualmente, existe uma crescente procura na melhoraria das propriedades das fibras. Neste sentido, têm vindo a produzir-se microfibras (espessura inferior a 1 dtex) e super-microfibras (inferiores a 0,3 dtex), que são esteticamente muito atraentes, permitem elevado conforto e propriedades únicas no que diz respeito ao transporte de humidade (Souza & de Almeida Carneiro, 2016).

Uma grande evolução a nível da diversificação funcional das fibras sintéticas ocorreu com o aparecimento das fibras multicomponentes (bi-componentes, tri-componentes), fibras ocas e nano aditivadas de fibras não naturais, nomeadamente com a introdução dos PCM (*phase change materials* – materiais de mudança de fase) e dos SMA (*shape memory alloys* – ligas de memória de forma). Outras possibilidades de modificação de fibras estão relacionadas com a adição de nanopartículas metálicas ou cerâmicas e de materiais termo e fotocromáticos ou materiais piezoelétricos de baixo consumo energético (Souza & de Almeida Carneiro, 2016).

Ademais da produção de fibras à escala micro, existe a possibilidade de funcionalizar os materiais têxteis através de acabamentos químicos ou físicos, incrementando as suas propriedades. A funcionalização pode ser alcançada por intermédio de revestimentos ou impregnação com diversos produtos, usando emulsões/micro emulsões, nanopartículas e nanocompósitos, de forma individual ou recorrendo a combinações de materiais e formas de aplicação. (Souza & de Almeida Carneiro, 2016)

É, também, possível combinar os materiais têxteis, como fibras, fios, tecidos, malhas e não tecidos de diversas formas, de modo a tirar partido das vantagens individuais de cada material e maximizando as suas propriedades conjuntas. Estas combinações podem ser feitas através de construções estruturadas e desenhadas para proporcionar um elevado desempenho a diversos níveis, nomeadamente a nível do conforto térmico, termorregulação, respirabilidade, isolamento e gestão de humidade (Souza & de Almeida Carneiro, 2016).

2.5. Polímeros termoplásticos

A palavra polímero é originada do grego *poli*, que significa "muitas", e *mero* que significa "partes", o que traduz o facto das macromoléculas existentes nestes compostos se formarem através da ligação de várias unidades de moléculas pequenas, denominadas de monómeros. Os polímeros são, então, macromoléculas caracterizadas pelo seu tamanho, a sua estrutura química e as interações intra e intermoleculares (Torres, 2009).

Assim sendo, os polímeros podem ser divididos em dois grupos principais: polímeros naturais, como a celulose e o latex e polímeros sintéticos, como polipropileno (PP) e o polietileno (PE). Para além desta divisão, tanto os polímeros naturais como os sintéticos, podem, ainda, ser classificados em termoplásticos, termoendurecíveis, borrachas e fibras (Torres, 2009).

Em termos de polímeros termoplásticos, estes são polímeros que podem ser moldados em diferentes formas. O seu aquecimento leva ao enfraquecimento das forças intermoleculares, tornando-os flexíveis, o que faz com que seja possível a sua moldagem. Após o arrefecimento do polímero, este volta a endurecer, mantendo a forma que lhe foi atribuída durante a sua fusão. Este processo de aquecimento e arrefecimento acaba por se tornar numa espécie de ciclo que pode

ser repetido indefinidamente, sendo esta uma das maiores vantagens dos polímeros termoplásticos (Moraes, Oliveira, Souza, & Alves, 2010).

Relativamente aos polímeros termoplásticos que podem ser aplicados em têxteis com capacidade de gestão de humidade, mais propriamente na área do desporto, existem imensas opções, sendo as mais utilizadas e com melhores características tendo em conta o objetivo final do produto a poliamida, o poliéster e o tereftalato de polibutileno (PBT).

2.5.1. Poliamida

A poliamida é um polímero de origem sintética, termoplástico, obtida, normalmente através do petróleo, mas, também, do carvão mineral (Valente & de Oliveira, 2011). Existem diferentes tipos distintos de poliamida, tais como, a poliamida 6 e a poliamida 6.6, que apresentam como matéria-prima básica o benzeno, e como principal diferença a capacidade de absorção do corante durante o tingimento (Costa, LIMA, & Rosa, 2013).

Os monómeros deste polímero são as amidas que se encontram conectadas através de ligações peptídicas. Uma das suas características é a grande presença de átomos de carbono nas suas moléculas, que influenciam na obtenção de vários tipos de materiais (Stoodi, 2020).

As fibras de poliamida apresentam excelentes propriedades mecânicas, resistência à abrasão e elasticidade quando comparadas com outras fibras equivalentes, tendo ainda a vantagem de possuir uma boa adesão a outras fibras. Para além disto, esta fibra apresenta, ainda, a capacidade de absorver pouca humidade o que favorece uma rápida secagem das peças, o que se torna bastante interessante quando aplicado a vestuário de desporto (Carvalho, 2015).

Através da resina de poliamida pode-se formar diferentes tipos de fibras, sendo a fibra mais conhecida neste grupo o nylon, considerado este o mais nobre dos fios sintéticos e dos primeiros a ser produzido industrialmente (Valente & de Oliveira, 2011).

2.5.2. Poliéster

O poliéster é um polímero sintético termoplástico, produzido através da matéria prima politeraftalato de etilenoglicol (Mendes, 2019). Este polímero apresenta o grupo funcional éster na sua cadeia principal, formado pela reação de um diácido, ou o seu sal, com um diálcool (Costa, LIMA, & Rosa, 2013).

Os monómeros deste polímero necessitam de ser bi-funcionais, ou seja, o ácido contém dois grupos carboxílicos, para que seja possível a polimerização, o que, caso não aconteça, faz com que a reação seja interrompida no estágio monomérico (Moncriff, 1975).

O poliéster é caracterizado como uma fibra sintética orgânica que apresenta uma elevada resistência à humidade e a agentes químicos, bem como à tração. Esta é uma fibra bastante consumida, uma vez que possui um baixo custo, viabilizando a sua venda por um preço acessível quando comparado com outros produtos com as mesmas características (Santos, 2020).

A fibra de poliéster garante, ainda, um elevado grau de cristalinidade, o que advém do facto das cadeias moleculares deste polímero serem bastantes rígidas, em consequência de possuírem grupos ésteres do poli(etileno tereftalato) na sua composição (Santos, 2020).

2.5.3 Tereftalato de Polibutileno (PBT)

O PBT, tereftalato de polibutileno é um polímero termoplástico que pertence à família do poliéster, sendo produzido através da policondensação do ácido tereftálico de alta pureza (TPA) ou dimetiltereftalato (DMT) com 1,4-butanediol, sendo um polímero semicristalino (RESINEX, 2023).

O PBT é caracterizado como tendo uma elevada elasticidade, o que faz com que as peças fabricadas com ele possam expandir e contrair com a flexão do corpo, tornando-se muito confortáveis. Esta elasticidade é equivalente à do elastáno, sendo esta fibra uma boa substituta para o mesmo, tendo em conta que o seu preço é relativamente baixo e, que para além disto, ainda tem características melhoradas como a resistência química e a resistência ao envelhecimento (STYLE, 2022).

Para além da elasticidade, o PBT apresenta outras características favoráveis à sua utilização como o fácil fabrico, a alta taxa de tingimento, a boa solidez da cor e o conforto, fornecendo uma sensação de tecido macio às suas peças (STYLE, 2022).

Este polímero foi o escolhido para o desenvolvimento das fibras, uma vez que apresenta características bastante interessantes para a aplicação no vestuário desportivo, como a sua elasticidade. Para além disto, o PBT oferece mais conforto para o usuário que o poliéster comum, tendo as suas capacidades de transporte de humidade melhoradas devido à sua capilaridade, oferecendo, assim, uma secagem mais rápida (Filgueiras A. P., 2008).

2.6. *Melt-spinning*

A fiação por fusão, mais conhecida como *melt-spinning*, é um método eficiente de produção de fibras à base de polímeros (Kramschuster & Turng, 2014). Neste processo, o polímero é fundido, sendo conduzido através de linhas de distribuição até à fieira, onde, com o auxílio de bombas de fluxo, é garantido o fluxo constante e a boa distribuição do polímero pela fibra (Carvalho, 2015).

Relativamente à fieira, esta pode ter vários orifícios, dependendo da sua aplicação. Esta é constituída por placas perfuradas de espessura e dimensões variáveis acompanhadas por um conjunto de filtros que bloqueiam a passagem de impurezas e distribuem os compostos (Carvalho, 2015)

Frequentemente, após ocorrer a extrusão do material dá-se a formação de um monofilamento ou multifilamento que é solidificado por arrefecimento através, normalmente, de uma coluna de ar e conduzidos, em seguida, para diferentes rolos (Carvalho, 2015).

Uma das etapas fundamentais do processo de *melt-spinning* é a estiragem, pois é nessa fase que ocorre a orientação molecular nas fibras, levando ao aumento da sua resistência mecânica e estabilidade térmica (Carvalho, 2015).

Na figura seguinte encontra-se uma representação esquemática do processo de extrusão via *melt-spinning*.

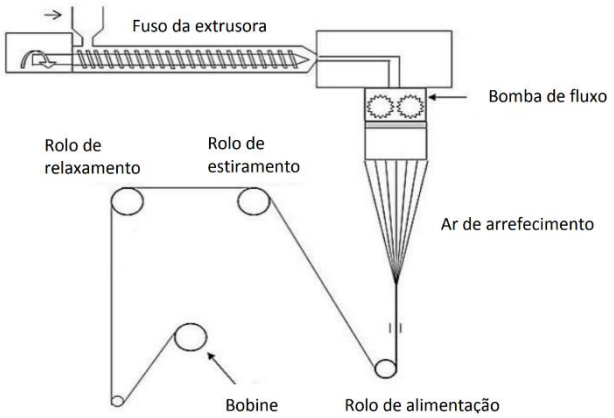


Figura 8 - Esquema da extrusão por *melt-spinning (Carvalho, 2015)*.

Segundo o estudo realizado por Cindy Carvalho, para se obter fibras com propriedades de conforto melhoradas, como a gestão de humidade, utiliza-se, normalmente, fieiras com 36 orifícios e um diâmetro entre os 0,6 e 0,9mm, podendo, estes valores ser adaptados consoante o equipamento utilizado (Carvalho, 2015).

Para a produção das fibras, é necessário definir, inicialmente, as temperaturas das várias zonas da extrusora, da bomba de extrusão e da linha de transferência da mesma, tendo em conta a temperatura de fusão do polímero escolhido, com o intuito de garantir o não alcance da temperatura de degradação dos materiais e garantir o fluxo constante do material (Carvalho, 2015).

Quando se trata de um processo de fiação por fusão é necessário ter em atenção certos parâmetros essenciais, como a seleção dos materiais, a temperatura do processo, a velocidade de rotação da bomba, a pressão da fieira, o diâmetro da fieira e o número de furos, a razão de estiramento, a temperatura de estiramento e a razão de relaxamento (Carvalho, 2015).

Para que seja possível controlar a quantidade que é debitada de material pela extrusora, é necessário considerar a velocidade de rotação das bombas conforme a percentagem de material pretendidas. Sendo assim, os caudais definidos para as bombas irão variar consoante o tipo de geometria da fibra (Carvalho, 2015).

Segundo o estudo realizado por Cindy Carvalho em 2015, um exemplo de valores de caudais que pode ser utilizado para a obtenção de fibras trilobais encontra-se representado na tabela seguinte (Carvalho, 2015).

Tabela 1 - Caudal das bombas para fibras trilobais (Fonte: Autor)

	Caudal da bomba da Extrusora A ($g.m^{-1}$)	Caudal da bomba da Extrusora B (g.m-1)
Fibra trilobal	7,20	8,70

Para além do caudal da bomba existem outros parâmetros a ser estabelecidos para que se possa proceder a uma fiação correta. Assim sendo, outro parâmetro muito importante é a pressão entre as extrusoras e as respetivas bombas de débito que garante com que o material apresente um fluxo constante até à fieira, devendo esta pressão estar entre os valores 34 e 68 *bar*. No estudo em questão esta pressão foi definida nos 35 *bar*, havendo o ajuste automático da velocidade de rotação da extrusora (Carvalho, 2015).

Após todos os principais parâmetros definidos, pode-se prosseguir para o processo de fiação em si para se obter a fibra pretendida tendo em atenção uma etapa final onde é definida a massa linear do fio, a razão de estiramento e onde é efetuado o relaxamento das tensões residuais estabelecidas durante o estiramento (Carvalho, 2015).

Em termos de massa linear o valor da mesma irá depender da velocidade dos rolos. Os rolos têm a função de fazer o estiramento do fio, ou seja, esticam mais ou menos o fio. Sendo assim, se todas as restantes condições, como o débito e o estiramento a quente, se mantiverem todos constantes é possível afirmar que quanto maior o estiramento a frio menor será a massa linear do fio (Carvalho, 2015).

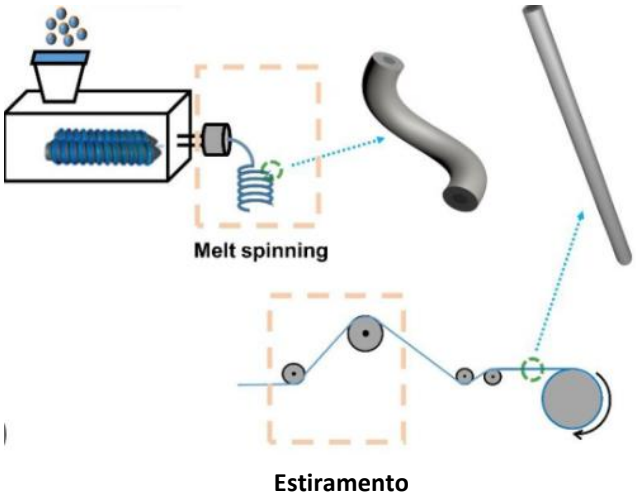


Figura 9 - Ilustração estiramento no *melt-spinning* (Fonte: Centi)

2.6.1. Fibras trilobais obtidas através de *melt-spinning*

No processo de *melt-spinning* a fase que define a forma da fibra é a passagem pela fieira, sendo que, quando se trata de matrizes que não sejam circulares é necessário ter um cuidado redobrado, como é o caso das fibras trilobais (Hufenus, Yan, Dauner, & Kikutani, 2020).

Assim sendo, a forma original trilobal do capilar pode ser mantida tanto melhor quando mais rápido o filamento solidifique. Para além da tensão superficial, também o inchaço da matriz pode contribuir para uma distorção do perfil da secção transversal (Hufenus, Yan, Dauner, & Kikutani, 2020). Ou seja, para que seja possível mantar a forma trilobal da fibra é necessário controlar o tempo de solidificação da fibra e consequentemente o tempo de estiragem da mesmo, sendo possível alterar a profundidade dos canais destas fibras variam o tempo de solidificação (Hufenus, Yan, Dauner, & Kikutani, 2020).



Figura 10 - Alteração da fibra trilobal consoante o tempo de solidificação *(Hufenus, Yan, Dauner, & Kikutani, 2020)*

2.7. Características do substrato têxtil com boas propriedades de gestão de humidade

Para se obter um substrato têxtil com boa gestão de humidade, deve ter-se em consideração certas características que o mesmo deve apresentar, sendo elas: durabilidade (resistência mecânica), conforto, respirabilidade (transmissão do vapor húmido e permeabilidade ao ar), resistência à água e proteção térmica (Madeira, 2009).

Tendo em conta que as duas primeiras características são comuns a qualquer têxtil, é de extrema importância conseguir trabalhar e moldar as restantes à aplicação final do produto, pois são estas que determinam o objetivo individual de cada peça de vestuário (Madeira, 2009).

A importância que deve ser atribuída a cada característica pode variar consoante as condições a que o material vai ser sujeito, ou seja, depende do tipo de produto e em que tipo de ambiente irá ser utilizado (Madeira, 2009).

Quando se trata de roupa para o uso exterior, esta deve ser capaz de equilibrar a retenção e a perda de calor/humidade. A transmissão de vapor de humidade aumenta com a permeabilidade do material a velocidades do ar (Madeira, 2009).

2.8. Estruturas têxteis

Um fator muito importante na construção de um têxtil e que pode ter muita influência na sua capacidade de gestão de humidade é o tipo de estrutura têxtil aplicada. As estruturas têxteis mais convencionais e utilizadas são os tecidos e as malhas. Os tecidos são formados pelo entrelaçamento de dois conjunto de fios que se cruzam em ângulo reto, sendo os fios de teia dispostos na vertical e os fios de trama na horizontal. As malhas são estruturas produzidas com base em métodos de formação das laçadas, possuindo colunas e fileiras, podendo ser divididas em malha de teia e malha de trama (Rocha, 2020).

Chama-se de malha de trama a todo o têxtil produzido por processos de fabricação nos quais pelo menos um fio de trama é transformado em malha. Durante o processo de tricotagem, o fio de trama é frisado de maneira a formar uma linha horizontal de laçadas a que se dá o nome de fileira.

Cada fileira entrelaça-se com a fileira superior, posteriormente formada, resultando num tecido de malha em que cada fileira, à exceção da primeira e da última, se encontra entrelaçada com a fileira superior e inferior (Rocha, 2020).

Chama-se de malha de teia a todo o têxtil produzido por processos de fabricação nos quais os fios provenientes de pelo menos uma teia são transformados em tecido de malha. Durante o processo de tricotagem cada um dos fios de teia é frisado de maneira a formar uma linha vertical ou diagonal de laçadas a que se dá o nome de coluna. Cada coluna entrelaça-se com as colunas adjacentes para formar um tecido (Rocha, 2020).

Relativamente às malhas, estas possuem superfícies relativamente irregulares, proporcionando mais conforto do que os tecidos planos de superfícies mais regular. Este efeito resulta do facto da irregularidade da superfície provocar menor contacto direto com a pele.

Um tecido plano apresenta uma estrutura mais rígida, lisa, fechada e impermeável que dificulta a passagem de líquidos, em comparação com um tecido de malha de trama com estrutura mais aberta, permeável, flexível e mais elástica, sendo que o tecido de malha de teia está situado entre os dois extremos. As diferenças estruturais dos tecidos planos, malha de teia e malha de trama podem ser visualizadas na Figura 11 (Vasconcelos, 2016).

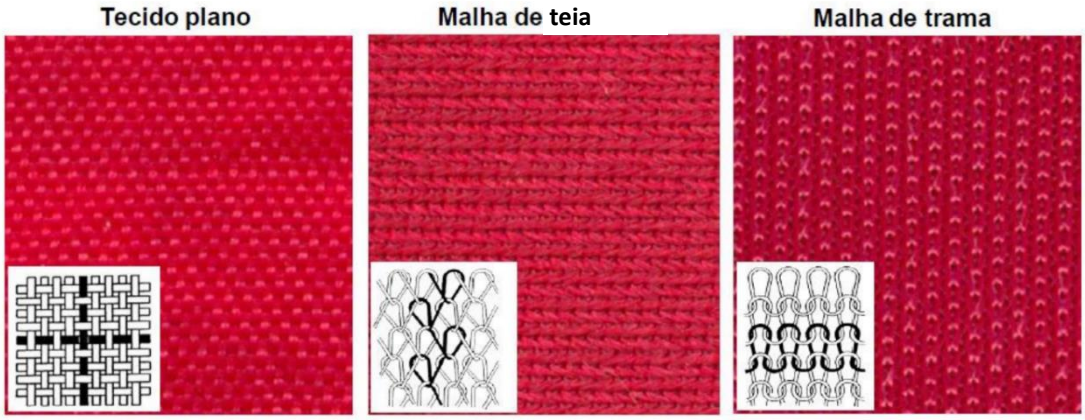


Figura 11 - Diferentes tipos de construção de tecido (Fonte: (Vasconcelos, 2016)).

Quando equiparadas com os tecidos planos, as malhas proporcionam uma maior elasticidade e proximidade ao corpo, facilitando a liberdade de movimentos adequada à ergonomia do ser humano (Filgueiras, Fangueiro, & Raphaelli, 2008).

2.8.1. Malhas de trama

Relativamente à tricotagem de malhas de trama, este método é caracterizado pela formação de um substrato têxtil a partir do entrelaçamento de laçadas de fio na direção horizontal, ou seja, na direção da trama, com um ou mais fios. Estas malhas apresentam como principal diferença das malhas de teia, o número de fios que alimentam a agulha (Catarino, 1998).

Uma malha, quer seja de teia ou trama, é sempre constituída por fileiras e colunas, sendo estas entrelaçamentos de laçadas organizados em duas direções diferentes que são perpendiculares entre si. Em termos da fileira, esta é, principalmente, uma linha horizontal de laçadas produzidas por agulhas adjacentes, sendo que no caso das malhas de trama, estas podem ser formadas através da alimentação de um único fio. Por sua vez, a coluna trata-se de uma linha vertical de laçadas produzidas pela mesma agulha (Catarino, 1998).

Tendo em conta que a laçada é elemento base para a formação de uma malha é importante saber qual a sua composição, sendo algumas partes principais a cabeça, as pernas e os pés, como mostra na Figura 12.

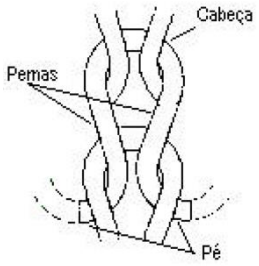


Figura 12 - Laçada de uma malha de trama *(Catarino, 1998)*

Quando se fala de laçadas de malhas de trama, é de realçar que existem três tipos diferentes de laçadas possíveis de se obter, sendo elas a laçada normal, a laçada flutuante, a laçada carregada e a laçada flutuante (Rocha, 2020).

- Laçada normal: Esta laçada é a unidade base das estruturas fundamentais das malhas de trama, sendo que neste caso as fileiras formam uma laçada completa (2 pernas e 1

cabeça). A laçada normal é a laçada que, normalmente, dá origem à estrutura *Jersey*, tratando-se esta da estrutura mais simples (Rocha, 2020).

- Laçada carregada: Esta laçada é formada quando a agulha segura a laçada do seu ciclo de tricotagem anterior e forma a nova laçada do ciclo de tricotagem a decorrer. Apresenta estruturas com o direito diferente do avesso, sendo aqui a estrutura base o *piquet* (Rocha, 2020).
- Laçada flutuante: Utilizada para fazer efeitos decorativos ou funcionais, sendo produzida quando a agulha que retém a última laçada não recebe o fio (Rocha, 2020).

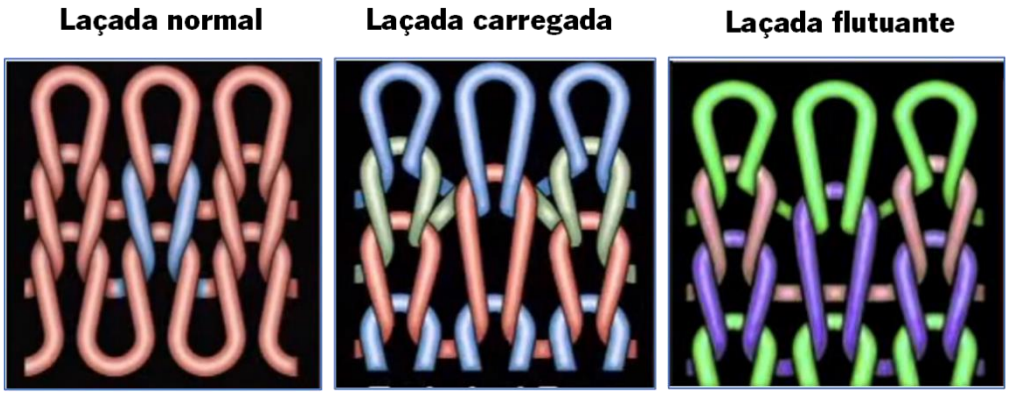


Figura 13 - Tipos de laçadas da malha de trama *(Rocha, 2020)*

2.7.2. Malha *Jersey*

As malhas de trama podem ser divididas em diferentes estruturas fundamentais, sendo elas o *jersey*, *interlock*, *rib 1x1* e ponto esquerdo 1x1. No caso do estudo em desenvolvimento, o tipo de malha aplicada e estudada é a malha *jersey*, pois, para além de ser a mais simples, torna-se também a mais adequada ao objetivo final, podendo esta ser trabalhada tanto com laçadas normais como com laçadas flutuantes (Catarino, 1998).

O *jersey* é a estrutura base e a mais simples de todos os tipos de malhas, consistindo em laçadas normais interlaçadas na mesma direção. Através destas laçadas é possível obter-se como resultado dois aspetos diferentes nos lados da malha, que se designam como direito e avesso técnico. O direito é aquele onde as pernas da laçada da agulha são visíveis, formando colunas, e apresentando um aspeto de V invertido. Por sua vez, o avesso é o lado onde se observa os

semicírculos interligados, sendo estes as cabeças das laçadas das agulhas e as bases das laçadas das platinas (Catarino, 1998).

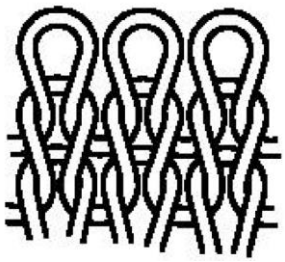


Figura 14 - Direito técnico da malha *jersey (Catarino, 1998)*

Ainda a partir da estrutura *jersey* é possível obter-se outros tipos de malha, variando o tipo de laçada utilizado, assim sendo, podem ainda existir malhas com variação do ponto, malhas com riscas, *jersey-jacquard* ou com padrão, malhas tipo *eyelet*, malhas com relevo, felpas, entre outras (Catarino, 1998).

Uma característica muito importante desta malha é o facto de ser bastante elástica, tendo a capacidade de esticar por completo a partir de uma força de deformação consideravelmente baixa. A deformação em causa apenas altera a forma da malha, não alterando as características de alongamento do fio, sendo que, quando se trata de um fio com alongamento normal esta consegue recuperar por completo a sua forma original devido à sua energia potencial (Catarino, 1998).

2.7.3. Parâmetros de produção de malhas jersey

Para se produzir uma malha *jersey* é necessário a utilização de um sistema de agulhas. Esta estrutura pode, então, ser produzida a partir de teares retos, que trabalham com o sistema de movimentação colético, ou a partir de teares circulares, que trabalham com o sistema de movimentação individual de agulhas (Catarino, 1998).

No caso dos teares com sistema de movimentação coletivo, as agulhas estão presas a sistemas rígidos que fazem subir e descer todo o conjunto de agulhas através de mecanismos específicos. Relativamente aos teares com sistema de movimentação individual, este recorre a cames para

fazer movimentar a agulha, fazendo com que as agulhas se encontrem todas em fases distintas da tricotagem, estando apenas uma a descarregar (Catarino, 1998).

Tendo em conta a finalidade do trabalho foi possível analisar dois artigos que estudam a produção de malhas de *jersey* para aplicações no desporto e, consequente, com propriedades de gestão de humidade. É de realçar que estes artigos serviram somente como referência para o ponto de partida da obtenção das malhas do trabalho em desenvolvimento e não como estudos conclusivos em termos das características finais dos produtos em análise.

No primeiro estudo, realizado por Jefferson Mendes de Sousa, estuda-se uma t-shirt usada por uma equipa de futsal masculina com uma composição de 95% poliamida *Skinlife* e 5% elastano, tendo como dados técnicos de composição dos fios 7,8tex para o fio de poliamida e 4,4tex para o fio de elastano recoberto com poliamida *Skinlife* (Souza J. M., 2008). A t-shirt em questão apresenta duas áreas distintas, uma constituída por malha *jersey* com laçadas normais (A1) e outra constituída por malha *jersey* com laçadas flutuantes (A2).



Figura 15 - T-shirt equipa de futsal masculina (Fonte : *(Souza J. M., 2008)*)

Para o desenvolvimento do trabalho em análise foram realizados testes de modo a obter-se dados referentes às propriedades dimensionais e funcionais da t-shirt, estado estes representados na Tabela 2 (Souza J. M., 2008). Com estes dados é possível ganhar uma noção dos parâmetros a ser respeitados no desenvolver de uma peça para desporto, pelo que se torna um ponto de partida para a produção deste tipo de malhas.

Tabela 2 - Principais propriedades dimensionais e funcionais da t-shirt (Fonte: Autor)

Parâmetros		**Laçada normal**	**Laçada flutuante**
Estrutura		*Jersey*	*Jersey*
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		209	184
Espessura (mm)		0,36	1,31
Colunas/cm		18	19
Fileiras/cm		28	28
Comprimento da laçada (cm)	Fio exterior	0,295	0,211
	Fio interior	0,301	0,336

Relativamente ao segundo estudo realizado por Araguacy Filgueiras e Maria Araújo, este foca-se no desenvolvimento de malhas funcionais para vestuário de desporto. Assim sendo, como o objetivo de estudar as características e propriedades de T-shirts existentes no mercado para a prática de futebol profissional, foram selecionados alguns exemplares que consistiam em composições diferentes (Filgueiras & de Araújo, Design de Malhas Multifuncionais para Utilização em Vestuário Desportivo, 2016).

Quanto ao debuxo das peças estudadas verifica-se que, embora todas as estruturas sejam malhas *jersey*, estes apresentam diferentes áreas combinando laçadas flutuantes com laçadas normais (Filgueiras & de Araújo, 2016).

As malhas foram desenvolvidas utilizando fibras de base poliéster (PES) e polipropileno (PP), que foram misturadas com fibras funcionais para garantirem certas funcionalidades, nomeadamente PBT (tereftalato de polibutileno), poliamida *Aquator*, viscose *Outlast*, poliéster *Dry release* e poliéster *Bioactive* 3 (Filgueiras & de Araújo, 2016).

Sendo assim, e tendo em conta os materiais já estudados e referidos anteriormente, serão apresentados apenas os resultados dos testes das malhas *jersey* com poliéster e PBT. Neste caso, foram analisadas várias malhas com percentagens diferentes tanto de poliéster como de PBT, como é possível ver na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificações das malhas *jersey* poliéster/PBT (Fonte: Autor)

	83%PES 17%PBT	**66%PES 34%PBT**	**50%PES 50%PBT**	**34%PES 66%PBT**	**17%PES 83%PBT**
Massa por unidade de superfície (g/m^2)	296,49	308,40	321,03	339,23	343,84
Espessura (mm)	1,65	1,58	1,57	1,60	1,61
Colunas/cm	8	10	9	9	9
Fileiras/cm	16	14	16	16	17
Comprimento da laçada (cm)	0,4276	0,4292	0,4294	0,4206	0,4254
Grau de aperto	15,99	15,93	15,93	16,26	16,08

Assim sendo, a partir destes dois estudos é agora possível partir para a produção de malhas para vestuário de desporto, com mais alguma clareza em relação aos parâmetros mais importantes da tricotagem.

2.7.4. Teares para produção de malhas

Quando se fala de teares para a produção de malhas de trama é necessário ter em consideração que existem dois tipos possíveis de utilização, sendo eles o tear reto e o tear circular (Rocha, 2020).

Tear reto

No tear reto, a malha é produzida por máquinas, geralmente, eletrónicas com dupla frontura, onde o conjunto de agulhas se encontra parado, ocorrendo a formação da malha através do movimento do carrinho guia-fios até às mesmas. Dentro destes teares temos ainda as máquinas com jacquard que permitem a produção de malhas com desenhos, riscas, relevos e outros (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994).

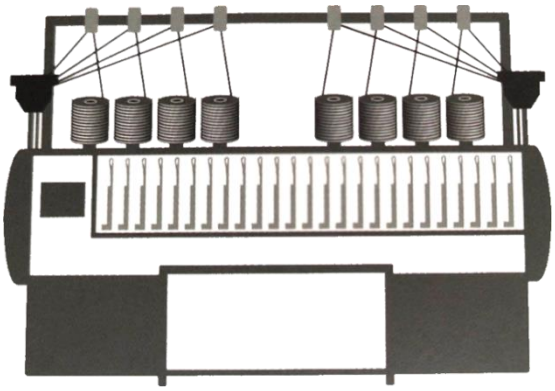


Figura 16 - Tear reto (Fonte: (NS, 2021))

Tear circular

Relativamente ao tear circular, que será aquele utilizado no desenvolver deste trabalho, é considerado o mais comum das máquinas de malharia, caracterizando-se por ter um grande número de alimentadores dispostos em círculos, produzindo um tecido tubular contínuo (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994).

Estes teares são máquinas de alto rendimento com a capacidade de produzir tecidos com diversas características. O grupo dos teares circulares divide-se me diferentes máquinas, sendo elas:

- Máquinas de grande diâmetro: neste grupo estão incluídas as monocilíndricas e são, geralmente, utilizadas na produção de *jersey*s ou meia-malha (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994)
- Máquinas circulares de dupla frontura: apropriadas para a produção de malhas duplas (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994).
- Máquinas circulares de duplo cilindro: mais associadas à produção de malhas de "fantasia" (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994).
- Máquinas de pequeno diâmetro: normalmente utilizadas para a produção de meias, desde meias lisas, rendadas ou jacquard (com desenhos na constituição do tecido) (Romero, Vieira, Martins, & Medeiros, 1994).

Nos teares circulares o fio é fornecido a partir de bobines que podem estar colocados no próprio tear, na parte superior ou então em armazéns laterais, passando por tensores de fio, guia-fios e outros sistemas de alimentação (Catarino, 1998).



Figura 17 - Tear circular (Fonte: (NS, 2021))

No seguimento dos teares circulares, para além dos teares industriais descritos anteriormente, é ainda possível encontrar teares laboratoriais como é o caso do tear Tricolab.

O tear Tricolab de cilindro ou topo aberto, é um tear de amostras, equipado com agulhas de lingueta e platinas de retenção e um diâmetro de cilindro de 3,75 polegadas. Este tear funciona por jogos, podendo variar entre um jogo de 6 e 29, ou seja, entre 72 e 340 agulhas, respetivamente, que podem ser substituídos por troca de cilindros, estando equipado com sistema de alimentação negativo e positivo e dispõe ainda de sistema de tiragem (Catarino, 1998).

2.9. Tecnologias existentes

A tecnologia *Dri-FIT* é uma tecnologia relacionada com a secagem rápida dos materiais têxteis destinada a fornecer conforto térmico dos atletas durante a atividade física. Esta foi uma tecnologia criada pela *Nike* em 1990, sendo os materiais desta gama compostos por 100% poliéster (Jin & Cedrola, 2017).

Após este lançamento, outras marcas começaram a explorar esta área da secagem rápida, aparecendo outras grandes marcas desportivas com tecnologias semelhantes como a *Adidas* com a *Aeroready®* e *ClimaCool* e a *Puma* com a *dryCELL®* (Bouredji & Jester, 2020). Ainda mais recentemente outras marcas apresentaram as suas tecnologias como a *Invista* Com a tecnologia *CoolMax* e a *Decthlon* com a *Equarea*. Assim, para as grandes marcas tornou-se um dos pontos mais importantes projetor vestuário desportivo virado para a melhor gestão de humidade e transpiração, aumentando o desempenho e conforto termofisiológico do atleta (Nuhrat, 2020).

A tecnologia Dri-FIT utiliza microfibras na sua estrutura, responsáveis por melhorar absorção da transpiração, direcionando-a para a área externa do vestuário, levando à secagem rápida (Rutssats, 2022) As microfibras quando aplicadas na produção de têxteis promove o aumento da microporosidade no interior dos fios que auxiliam o transporte de humidade por ação capilar (Maduna & Patnaik, 2020).

2.9.1. *CoolMax*

A *CoolMax* é uma marca americana que pertence à *Invista* que produz fibras de poliéster que permitem obter produtos com maior conforto térmico. Estas fibras são produzidas com um tipo de tecnologia de arrefecimento que permite obter um desempenho permanente de absorção de humidade, devido ao formato ondulado das fibras (Vasconcelos, 2016).

A partir das fibras de poliéster modificadas, esta marca produz um tecido hidrofílico e leve, com 4 ou 6 canais, como se encontra representado na Figura 18, e uma seção transversal especial, que aumenta a absorção da humidade e a expele para fora da pele (Vasconcelos, 2016).



Figura 18 - Fibra de *CoolMax* (Fonte:https://www.coolmax.com/en/business/search-technologies/coolmax-ecomade-technology)

As fibras de poliéster da *Coolmax* são funcionalizadas com minerais naturais, como é o caso do dióxido de titânio, dióxido de silício e óxido de alumínio, destacados na Figura 19. Estes minerais são moídos até se obter um pó muito fino, apresentando dimensões inferiores a um *mícron*. O pó obtido do mineral é incorporado no poliéster durante a fusão para se obterem os filamentos com as características desejadas (Vasconcelos, 2016).



Figura 19 - Minerais nas fibras de *CoolMax* (Fonte: http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-apparel).

2.9.2. *Adidas*

A *Adidas* é mais uma das marcas já existentes que tem procurado resolver o problema da gestão de humidade nas roupas e do calçado, para a prática de desporto (Vasconcelos, 2016).

Esta marca lançou uma gama, a *Clima*, que apresenta como estratégias de solução o uso de diferentes tecnologias, a *ClimaCool* e *ClimaLite* (Vasconcelos, 2016). Os tecidos são desenvolvidos de forma a aumentar a absorção de oxigénio na pele em cerca de 7%. Isto porque, uma quantidade superior de oxigénio resulta em energia reforçada e, consequentemente, num melhor desempenho do atleta (Martin, 2010).

A tecnologia *ClimaCool*, Figura 20, permite fazer circular o ar, refrescando constantemente a pele e eliminando a transpiração. Os tecidos produzidos com esta tecnologia são tecidos técnicos respiráveis e ergonomicamente localizados, que promovem a ventilação em zonas de calor crítico. A temperatura estável no corpo é mantida constante e o tecido apresenta a sensação de frescura e um ambiente seco nas regiões onde existe a maior produção de suor, com aumento da respirabilidade e diminuição do desconforto associado à humidade e sobreaquecimento (Vasconcelos, 2016).

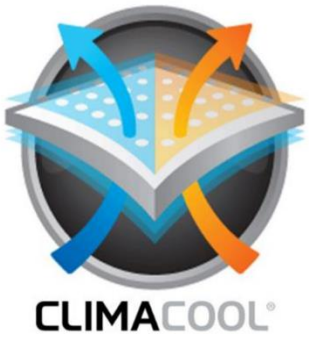


Figura 20 - Tecnologia *ClimaCool* (Fonte: http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-appare).

Os tecidos com a tecnologia *ClimaLite* são a base da gama *Clima* da *Adidas*. Estes tecidos são constituídos por microfibras que asseguram uma rápida e fácil evaporação da transpiração. Esta tecnologia expele a humidade da pele, enviando-a para a superfície do tecido permitindo que o tecido fique seco e que haja uma sensação de conforto. A capacidade de gestão de humidade oferecida pela *ClimaLite* otimiza o desempenho, minimizando o superaquecimento e a perda de energia durante o exercício por parte do atleta.

Para além da tecnologia *Clima*, a *Adidas* lançou também a tecnologia *Aeroready®*, sendo esta a tecnologia atual introduzida nas peças de desporto da marca. Esta tecnologia utiliza microfibras que facilitam a secagem através da absorção e transporte eficaz da humidade, fazendo assim com que prevaleça a sensação de leveza, mantendo os atletas mais frescos e secos, de modo que o corpo estabilize sua temperatura.

2.9.3. *Nike Dri-FIT*

A marca americana *Nike,* desenvolveu uma série de tecnologias para peças de vestuário para otimizar o conforto termofisiológico. Para a gestão de humidade a *Nike* lançou a tecnologia *Nike Dri-FIT*, que fazem parte de um grupo de tecidos *FIT*, onde cada um tem uma função específica. *FIT* é abreviação de "Tecnologia Inovadora Funcional" (Vasconcelos, 2016).

A tecnologia *Nike Dri-FIT* consiste num tecido inovador de poliéster concebido para ajudar a controlar a humidade presente no corpo, permitindo trabalhar mais intensamente e durante mais tempo de forma mais confortável. A construção única em microfibra de elevado desempenho do *Dri-FIT* apoia o sistema de arrefecimento natural do corpo, drenando o suor e dispersando-o por toda a superfície do tecido para que se evapore mais rápido (Vasconcelos, 2016).

Esta tecnologia atua expelindo a transpiração da pele para o exterior do tecido por rápida evaporação. A humidade produzida pelo corpo move-se através da camada hidrofóbica do tecido, que atua como uma espécie de bomba para movimentar a humidade para a superfície externa. Os tecidos produzidos com esta tecnologia são tecidos leves, respiráveis e confortáveis (Vasconcelos, 2016).

O vestuário *Dri-FIT* é mais eficaz como primeira camada ou como camada única, sendo que as propriedades de gestão da transpiração do *Dri-FIT* mantêm-se durante a vida útil do vestuário.

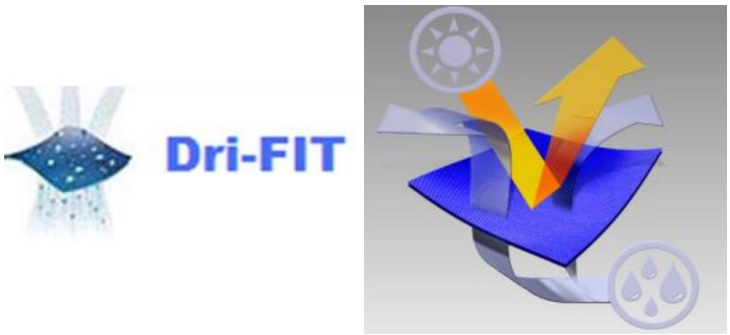


Figura 21 - Tecnologia *Dri-FIT* (Fonte: www.nike.com)

2.9.4. *Equarea*

A *Decathlon* desenvolveu a linha *Equarea* de têxteis técnicos com o objetivo de permitirem evacuar ativamente a transpiração do corpo durante a prática desportiva. Os tecidos *Equarea* tem a capacidade de absorver de imediato a humidade presente no corpo quando entra em contacto com a mesma, promovendo uma secagem rápida (Decathlon, 2015).

Ao utilizar os tecidos *Equarea,* o utilizador sente permanecer a sensação de frescura independentemente da quantidade de suor produzido na prática desportiva. No verão e no inverno o corpo não transpira da mesma forma, razão pela qual a *Decathlon* propõe tecidos *Equarea* diferentes para as diferentes estações do ano (Vasconcelos, 2016).

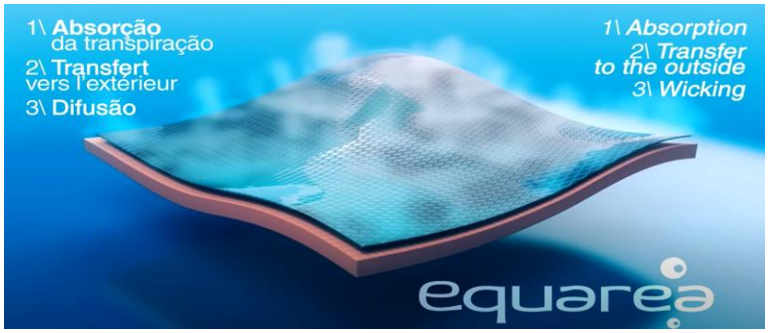


Figura 22 - Tecnologia *Equarea*
(Fonte:https://www.youtube.com/watch?v=SCXXGSD8jS8)

2.9.5. Patentes

Para a realização deste estudo foi necessário ter em consideração o que já foi desenvolvido anteriormente neste contexto, de forma a garantir o carácter inovador do trabalho a desenvolver. Assim, foi realizada uma pesquisa inicial sobre as tecnologias já existentes.

Na tabela seguinte, são apresentadas algumas das patentes mais recentes e relevantes na área da gestão de humidade têxtil.

Tabela 4 - Patentes de têxteis com capacidade de gestão de humidade (Fonte: Autor)

Patente	Descrição	Fibras	Aplicação
US5315717A (1994)	Tecido para roupa interior com a incorporação de um painel multicamada com gestão de humidade	Multifibras	Vestuário de roupa interior
US10259191B2 (2019)	Tecido com capacidade de gestão de humidade que pode transferir eficazmente a humidade de uma interface pele-tecido para uma interface atmosfera-tecido usando fibras hidrofílicas.	Fibras de algodão	Vestuário em geral
US10786024B2 (2020)	Vestuário de desporto com multicamadas impermeáveis e com capacidade de gestão de humidade.	Filmes de politetrafluoretileno	Vestuário de desporto
US10905178B2 (2021)	Vestuário de desporto com propriedades de gestão de humidade melhoradas.	Multifibras	Vestuário de desporto
US11214898B2 (2022)	Vestuário de suporte com gestão de humidade e um mecanismo *denier* diferencial	Multifibras	Vestuário interior de desporto

US5315717A (1994)

Esta patente foca-se na produção de um tecido multicamadas com propriedades de gestão de humidade para a aplicação na área entrepernas de roupas íntimas, pijamas, roupas de desporto e semelhantes.

A peça em questão deve ser constituída por camadas hidrofóbicas e hidrofílicas adjacentes que exercem um efeito simultâneo de repelência e absorção de humidade. Para além disto, deve ainda possuir um camada que seja permeável ao vapor de água e impermeável a líquidos.

Para o desenvolver desta patente foi estudado um tecido com 3 camadas e a adição de uma membrana. A camada interna, que se encontra em contacto com a pele do usuário, foi elaborada para ser hidrofóbica permeável à humidade, sendo relativamente espessa e feita através de fibras de poliéster. Uma segunda camada, intermédia, constituída por um tecido hidrofílico e relativamente fina deve ser colocada adjacente à camada hidrofóbica no lado afastado da pele, de

fibra de nylon hidrófila. Por fim, a camada externa de tecido hidrofílico relativamente espesso de fibras de nylon hidrofílicas adjacente à camada interna.

Após a elaboração destas 3 camadas, foi ainda aplicada uma membrana permeável ao vapor de água e impermeável aos líquidos entre a camada intermédia e externa para melhor ainda mais a capacidade de gestão de humidade das peças.

US102559191B2 (2019)

A patente apresentada está relacionada com tecidos com capacidade de gestão de humidade e a sua produção. São abordadas diferentes opções possíveis para a obtenção de tecidos com gestão de humidade, sendo apresentados tecidos constituídos com apenas 1 camada e tecidos com até 3 camadas. De um modo geral os tecidos podem apresentar uma camada interna que pode ser tratada com uma dispersão de nanopartículas ou apenas constituída por fibras hidrofílicas e uma camada externa que é mais absorvente que a camada interna podendo ter na sua estrutura nanofibras de quitosano ou quitina.

A primeira opção abordada na patente trata-se de um tecido com 3 camadas onde a camada externa apresenta uma concentração de cerca 0.25g/L de nanofibras na sua constituição com propriedades hidrofílicas e de absorção de humidade. A camada intermédia deste tecido tem uma absorção superior à camada interna e inferior à camada externa, tendo um gradiente de transferência de humidade que aumenta a hidrofilicidade na direção da cama interna para a externa. Neste caso a camada interna não apresenta qualquer tipo de tratamento revelante e que tenha sido realçado na patente.

É apresentada uma outra opção onde o tecido é constituído apenas por 2 camadas, sendo a camada interna um tecido tratado com uma dispersão de nanopartículas e a camada externa um tecido mais absorvente que apresenta um gradiente de transferência de humidade que aumenta a hidrofilicidade na direção oposta à camada interna.

Em terceiro lugar estuda-se novamente um tecido com 2 camadas onde a camada interna, neste caso, é constituída por fibras hidrofílicas e apresenta um gradiente de transferência de humidade

aumentando a hidrofilicidade na direção da camada externa, sendo a camada externa produzida através de nanofibras de quitosano ou quitina com uma concentração de cerca de 0.25g/L.

Por fim, é ainda apresentada uma opção de tecido com apenas 1 camada, sendo este o mais simples, possuindo apenas um mecanismo que favorece a transferência de humidade de um lado do tecido para o outro.

Em termos de método de produção o mais favorável compreende as etapas de produção de uma camada interna, uma camada intermediária e uma camada externa, em que a camada interna é menos absorvente do que a camada externa e em que a camada intermediária compreende um aumento do gradiente de hidrofilicidade na direção da camada interna para a camada externa.

US10786024B2 (2020)

A patente visa o desenvolvimento de peças de vestuário para atletas com várias camadas para repelência e gestão de humidade. Sendo assim, é idealizado uma proteção à precipitação ou humidade do ambiente e, ao mesmo tempo, uma gestão de humidade que facilite a evaporação da transpiração.

Para o desenvolvimento desta tecnologia foi elaborado um protótipo constituído por três camadas diferentes, onde cada camada tem a sua função, mas onde todas juntas resultam no culminar do objetivo pretendido para a peça final.

A camada externa apresenta um acabamento químico repelente (DWR) que fornece uma repelência à água, tendo também uma permeabilidade ao vapor conferida através de micro perfurações formadas através do tecido. Estas micro perfurações não devem ultrapassar os 0.5mm de diâmetro, sendo este tamanho o ideal para permitir a evaporação do vapor de água, mas impedir a passagem de líquidos.

A camada interna possui propriedades de gestão de humidade que facilitam a transmissão da transpiração da pele do atleta para o seu lado externo. Esta camada pode apresentar um mecanismo de ação capilar ou um diferencial negativo.

Para que seja possível a união destas duas camadas, é necessário a implementação de uma camada intermédia, devendo esta camada ser uma película respirável à prova de água, por exemplo, uma película de PTFE. Por sua vez, esta camada deve possuir vários orifícios para aumentar o transporte de vapor da camada interna.

De um modo geral, o mecanismo desta tecnologia esta relacionado com o afastamento do vapor/transpiração da pele pela camada interna e pelos orifícios da camada intermédia e, de seguida, pelas micro perfurações da camada externa. Por outro lado, a chuva/precipitação encontra primeiro a camada externa com propriedades de repelência à água através da aplicação de um acabamento e, posteriormente, uma camada intermédia com outras propriedades resistentes à água.

Desta forma, uma roupa com esta tecnologia é capaz de fornecer uma proteção contra a precipitação, ao mesmo tempo que permite a regulação da temperatura corporal, permitindo a evaporação da transpiração através da roupa.

US10905178B2 (2021)

Esta patente aborda o desenvolvimento de vestuário para desporto com propriedades visuais e de gestão de humidade melhoradas.

Sendo assim, os uniformes desportivos em questão foram desenvolvidos com o intuito de melhorar a perceção visual dos companheiros de equipa, utilizando diversas técnicas, tais como, a aplicação de contrastes de luminância ou de cores na peça.

Relativamente à gestão de humidade, este também foi um ponto abordado neste estudo, sendo aplicado a este uniforme como uma vantagem, uma vez que irá mover a transpiração da pele do atleta para a camada externa da roupa, permitindo a evaporação do suor através de um mecanismo de diferencial *denier*, aumentando, assim, o conforto de quem usa a peça.

Assim, para facilitar o movimento da humidade dá-se a utilização de várias camadas, sendo estas constituídas por filamentos com diferentes *denier* o que irá conferir à peça, de um modo geral, um mecanismo de diferencial de *denier*.

Outra das opções, também apresentadas nesta patente, para melhorar a gestão de humidade dos uniformes, foi a utilização de aberturas numa das camadas, que facilitará o aumento do arrefecimento corporal do atleta.

US11214898B2 (2022)

A patente refere-se a vestuário com capacidade de gestão de humidade através de um mecanismo de diferencial *denier* para uso durante o esforço. Neste estudo é, então, apresentado um mecanismo diferencial de *denier*, utilizando propriedades morfológicas das fibras e têxteis para fornecer propriedades de gestão de humidade.

Aqui, o diferencial de *denier* é explicado peça existência de diferentes valores de tex ou de espessura entre o direito e o avesso do tecido.

Para se obter um mecanismo de gestão de humidade por diferencial de *denier* é apresentado, inicialmente, um tecido com duas camadas. A camada de revestimento, aquela que esta em contacto com o exterior, e a camada de fundo, a que se encontra em contacto com a pele do atleta. Neste caso, a humidade move-se da camada de fundo para a camada de revestimento devido ao aumento da área de superfície da última camada.

Através deste mecanismo a evaporação ocorre mais facilmente devido ao aumento da área de superfície que promove uma maior área por onde a humidade se pode espalhar.

De um modo geral, é de realçar que a camada revestimento deve possuir um filamento com um *denier* entre 0.50 e 1.04, enquanto que a camada de fundo um filamento com um *denier* entre 1.04 e 3.50. A diferença de *denier* entre a camada de revestimento e a de fundo deve ser sempre de pelo menos 2.54.

Neste tipo de produto pode-se utilizar o mesmo tipo de fibra para ambas as camadas, o poliéster, ou utilizar nylon na camada de revestimento e poliéster na camada de fundo, ambas as camadas podem, ainda, ser malhas simples.

Em adição as camadas referidas anteriormente podem, ainda, ser utilizadas mais camadas, podendo ir até um total de 5 camadas. Caso assim seja, a terceira camada deve ter um filamento com um *denier* entre 0.5 e 1.04 e a quarta e quinta camada um *denier* entre 1.04 e 3.50.

Um exemplo prático apresentado nesta patente foi o de um sutiã de desporto, onde este é constituído por 4 camadas. Neste sutiã as camadas de revestimento e fundo devem estar entra os parâmetros gerais apresentados anteriormente. Para este sutiã existem duas opções para a terceira camada, sendo a primeira opção a camada ser constituída por um filamento menor ou igual a 1.04 e a segunda opção ser constituída por um filamento maior ou igual a 1.04. A quarta camada deve possuir sempre um *denier* igual ou superior a 1.04. A terceira camada deve estar entre a camada de fundo e a quarta camada e a quarta camada entre a terceira e a de revestimento.

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo descreve-se a metodologia usada e as várias etapas de processo envolvidas na conceção e desenvolvimento das fibras e estruturas têxteis com propriedades de gestão de humidade desenvolvidas.

3.1. Materiais

Todos os materiais utilizados no decorrer deste estudo foram cedidos pelo CeNTI, à exceção dos aplicados no acabamento hidrodinâmico, que foram fornecidos pela Universidade do Minho.

Para a obtenção das fibras utilizou-se um polímero termoplástico, o *Crastin®* S600F20 NC010 (PBT). Produziram-se fibras com geometrias diferentes e, dentro da mesma geometria, foram testadas diferentes condições de processamento.

Para a realização do acabamento têxtil aplicado às malhas utilizou-se um produto hidrodinâmico, o *Tanafinish HPX*.

3.2. Métodos

No presente subcapítulo são descritos todos os métodos utilizados neste estudo.

Para ser possível a análise correta das amostras foi realizada uma análise estatística, recorrendo ao programa *Design Expert* V13. Esta análise foi feita apenas nos ensaios de caracterização relacionados diretamente com o objetivo final do trabalho, a gestão de humidade.

3.2.1 Obtenção de fibra de PBT por *melt-spinning*

O procedimento adotado para a obtenção de fibras consistiu na aplicação do processo de *melt-spinning*, obtendo-se dois tipos de geometrias de fibras diferentes (trilobais e circulares).

Na realização dos ensaios de extrusão por *melt-spinning* recorreu-se à extrusora tricomponente da *Hills Inc.*, disponível nas instalações do CeNTI, esquematizada na Figura 23.

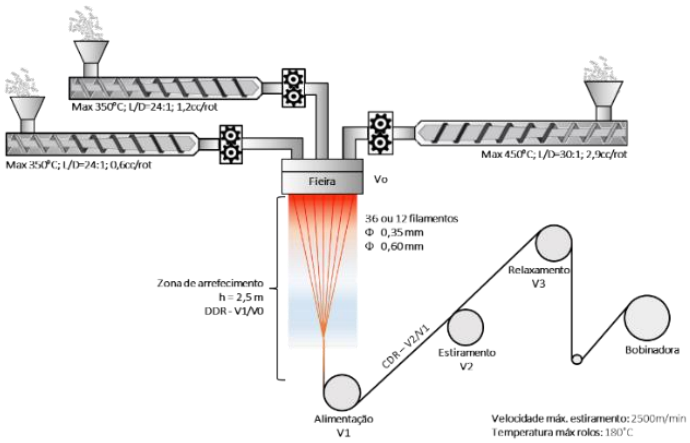


Figura 23 - Esquema da extrusora Centi (Fonte: Centi)

O desenvolvimento das fibras teve início com a montagem da fieira, previamente aquecida. Esta é composta por um conjunto de placas de distribuição responsáveis pelo direcionamento e distribuição do material fundido proveniente da extrusora, de forma a obter-se a geometria pretendida.

Para a obtenção de fibras com geometrias de secção transversal trilobal e circular utilizou-se a extrusora C e uma fieira de 36 orifícios com um diâmetro de 0,6 mm.

Neste processo foram alterados alguns parâmetros entre fibras, sendo eles a temperatura, o DDR que consiste na razão de estiragem a quente e o CDR que corresponde à razão de estiramento a frio.

Iniciou-se a produção das fibras com geometria trilobal, alimentado a extrusora C com *Crastin*® S600F20 NC010 (PBT). Obtiveram-se quatro amostras diferentes, 1, 2, 3 e 4, variando os parâmetros da temperatura e da velocidade do rolo 1, tendo estes parâmetros sido aplicados com o objetivo de se obter fibras trilobais com diferentes tamanhos de lóbulos

Em relação às fibras de geometria circular, produziram-se mais quatro amostras 5, 6, 7 e 8, com os mesmos parâmetros gerais e mesmo parâmetros alterados (temperatura e velocidade do rolo 1) aplicados às fibras trilobais.

3.2.2. Determinação da massa linear do filamento

Para se determinar a massa linear real das fibras obtidas (fórmula (1)) recorreu-se à meadeira, disponível nas instalações do CeNTI. Para cada determinação deram-se 10 voltas, obtendo-se um comprimento de 10m de fio que se pesou em seguida. Foram realizados 5 ensaios para todas as amostras, tanto trilobais como circulares.

$$dTex = \frac{peso(g) \times 10000}{10} \qquad (1)$$

3.2.3 Microscopia ótica

O instrumento utilizado nesta microscopia denomina-se de microscópio ótico e é constituído por 2 lentes, a ocular que se encontra próxima ao olho do utilizador e tem como principal função aumentar a imagem do objeto, e a objetiva que fica próxima do objeto a ser analisado e tem a capacidade de aumentar a imagem que recebe da objetiva (Moreira, 2013).

A caracterização das fibras em corte transversal foi executada recorrendo a um microscópio ótico *Leica DM* 2500M, disponível nas instalações do CeNTI, com luz incidente inferior, ilustrado na Figura 24. As imagens da topografia das amostras foram obtidas através de um programa específico para aquisição de imagens (*Leica Application Suite X*), com uma ampliação de 20 vezes.

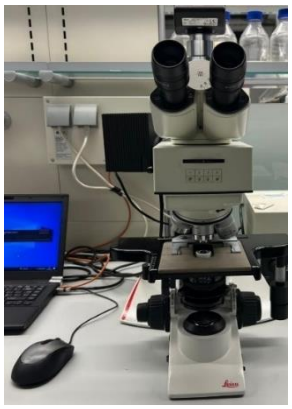


Figura 24 - Microscópio ótico
(Fonte: Autor)

Através deste ensaio foi, ainda, possível determinar o fator de forma das fibras trilobais através da aplicação da seguinte fórmula:

$$ff = \frac{Diâmetro\ maior}{Diâmetro\ menor} \qquad (2)$$

Os diâmetros utilizados na fórmula correspondem aos diâmetros representados no exemplo da Figura 25, sendo o diâmetro maior o diâmetro exterior e o menor o diâmetro interior.

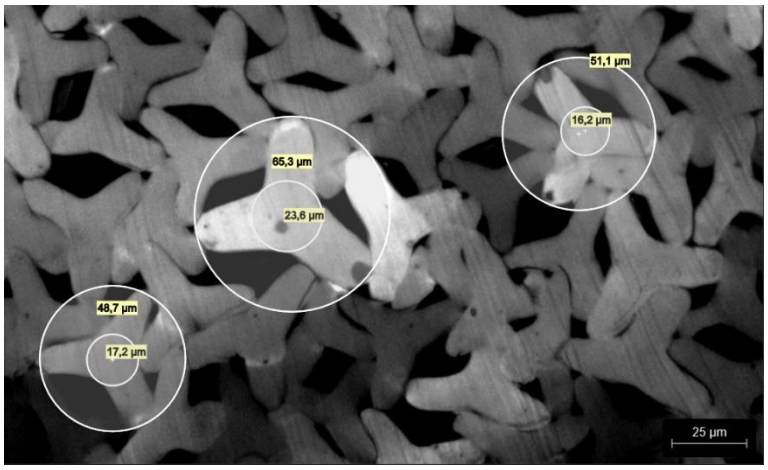


Figura 25 - Diâmetros das fibras trilobais – ampliado 20x (Fonte: Autor)

3.2.4. Propriedades mecânicas das fibras

As propriedades mecânicas das fibras foram determinadas por ensaios de tração, em que as fibras foram estiradas até à rotura, a velocidade constante. O equipamento usado determina o alongamento e a força à rotura, a partir da qual é calculada a tenacidade.

Neste estudo foi utilizado um equipamento universal de caracterização mecânica, modelo AGXV-50kN da *Shimadzu* (Figura 26), disponível nas instalações do CeNTI, com célula de carga de 100N e amarras planas recobertas com borracha, para evitar escorregamento (Figura 26).

A tenacidade indica a resistência à rotura da fibra, sendo obtida pela razão entre a força à rotura e a massa linear da fibra. O alongamento à rotura indica a deformação imposta à fibra aquando da rotura.

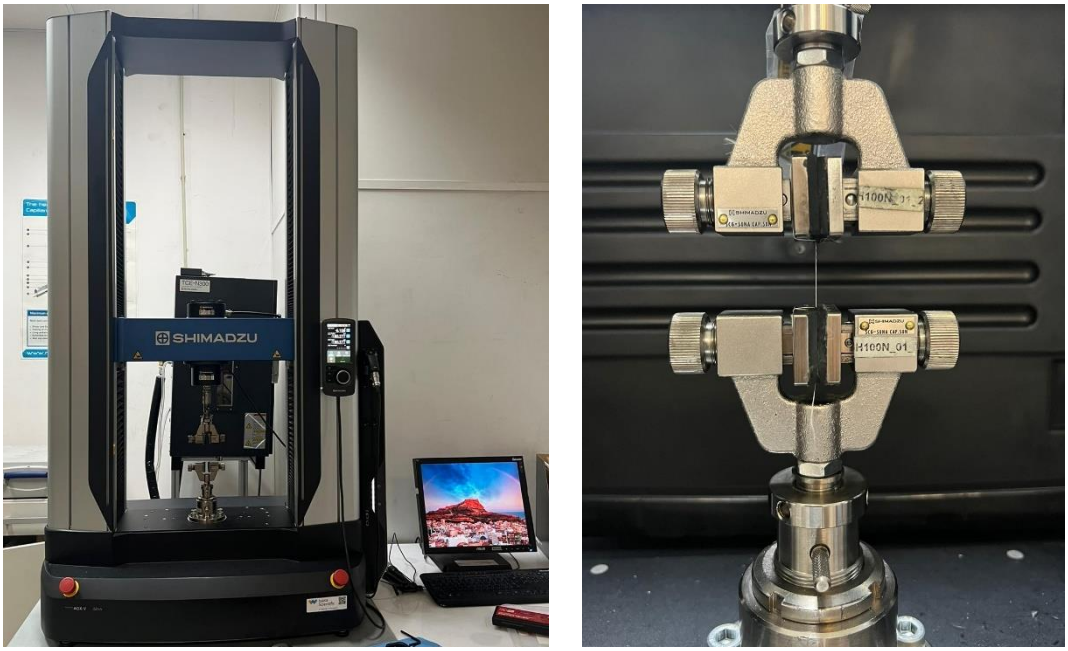


Figura 26 - Dinamómetro e carga de célula (Fonte: Autor)

As fibras obtidas foram testadas de acordo com as seguintes normas:

- Tenacidade - ASTM 3822:07;
- Alongamento à rotura – ASTM 3822:07;

Assim e tendo por base a norma ASTM 3822:07, usou-se fórmula (3) para o cálculo da tenacidade:

$$\gamma = \frac{F}{D_L} \qquad (3)$$

onde,

γ – tenacidade (mN/tex)

F – força de rotura (cN)

D_L – massa linear (tex)

As condições de ensaios encontram-se expressas na Tabela 5 e foram definidas conforme descrito na norma ASTM 3822:07.

Tabela 5 - Condições de ensaio (propriedades mecânicas) (Fonte: Autor)

CONDIÇÃO	VALOR
Velocidade de ensaio (mm/min)	250
Distância entre amarras (mm)	25
Número de amostras testadas	10

3.2.5. Produção das malhas

Antes de se iniciar o processo de fabricação das malhas, foi considerada a necessidade de a mesma malha ser produzida com diferentes graus de aperto, tendo em conta que o facto de uma malha ser mais fechada ou mais aberta, poderia resultar em diferentes capacidades de gestão de humidade. Assim, preestabeleceu-se um grau de aperto intermédio e mais duas variações, uma inferior e outra superior, obtendo-se, assim, 3 amostras diferentes para cada tipo de geometria, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Nomenclatura das amostras (Fonte: Autor)

Geometria Trilobal	Malha T1
	Malha T2
	Malha T3
Geometria Circular	Malha C1
	Malha C2
	Malha C3

A produção das malhas foi realizada recorrendo ao tear Tricolab, disponível nas instalações da Universidade do Minho, utilizando fios 100% PBT com diferentes geometrias, trilobal e circular. Para todas as malhas foi utilizado um jogo de 20 agulhas, alterando-se apenas, entre cada amostra, o comprimento da laçada. Neste processo, foram aplicadas apenas laçadas normais, obtendo-se como debuxo final da malha o *jersey*.



Figura 27 - Tear Tricolab (Fonte: Autor)

3.2.6. Acabamento hidrodinâmico

O acabamento aplicado às malhas produzidas consistiu num acabamento hidrodinâmico, que tem como objetivo melhorar as capacidades de absorção das fibras sintéticas e o transporte de humidade dos têxteis. Adicionalmente, este acabamento forma uma camada protetora hidrofílica na superfície da fibra que evita que a sujidade adira à fibra e, portanto, facilita a sua remoção durante a lavagem.

A aplicação do acabamento foi realizada por impregnação, tendo sido utilizada a seguinte receita, elaborada internamente na Universidade do Minho:

- 12,5g de Tanafinish HPX
- 250mL de água destilada



Figura 28 - Produto de acabamento (Fonte: Autor)

Após a preparação de 250mL de solução de tratamento, as amostras foram impregnadas, passando-se de seguida pelos rolos espremedores com uma taxa de espressão de cerca de 70%.

De seguida, as amostras foram secas na râmola durante 2 minutos a 110°C.

3.2.7. Determinação do grau de aperto da malha

O grau de aperto (K) é algo comum a todas as estruturas de malha de trama, conforme a estrutura mais básica, o *Jersey* ou a meia malha (Araújo & Catro, 1986). O grau de aperto pode, ainda, ser definido como a relação existente entre o título do fio e o comprimento do ponto, ou seja, à medida que o diâmetro do fio aumenta e o comprimento do ponto diminui, a densidade da malha aumenta e, portanto, aumenta a cobertura de pontos.

Para obter uma forma simples para o cálculo do grau de aperto, Grosberg relacionou o facto do diâmetro do fio ser proporcional à raiz quadrada do Tex e desenvolveu a equação (4) apresentada a seguir, sendo esta a aplicada para o cálculo do grau de aperto das malhas deste projeto (Stein, 2013).

$$K = \frac{\sqrt{tex}}{l_u} \qquad (4)$$

Onde:

K = fator de cobertura ou grau de aperto

√tex = raiz quadrada do título do fio em Tex

l_u= comprimento do fio (cm)

Assim sendo, para se proceder ao cálculo do grau de aperto foi necessário começar por descobrir qual o l_u de cada malha, fazendo em cada malha a medição de 5 fios e aplicando a seguinte fórmula (5).

$$l_u = \frac{comp.médio\ fio}{n^0\ colunas} \qquad (5)$$

3.2.8. Determinação da contextura

Para se determinar a contextura das malhas em estudo foi seguida a norma NP EN ISO 1049-2. Este ensaio teve como o objetivo principal determinar o número de fios por centímetro do produto têxtil, sendo realizado com o auxílio de uma agulha e conta-fios, disponíveis no Laboratório de Física Têxtil da Universidade do Minho.

O primeiro passo realizado foi estender a malha numa superfície horizontal sem ter qualquer tipo de tensão de modo a ficar relaxada. Com a malha devidamente estendida (Figura 29), foi, então, colocado o conta-fios sobre a malha e num espaço de 1 cm foram contados o número de fios presentes nessa área de observação. O ensaio foi realizado cinco vezes para cada tipo de malha em estudo e foi realizado tanto a nível das fileiras como das colunas.

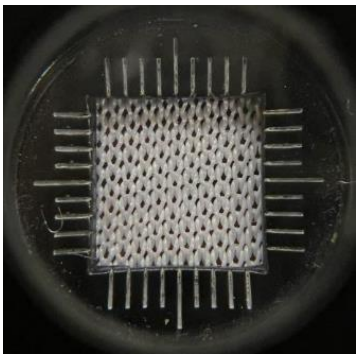


Figura 29 - Contextura (Fonte: Autor)

3.2.9. Determinação da espessura da malha

A norma NP EN ISO 5084 1999 é aplicada com o objetivo de determinar a espessura de têxteis e produtos têxteis quando submetidos a uma determinada pressão, ou seja, duas placas perpendiculares exercem uma pressão de 1 kPa ou menos sobre o têxtil.

A espessura de um provete é medida como a distância entre a placa de referência sobre o qual é colocado o provete e um calcador circular paralelo que exerce uma pressão especificada na área do têxtil sob ensaio.

Para se proceder à determinação da espessura é necessário um medidor de espessura equipado com um calcador intermutável de área 2000 ± 20 mm^2 correspondendo a um diâmetro de (50,5±0,2) mm, uma placa de referência com uma superfície superior plana de diâmetro pelo

menos 50 mm maior que o calcador e um medidor de espessura, capa de registar a distância entre a superfície do calcador e a placa de referência com uma precisão de 0,01 mm, como representado na Figura 30.

O ensaio consistiu em erguer o calcador e posicionar a amostra sobre a placa de referência, assegurando que nenhuma área apresentava vincos e que a malha estivesse devidamente relaxada, de seguida baixou-se o calcador e registou-se a leitura da medida após (30±5) segundos e determinou-se a espessura das amostras. Neste procedimento foram analisadas dez áreas diferentes em cada amostra de malha.



Figura 30 – Medidor de espessura (Fonte: Autor)

3.2.10. Determinação do peso por unidade de área

A massa por unidade de área, vulgarmente conhecida por gramagem, é a massa de uma área do tecido dividida por essa mesma área, expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2).

O objetivo da norma NP EN 12127 consiste na determinação da massa por unidade de área em amostras de pequenas dimensões numa atmosfera normalizada e é aplicável em tecidos e malhas.

Tendo por base o princípio da norma NP EN 12127, mas fazendo um pequeno desvio à mesma devido à falta de material a ser testado, foram cortados três provetes quadrados, com 5cmx5cm, ou seja, com uma área de 25 cm^2. Após a preparação dos provetes, estes foram pesados individualmente e, de seguida, calculou-se a massa por unidade de superfície de cada malha através da média do peso dos provetes, aplicando a seguinte fórmula (6):

$$M = \frac{\overline{m} \times 10000}{A} \qquad (6)$$

onde,

$\overline{m}$ é a média da massa dos provetes condicionados, em gramas.

A é a área do mesmo provete, em centímetros quadrados.

3.2.11. Propriedades mecânicas da malha

Determinou-se a força e o alongamento à rotura das amostras. O ensaio foi realizado seguindo a norma NP EN ISO 13934 – 1 "Têxteis – Propriedades de tração dos tecidos – Parte 1: Determinação da força máxima e do alongamento à força máxima pelo método da tira" (Roda, 2008).

Este ensaio foi realizado num aparelho de tração, denominado de dinamômetro (Figura 31), modelo AGXV-50kN da *Shimadzu*, nas instalações do CeNTI. O aparelho possui uma maxila fixa e outra que se movimenta com uma velocidade constante durante o ensaio.

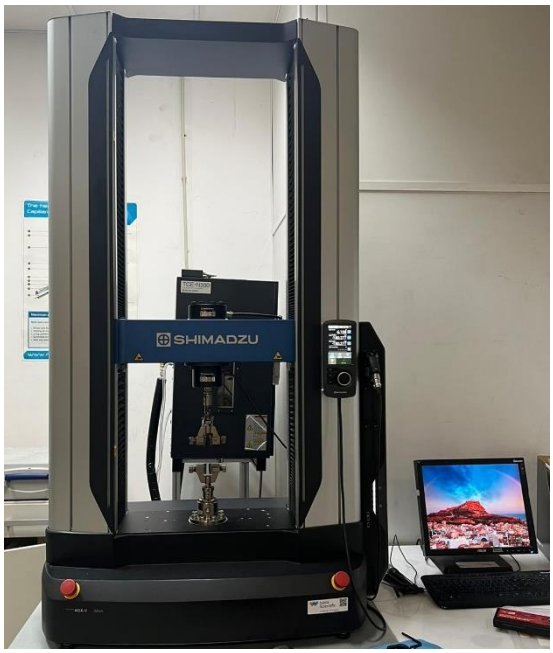


Figura 31 - Dinamômetro (Fonte: Autor)

A realização deste teste consistiu em colocar uma tira de um provete de 20 x 5 cm , a uma velocidade constante de travessão de 50 mm/min até ocorrer a rutura da tira. Apesar de a tira ter sido cortada com um comprimento de 20 cm, o comprimento nominal é de 10 cm, tendo os

restantes 10 cm sido alinhados nos mordentes antes de se dar início ao ensaio. Testaram-se no total um conjunto de 6 tiras de cada malha, sendo 3 segundo a direção da trama e 3 segundo a direção da teia.

3.2.12. Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água

A avaliação da permeabilidade ao vapor de água é um aspeto muito importante quando se estuda a gestão de humidade, pois o transporte do vapor de água está diretamente relacionado com a capacidade de transferência da transpiração do corpo (Borelli, 2013).

O mecanismo de transferência de vapor de água ocorre através da evaporação da água pelos espaços existentes entre os fios e pela passagem do vapor entre os poros interstícios (Borelli, 2013). Relativamente à difusão de vapor de água pelos espaços vazios, esta pode ser controlada através do gradiente de pressão do vapor de água entre os dois lados do tecido (Lee & Obendorf, 2012).

O teste de avaliação de permeabilidade ao vapor de água permite determinar a capacidade de difusão das moléculas de vapor de água, entre os espaços existentes na estrutura dos materiais, sendo esta propriedade variável conforme as características do têxtil, como a porosidade, o título dos fios e o debuxo (Pinto, 2019).

Relativamente ao cálculo da permeabilidade ao vapor de água, este é feito a partir da equação (6):

$$WVP = \frac{24 \times M}{A \times t} \qquad (7)$$

onde,

WVP – Permeabilidade ao vapor de água [g/m2/dia];

M – Perda de massa entre a primeira e segunda pesagem [g];

A – Área interna do provete têxtil [m2];

t – Tempo entre as pesagens [horas].

Após o cálculo da permeabilidade ao vapor de água, deve proceder-se ao cálculo da relação entre a permeabilidade da amostra padrão e a que se está a analisar, sendo calculada através da aplicação da seguinte fórmula, obtendo-se dessa forma o índice de permeabilidade ao vapor de água (I).

$$I = \frac{WVP_f}{WVP_r} \times 100\ [\%] \qquad (8)$$

na qual,

WVPf – permeabilidade ao vapor de água do tecido analisado [g/m^2/dia];

WVPr – permeabilidade ao vapor de água do tecido padrão [g/m^2/dia].

Tendo por base a norma BS 7209:1990, a permeabilidade ao vapor de água é considerada ótima quando o índice é superior a 80%, o que significa que o tecido tem uma excelente capacidade de transporte de humidade, afastando o suor da pele e promovendo o conforto do utilizador (Oliveira, 2016).

Assim, para a determinação da permeabilidade ao vapor de água foram estudados 2 provetes de cada malha, tendo ocorrido neste ponto um desvio à norma, uma vez que nesta são pedidas 3 provetes. A realização deste teste foi feita nas instalações das Universidade do Mindo e iniciou-se o mesmo com a medição de 46 mL de água destilada com o auxílio de uma bureta seguida da transferência desta água para o copo de ensaio a ser utilizado (Figura 32).

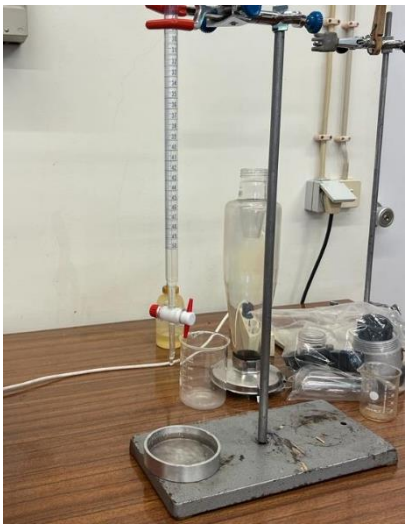


Figura 32 - Permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor)

Após a preparação de todos os copos necessários para a realização do teste, todos com a mesma quantidade de água, foram cortados os provetes e colados de seguida na borda do copo de modo a que a parte que deve ficar em contacto com o exterior ficasse virada para cima (Figura 33). De seguida, colocou-se cada conjunto (copo + provete) na mesa rolante e iniciou-se o processo durante 1 hora para que o equilíbrio do gradiente do vapor de água fosse estabelecido. No fim desta primeira hora, os conjuntos foram retirados da mesa rolante e pesados, sendo este peso considerado o peso inicial.



Figura 33 - Suporte e equipamento utilizado no ensaio de avaliação da permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor)

Por fim, os copos foram colocados novamente na mesa rolante por mais 5 horas sendo pesados no final para se obter o peso final do conjunto.

3.2.13. Avaliação da Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar pode ser definida como a velocidade de um fluxo de ar ao passar perpendicularmente através de um provete sob condições especificas de área de ensaio, pressão e tempo. Este é um parâmetro com uma elevada importância no que diz respeito ao desempenho dos materiais têxteis, nomeadamente em têxteis técnicos e têxteis relacionados com praticas desportivas (Borelli, 2013).

Existem certas propriedades do tecido que podem influenciar diretamente a permeabilidade ao ar como a massa do tecido, a espessura e a porosidade do tecido (Borelli, 2013).

O teste de avaliação da permeabilidade ao ar realizou-se seguindo a norma NP EN ISO 9237:1997 e teve como princípio a mediação, a uma dada pressão, da quantidade de fluxo de ar que passou perpendicularmente através de um provete sob condições especificas de área de ensaio, pressão e tempo.

Assim sendo, a determinação da permeabilidade ao ar foi executada segundo o procedimento descrito na norma NP EN ISO 9237:1997. O instrumento utilizado foi um permeabilímetro *Textest*

FX 3330 (Figura 34), presente nas instalações da Universidade do Minho, previamente calibrado a 406 L/m^2/s e programado com uma pressão de 100 Pa e uma área de ensaio de 5cm^2, tendo em conta que se trata de um têxtil convencional.



Figura 34 - Permeabilímetro
(Fonte: Autor)

Relativamente ao cálculo da permeabilidade ao ar, esta foi calculada após a determinação da média da velocidade do fluxo de ar gerada nas medições realizadas em zonas distintas de cada amostra, utilizando-se a seguinte a fórmula (9):

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \times 167\ [mm\ /\ s] \qquad (9)$$

onde,

R – Permeabilidade ao ar [mm/s];

$\bar{q}_v$ – Velocidade média de fluxo de ar [L/min];

A – área do provete [cm^2];

167 – Fator de conversão de decímetros cúbicos por minuto por centímetro quadrado par milímetros por segundo.

3.2.14. Teste de Hidrofilidade por Absorção (*Drop Test*)

A hidrofilidade está relacionada com a capacidade que um tecido apresenta de absorver água, podendo ser testada através do teste de hidrofilidade por absorção.

Para se proceder à determinação da hidrofilidade do substrato têxtil, foi necessário pingar uma gota de água, de uma altura fixa (5 cm), cronometrando-se o tempo que a gota leva, desde que entrou em contacto com o têxtil (Figura 35), até ser totalmente absorvida (Costa A. L., 2014). Este ensaio foi realizado 3 vezes em cada malha.

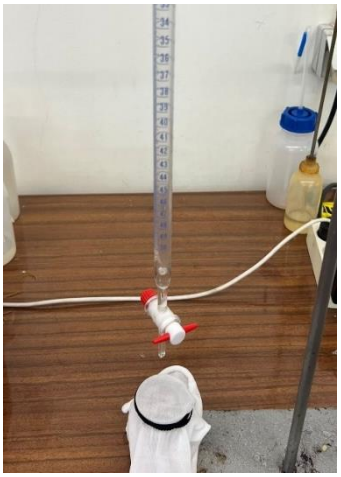


Figura 35 - Teste da gota (Fonte: Autor)

Assim sendo, quanto menor for o tempo de absorção da gota, melhor será a hidrofilidade do substrato em questão (Costa A. L., 2014).

3.2.15. Determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial (Teste do chuveiro)

Este teste, mais comumente conhecido como teste do chuveiro, segue a norma NP EN 24 920 1993 e tem como principal objetivo determinar a resistência de qualquer tecido à molhagem superficial com água, e assim verificar se é mais ou menos hidrófobo, ou se tem maior ou menor impermeabilidade. De realçar que esta norma não se destina a estudar a resistência à penetração da chuva, uma vez que não mede a penetração da água através do tecido.

Para a realização do teste, um determinado volume de água destilada ou desionizada (250mL), foi pulverizada na amostra colocada sobre um aro. Este aro encontrava-se com uma inclinação de

45° de tal modo que o centro da amostra estava a uma determinada distância da cabeça do chuveiro (Figura 36).



Figura 36 - Teste do chuveiro (Fonte: Autor)

Após a realização de todo este processo, o grau de molhagem foi determinado por comparação do aspeto da amostra com padrões descritivos e fotográficos.

A avaliação deste teste é feita tendo por base uma escala com 5 graus, incluída na norma, que vai de cinco a um, sendo a descrição de cada nível a seguinte:

- Grau 5: a superfície superior não ficou molhada.
- Grau 4: a superfície superior ficou levemente molhada ou molhada em locais dispersos.
- Grau 3: a superfície superior ficou somente molhada nos locais onde foi pulverizada.
- Grau 2: a superfície superior ficou parcialmente molhada.
- Grau 1: a superfície superior ficou completamente molhada.

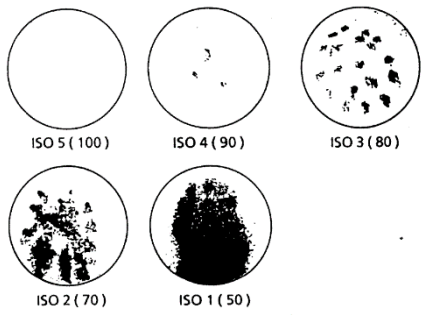


Figura 37 - Escala do grau de molhagem de um tecido segundo a Norma (Fonte: Norma NP EN 24 920 1993)

3.2.16. Teste da Secagem

A secagem é bastante importante no que toca a peças para a aplicação desportiva, uma vez que é uma das características que traz mais conforto ao utilizador.

O objetivo principal da secagem é a remoção da água, ou outro tipo de líquido, presente no têxtil através da evaporação. Para que tal processo ocorra é necessário o fornecimento de calor, levando, assim, a transferências de calor e massa tanto internamente, quanto entre a superfície externa do material e o ambiente envolvente (ALBUQUERQUE, 2011).

Quando este inicia uma atividade física, diversas alterações ocorrem no corpo humano, incluindo o aumento da temperatura, uma vez que no processo de contração muscular uma parte da energia produzida é transformada em energia mecânica e usada pelo músculo e o restante é dissipado como calor (Turbiani, 2021). Assim, é possível idealizar as condições corporais e realizar um teste que nos indicará qual o tempo que uma malha demoraria a secar quando em contacto com o corpo.

Para a realização do teste de secagem em convecção natural, utilizou-se uma estufa (Modelo *Salvis Thermocenter* TC40/100), apresentada na Figura 38, fornecida pela empresa C.S.M Lavandaria Lda, ligada a um indicador de temperatura.



Figura 38 - Estufa *Salvis* (Fonte: Autor)

Tendo por base uma norma Interna da Universidade do Minho cortaram-se 2 amostras, com 5 x 5 cm, de cada malha para o estudo da secagem, pesando-se cada amostra em seco.



Figura 39 - Amostras para o teste de secagem (Fonte: Autor)

Após a pesagem das amostras em seco definiu-se como percentagem de humidade a acrescentar 200% sobre o peso da amostra, programando-se a estufa para uma temperatura de 33°C e uma humidade relativa de que variou entre os 55 e 60%.

As amostras colocadas na estufa foram retiradas de 10 em 10 minutos e pesadas em cada paragem até se obter a massa inicial da amostra seca. Quando alcançado peso inicial o ensaio era dado como terminado.

Este estudo teve como objetivo o estudo do comportamento das malhas a secagem de modo a concluir qual das malhas tinha a secagem mais rápida.

3.2.17. Análise dos dados

Após a realização de todos os ensaios nas amostras, os dados obtidos para as várias propriedades medidas foram analisados através do software *Design of Experiments (DoE) Made Easy*, com a obtenção dos seguintes elementos de análise:

- Gráficos de influência de fatores
- Gráficos dos efeitos dos fatores principais

Através do *DoE* a avaliação estatística dos dados é feita de forma simples, sendo fácil de perceber o que é significativamente relevante ou não. Neste programa a análise estatística baseia-se no método *ANOVA*.

O método *ANOVA* utiliza *F-value* para testar estatisticamente a igualdade entre médias. O *F-value*, ou testes F, consiste na razão entre duas variáveis. Por sua vez, este método baseia-se, também, no *p-value* para determinar se alguma das diferenças entre as médias é estatisticamente significativa, comparando-o com o valor de significância. Geralmente, um nível de significância (α) de 0,05 trata-se de um valor positivo, uma vez que um nível de significância de 0,05 indica que o risco de se concluir que existe uma diferença, quando, na verdade, não existe nenhuma diferença real, é de 5%. Assim é necessário ter em atenção as seguintes comparações:

- Quando *p-value* $\leq \alpha$ as diferenças entre algumas das médias são estatisticamente significativas.
- Quando *p-value* $> \alpha$ as diferenças entre algumas das médias não são estatisticamente significativas.

3.2.18. Moisture Management Tester (MMT)

Para a realização deste ensaio foi necessário escolher apenas duas malhas para análise, uma de cada tipo de geometria. Para tal recorreu-se ao programa DoE para se tratar os dados obtidos em todos os testes até ao momento e conseguir-se decifrar qual a malha com melhores características.

O *Moisture Management Tester* (MMT) é aplicado com o propósito de simular a difusão do suor criado pelo corpo humano, tendo por base o seu comportamento. Este teste tem como objetivo principal estudar a capacidade de gestão de humidade dos têxteis (Hu, Li, Yeung, Wong, & Xu, 2005).

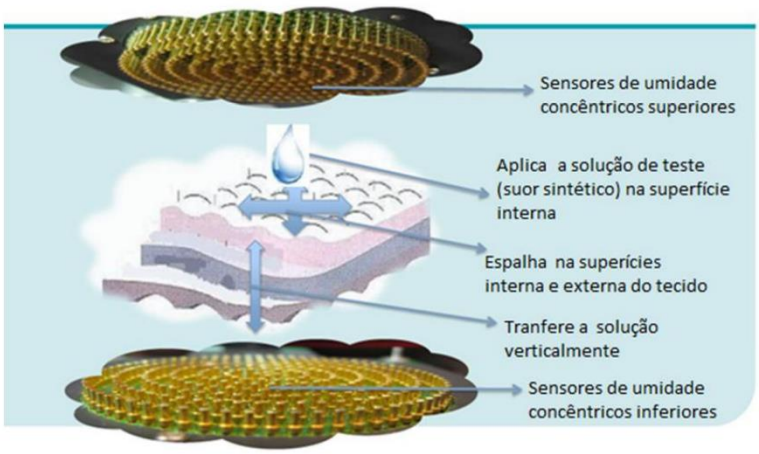


Figura 40 - Esquema de funcionamento do Moisture Management Tester (Fonte: Borelli, 2013)

Na Figura 40 encontra-se esquematizado o MMT, sendo que o equipamento possui dois sensores, um superior e um inferior, cada um com sete pinos concêntricos (Vasconcelos, 2016).

Este método baseia-se no princípio da medição da mudança de condutividade através do contacto com o tecido, que se realiza durante o transporte de humidade entre as duas superfícies do tecido, interna e externa (Vasconcelos, 2016).

É através das leituras de resistência elétrica que se consegue calcular alterações da quantidade de humidade que quantificam o comportamento dinâmico do transporte de humidade (Vasconcelos, 2016).

Para se caracterizar a capacidade de gestão de humidade de uma amostra em análise é necessário definir e calcular certos índices como (Borelli, 2013):

- Wt (s) - Tempo de Molhagem: Os índices WT_t (superfície superior) e WT_b (superfície inferior), mostram o tempo, em segundos, necessário para que as superfícies do tecido comecem a ficar molhadas após o início do teste (Borelli, 2013).
- AR (%/s) - Taxa de Absorção: As taxas AR_t (superfície superior) e AR_b (superfície inferior) indicam a velocidade média em (%/s) com que a humidade é absorvida pelas superfícies do tecido (Borelli, 2013).
- MWR (mm) - Máximo Raio de Molhagem: Os valores de MWR_t (superfície superior) e MWR_b (superfície inferior) representam, em milímetros, os raios máximos atingidos pela humidade em ambas as superfícies (Borelli, 2013).
- SS (mm/s) - Velocidade de espalhamento: As medidas de SS_t (superfície superior) e SS_b (superfície inferior) representam a velocidade de propagação da humidade nas duas

superfícies da amostra em mm/s, a partir do centro até ap máximo raio de molhagem (Borelli, 2013).

- Índice de transporte unidirecional: É a diferença entre as áreas das curvas de humidade entre as duas superfícies do tecido em função do tempo, considerando um único sentido de transporte (da superfície superior para a inferior), expresso em percentagem (Borelli, 2013).
- OMMC – Gestão de humidade global: É um índice que indica a capacidade do tecido para a gestão de humidade, que varia de 0 a 1, sendo que 0 representa a pior performance e 1 a melhor (Borelli, 2013).

A capacidade geral de gestão de humidade (OMMC) é definida pela seguinte fórmula: $OMMC = C_1 \times AR_b + C_2 \times R + C_3 \times SS_b$, onde C_1, C_2 e C_3 são os pesos adimensionais para AR_b, R e SS_b (Hu, Li, Yeung, Wong, & Xu, 2005).

Os valores de C podem ser ajustados de acordo com a sua importância. Neste caso os pesos adotados no desenvolvimento do MMT e que são adotados pela norma AATCC 195, são $C_1 = 0{,}25$; $C_2 = 0{,}50$; $C_3 = 0{,}25$ (Hu, Li, Yeung, Wong, & Xu, 2005).

Estes valores são determinados através da análise da importância relativa de absorção, transporte unidirecional e velocidade de secagem; para além disto, é necessário ter também em consideração o estudo das perceções humanas (Hu, Li, Yeung, Wong, & Xu, 2005).

Para se proceder ao teste, seguiu-se a Norma AATCC TM195-2011 e2(2017) e3 e colocou-se a amostra entre os dois sensores, onde a fase superior da amostra encontrava-se na direção do sensor superior e simulava o comportamento do lado do tecido em contacto com a pele. Por outro lado, a superfície inferior encontrava-se na direção do sensor inferior e simulava o comportamento do lado externo do tecido em contacto com o exterior.

Neste ensaio ocorreu um desvio à norma, tendo em conta a escassez de material a ser testado, realizando-se o ensaio em apenas 2 amostras com dimensões 10x10cm em vez de 5.

O aparelho utilizado para a realização deste teste foi fornecido pelo Citeve e encontra-se representado na Figura 41.



Figura 41 - Máquina MMT (Fonte: University of Zagreb - Faculty of Textile Technology)

3.2.19. Requisitos para produção de vestuário desportivo

De modo a facilitar a interpretação dos resultados foi elaborada uma tabela com todos os requisitos fundamentais para peças desportivas, incluindo nesta os valores mais apropriados para cada requisito atendendo à finalidade do produto.

Tabela 7 - Requisitos (Fonte: Autor)

Requisitos	**Condições padrão**
Leveza (gramagem)	140 a 160 g/m^2
Respirabilidade	Elevada permeabilidade ao ar
Absorção	Instantânea ou no menor tempo possível
Durabilidade	Boas propriedades mecânicas
Secagem rápida	Menor tempo possível

4. Análise e Discussão de Resultados

No presente capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados.

4.1. Obtenção de fibra de PBT por *melt-spinning*

Produziram-se diversas fibras, com geometria trilobal e circular, variando a temperatura de fieira ou o DDR. Obtiveram-se fibras com uma temperatura de fieira de 220°C e de 240°C.

Na Tabela 8 é possível observar os parâmetros de produção utilizados na obtenção das amostras 1, 2, 5 e 6, em que a temperatura de fieira foi sempre de 220°C, sendo de realçar que o DDR variou de amostra para amostra.

Tabela 8 - Parâmetros de produção das fibras (Fonte: Autor)

Amostra	Temperatura	Geometria	Pressão na fieira (bar)	DDR	CDR
1	220°C	Trilobal	123	81,81	2,61
2	220°C	Trilobal	123	142,92	1,49
5	220°C	Circular	73	81,68	2,62
6	220°C	Circular	71	143,39	1,49

Alterando o DDR, mas mantendo a temperatura de fieira a 240°C, obtiveram-se os resultados apresentados na tabela seguinte, para os valores de pressão.

Tabela 9 - Parâmetros de produção das fibras (Fonte: Autor)

Amostra	Temperatura	Geometria	Pressão na fieira (bar)	DDR	CDR
3	240°C	Trilobal	115	82,15	2,60
4	240°C	Trilobal	117	142,92	1,49
7	240°C	Circular	65	82,29	2,59
8	240°C	Circular	64	143,39	1,49

Analisando estes resultados é possível verificar que a pressão exercida na fieira é sempre mais baixa para as fibras circulares que para as fibras trilobais.

tabe

4.2. Caracterização das fibras

4.2.1. Determinação da massa linear da fibra

O valor médio da massa linear das fibras obtidas é apresentado na Tabela 10. Como é possível observar, as amostras de fibras trilobais apresentam todas uma massa linear de 300 a 340 dTex, enquanto que as fibras circulares apresentam um valor de massa linear superior, entre 430 a 480 dTex.

Tabela 10 - Massa linear das fibras (Fonte: Autor)

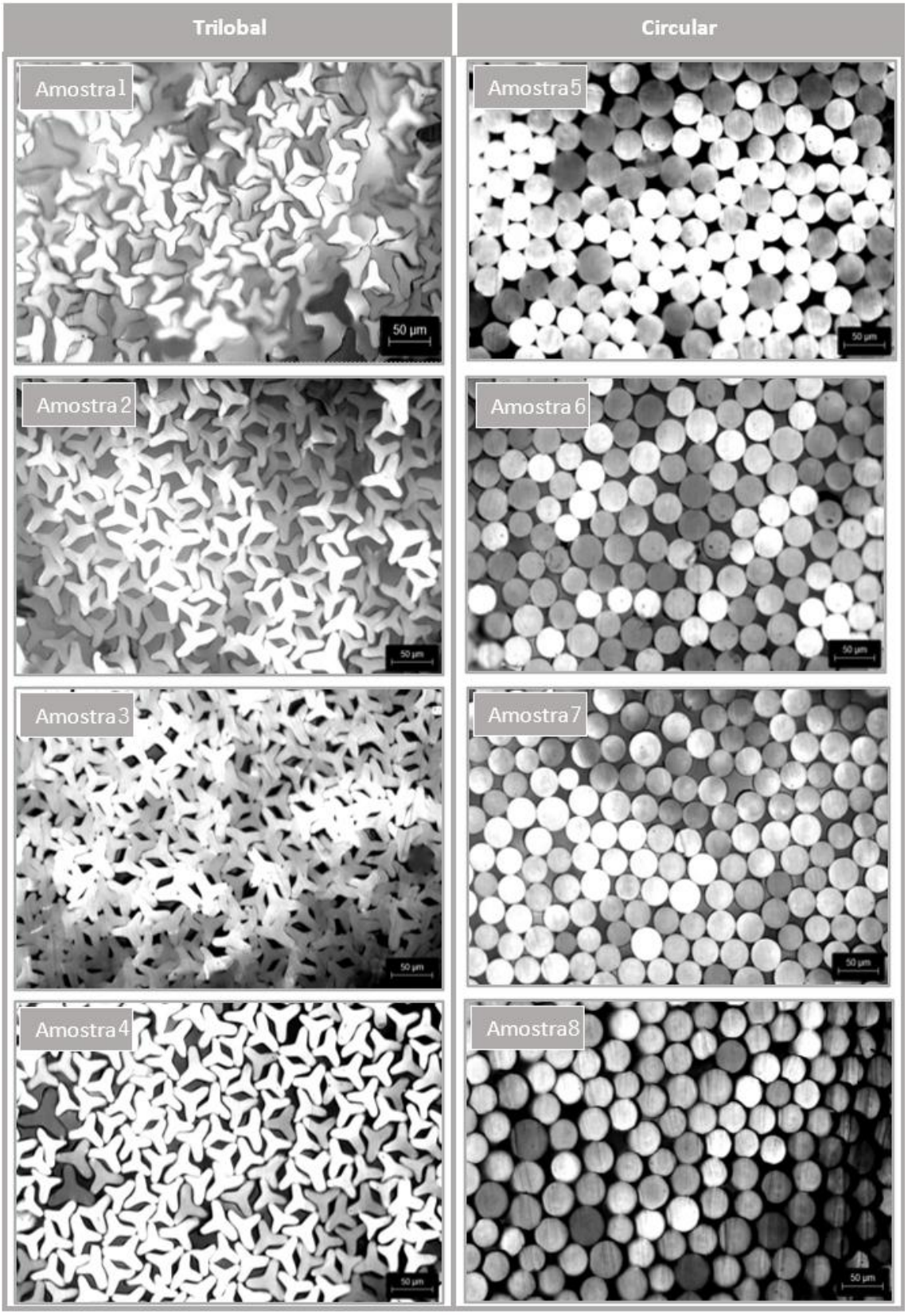
Amostra	Média Massa linear (dTex)	Desvio Padrão
1	300	25,30
2	306	4,90
3	342	4,00
4	342	4,00
5	476	4,90
6	474	8,00
7	440	21,91
8	434	8,00

Seria de esperar não se observarem estas diferenças, uma vez que os parâmetros de produção foram iguais para ambas as geometrias, assim como o débito inicial do polímero, que foi constante e igual nos dois casos. Estes resultados podem ser explicados pelo facto da pressão na fieira da fibra circular ser bastante menor que a pressão na fieira das fibras trilobais, o que influenciou a massa linear final da fibra.

4.2.2. Microscopia ótica

No projeto aqui descrito, a microscopia ótica foi utilizada para confirmar a geometria das fibras e avaliar a mudança do tamanho dos lóbulos das fibras trilobais com a alteração dos parâmetros de produção. Os resultados obtidos encontram-se representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Imagens Microscópicas (Fonte: Autor)



Tendo em conta os vários métodos possíveis para definir a forma da secção transversal da fibra trilobal, optou-se por aplicar o fator de forma, sendo este a razão entre o diâmetro do círculo externos e a do círculo interno (Jung, Kim, & Oh, 2010). Para se proceder ao cálculo do fator de forma, mediram-se três filamentos de cada fibra estudada, através das imagens de microscopia, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Fator de forma das fibras trilobais (Fonte: Autor)

Amostra	Fator de forma - média	Desvio padrão
1	2,78	0,065
2	3,01	0,067
3	2,91	0,168
4	2,82	0,113

Os resultados obtidos para o fator de forma de cada amostra trilobal não mostraram diferenças relevantes entre si. Isto pode ser explicado pelo facto do intervalo de variação dos parâmetros entre cada amostra não terem sido suficientes para resultar em alteração das fibras. No entanto, não foi possível aumentar mais este intervalo de variação de cada parâmetro, por não ser possível trabalhar dentro de um processo de *melt-spinning* estável (Jung, Kim, & Oh, 2010).

4.2.3. Propriedades mecânicas das fibras

Após os ensaios mecânicos, foi possível obter como propriedades das fibras obtidas por *melt-spinning* as apresentadas na Tabela 13. É possível afirmar que estas propriedades dependem de diversos fatores, como o estiramento e a temperatura de estabilização do material.

Tabela 13 - Propriedades mecânicas das fibras (Fonte: Autor)

	Geometria	Massa Linear (dTex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/dtex)	Força Máxima (cN)
Amostra 1	Trilobal	300	64	1,36	407
Amostra 2	Trilobal	306	134	0,82	252
Amostra 3	Trilobal	342	99	1,48	508
Amostra 4	Trilobal	342	175	1,00	337
Amostra 5	Circular	476	139	1,89	831
Amostra 6	Circular	474	264	1,21	526
Amostra 7	Circular	440	150	1,64	779
Amostra 8	Circular	434	263	0,84	397

De modo a facilitar a análise do alongamento e da tenacidade das fibras construi-se o gráfico da Figura 42, cuja análise permite observar que a amostra com geometria trilobal que apresentou melhores propriedades mecânicas foi a amostra 3, uma vez que teve um valor de tenacidade mais elevado.

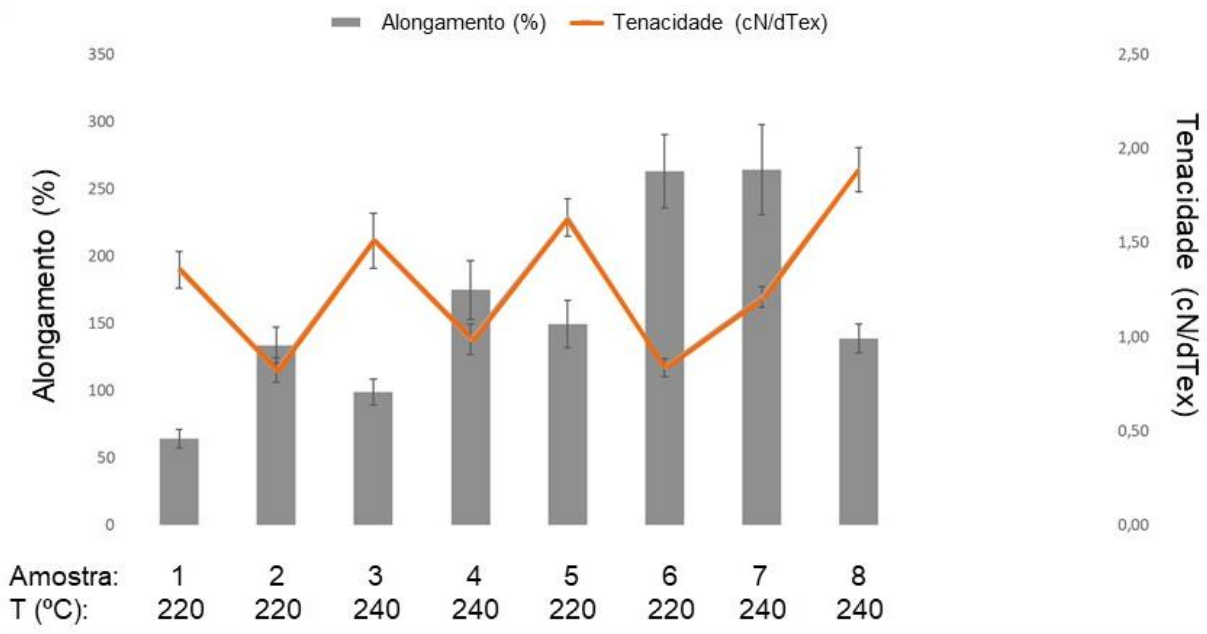


Figura 42 - Gráfico da tenacidade e alongamento à rotura (Fonte: Autor)

Para o desenvolvimento das malhas escolheram-se apenas duas das fibras produzidas, uma de cada geometria, sendo que para isso se consideraram as propriedades mecânicas das fibras, escolhendo-se a fibra trilobal com melhores propriedades e de seguida a fibra circular que foi obtida aplicando-se os mesmos parâmetros de produção. Assim usaram-se as fibras 3 e 7, obtidas com uma temperatura de 240°C e um DDR de 82.

4.3.2. Determinação do grau de aperto da malha

Após as várias medições de diferentes comprimentos de fio, foi necessário calcular o comprimento da laçada (l_u) de cada malha para de seguida se calcular o grau de aperto (k) das mesmas, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 14 para l_u.

Tabela 14 - Comprimento das laçadas (Fonte: Autor)

Malha	Média do comprimento do fio (cm)	Comprimento da laçada - l_u (cm)
T1	24,12	0,480
T2	21,34	0,430
T3	18,80	0,376
C1	28,60	0,570
C2	24,66	0,490
C3	22,04	0,440

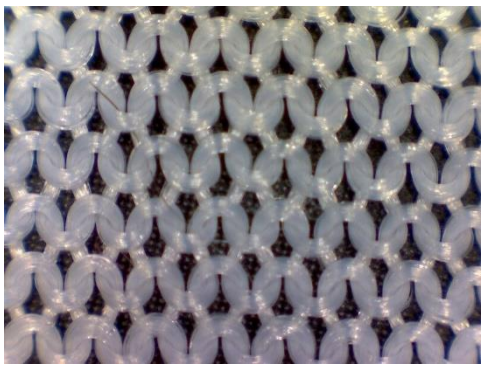
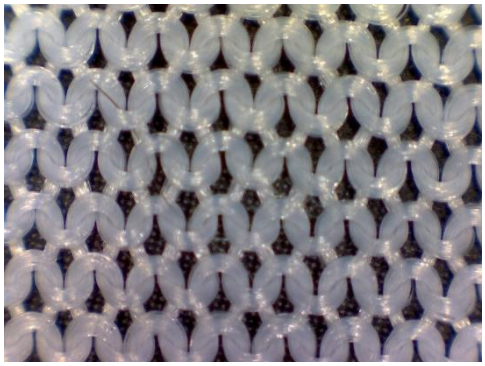
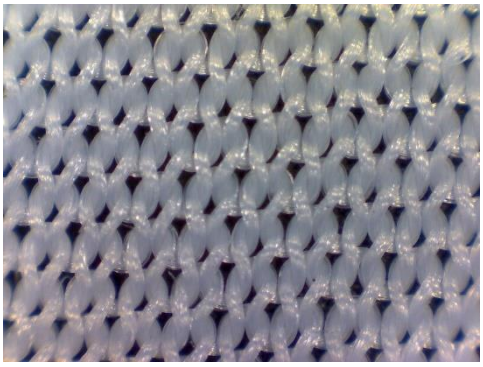
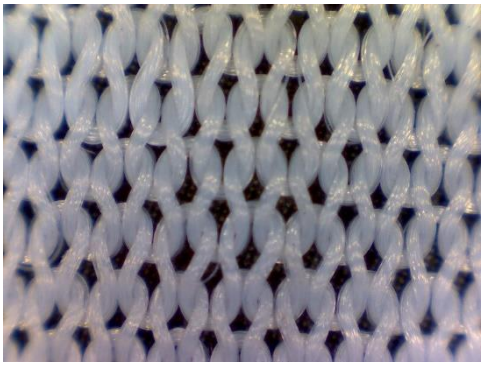
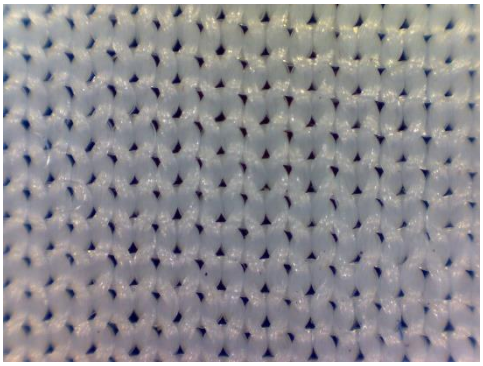
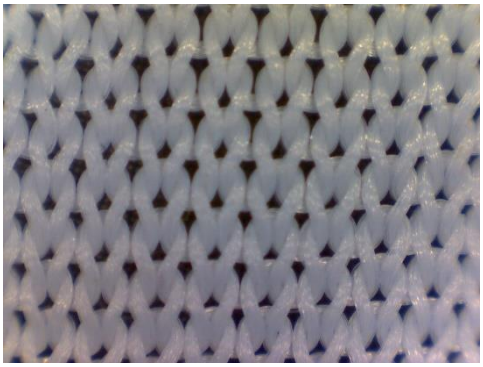
Assim sendo, com o comprimento da laçada e a massa linear obtidos neste pré-ensaio foi, então, possível determinar o grau de aperto das malha a serem testadas, adquirindo-se os seguintes resultados:

Tabela 15 - Grau de aperto (Fonte: Autor)

Malha	Grau de aperto (k)
T1	12,2
T2	13,6
T3	15,6
C1	12,1
C2	14,1
C3	15,7

As malhas foram fotografadas recorrendo a um microscópio portátil, fornecido pelo Centi, de modo a tentar perceber a diferença que o grau de aperto faz na abertura das malhas, obtendo-se as imagens apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Imagens do grau de aperto das malhas (Fonte: Autor)

Grau de aperto	Trilobal	Circular
12	 T1	 C1
14	 T2	 C2
16	 T3	 C3

Pelas imagens e tendo em consideração os parâmetros do tear utlizados para a produção das malhas, foi possível concluir que a massa linear do fio apresentou uma grande importância no grau de aperto, uma vez que os parâmetros de aperto do tear não foram alterados entre as malhas T1 e C2, apenas se alterou o fio, tal como entre as malhas T2 e C3, mas obtiveram-se valores

bastantes distintos. Isto pode justificar-se usando a fórmula criada por Grosberg, em que o grau de aperto é igual à divisão da raiz quadrada de Tex sobre o comprimento da laçada. Tendo em conta que o comprimento da laçada se manteve praticamente igual entre os dois fios em comparação (T1/C2 e T2/C3), a diferença entre estes dois graus de aperto só pode ser devida à diferente massa linear existente (Stein, 2013).

Outro motivo que pode, também, justificar esta diferença de grau de aperto, é o facto de os fios utilizados possuírem diferentes geometrias entre si. Estas diferentes geometrias fazem com que, dentro de cada grau de aperto se verifiquem diferenças de porosidade, o que afetará mais tarde positiva ou negativamente o desempenho da malha.

4.3.3. Determinação da contextura

Quando analisados tecidos de malha, é possível observar uma construção à qual se chama de fileira e outra à qual se chama de coluna. Assim, e aplicando a norma NP EN 1049-2, foram obtidas as seguintes fileiras e colunas para as malhas produzidas:

Tabela 17 - Fileiras e Colunas (Fonte: Autor)

Malha	Fileiras	Colunas
T1	9	9
T2	10	10
T3	14	12
C1	8	9
C2	8	8
C3	10	10

Como as malhas em estudo se tratavam de *jerseys*, o número de fios por fileiras e colunas por 1 cm deve ser o mesmo, ou muito próximo (Catarino, 1998). Sabendo isso, foram realizadas cinco contagens para confirmar o número de fios por centímetro existente em cada malha.

Quanto maior a quantidade de fileiras e colunas por centímetro na malha, maior será a sua densidade, assim é possível concluir que tanto as malhas trilobais como as malhas circulares se tratam de malhas bastante densas, uma vez que apresentavam um número elevado de fileiras e colunas (Garrafa, Leite, & Costa, 2015).

4.3.4. Determinação da espessura da malha

Com a aplicação da norma NP EN 180-5084 1999 para a determinação da espessura de cada malha, obtiveram-se os valores apresentados de seguida.

Tabela 18 - Espessura das malhas (Fonte: Autor)

Malha	Média da espessura (mm)	Desvio padrão
T1	0,453	0,017
T2	0,534	0,011
T3	0,580	0,011
C1	0,434	0,016
C2	0,420	0,013
C3	0,516	0,022

O sistema internacional ou sistemas indiretos de titulação tomam como base a massa fixa e o comprimento variável, ao contrário do que acontece com o sistema inglês onde a base é o comprimento fixo e massa variável (Stein, 2013).

No caso dos sistemas diretos como o dTex, que é o utilizado neste projeto, o título do fio, ou seja, a sua massa linear, é diretamente proporcional à espessura, pois quanto maior a massa linear, maior será o diâmetro da fibra o que contribuirá para uma maior espessura (Stein, 2013).

Apesar do conceito apresentado anteriormente ir contra os resultados obtidos, uma vez que as malhas com maiores espessuras, as malhas trilobais, foram as que apresentaram a menor massa linear, estes resultados fazem sentido se considerar o diâmetro. Ou seja, apesar das fibras trilobais apresentarem uma menor massa linear, estas apresentam um diâmetro superior às fibras circulares devido aos canais presentes na sua constituição. A presença dos canais nas fibras faz com que estas tenham um menor peso, mas um diâmetro superior. Assim, quanto maior o diâmetro das fibras maior será a espessura das malhas o que comprova o facto das malhas com fibras trilobais apresentarem maiores valores de espessura.

4.3.5. Determinação da massa por unidade de superfície

Para se determinar a massa por unidade de superfície foi necessário pesar uma pequena amostra de malha, sendo que para este processo teve-se como base a norma NP EN 12127 1999, tendo ocorrido um pequeno desvio no que diz respeito ao número de pesagens realizadas por malha e à área a analisar. Assim, para o peso da malha e a sua massa por unidade de superfície obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Massa por unidade de superfície (Fonte: Autor)

Malha	Massa por unidade de superfície (g/m^2)	Desvio padrão
T1	142,0	3,32
T2	156,0	9,42
T3	224,1	1,43
C1	182,2	1,68
C2	173,8	6,11
C3	204,0	3,27
TA1	171,4	1,80
TA2	206,4	6,40
TA3	265,8	15,0
CA1	234,0	4,40
CA2	244,4	10,40
CA3	284,4	2,0

Ao analisar os resultados obtidos é de notar que as malhas com massa linear mais elevada foram as que apresentam um valor de massa por unidade de superfície superior, tal como aconteceu no estudo feito por Tatiana Constantino. Assim, e tendo por base o trabalho de Tatiana Constantino é possível afirmar que a massa por unidade de superfície é diretamente proporcional à massa linear dos fios utilizados (Constantino, 2022).

Tendo em conta que quanto maior for o valor do título do fio, mais fechada é a sua estrutura e mais pesada será a malha, daí se justificar a diferença acentuada entre o peso da maioria das malhas com fio trilobal em comparação às malhas com fio circular (Constantino, 2022).

Neste trabalho ocorreu uma exceção, uma vez que no caso da malha trilobal com grau de aperto 16 que apresentou a uma massa por unidade de superfície superior à da malha circular com o

mesmo grau de aperto, algo que não seria de se esperar, mas que poderá ser justificado pela utilização de uma nova bobine de fio circular, que apresentou uma pequena variação na sua massa linear em relação à primeira bobine do mesmo fio. Para além disto foi possível observar que a massa por unidade de superfície da malha C1 (K=12) foi ligeiramente superior à da malha C2 (K=14), o que não é seria normal, mas que se justificaria devido a um pequeno problema que ocorreu nas agulhas do tear durante a produção da malha C1, onde em que uma das agulhas se partiu e deixou de tecer.

A massa por unidade de superfície está associada, não só ao título do fio, como também ao comprimento da laçada, sendo que uma maior massa por unidade de superfície proporciona uma sensação de toque mais suave (Constantino, 2022). Assim, é de seria de esperar que as malhas circulares tenham tivessem um toque mais suave que as malhas trilobais, pois apesar de terem um comprimento de laçada muito semelhante, apresentaram uma massa por unidade de superfície bastante diferente.

A malha será mais densa quanto maior for a sua massa por unidade de superfície, existindo uma relação inversamente proporcional ao tamanho da malha, pois, quanto maior a massa por unidade de superfície, menor o tamanho da malha (Garrafa, Leite, & Costa, 2015). Assim, entre as malhas trilobais e as malhas circulares, as malhas mais densas são foram as malhas circulares.

Quando comparadas as malhas com e sem acabamento é foi notório que as malhas com acabamento apresentavam uma massa por unidade de superfície superior às malhas sem acabamento, o que significa que o acabamento ficou realmente retido na malha aumentando o seu peso.

Tendo em conta, que o presente trabalho se destina a peças desportivas é necessário ter em atenção certos requisitos fundamentais para o destes artigos, sendo um deles a leveza da peça. Após uma pesquisa global , foi possível concluir que o vestuário de desporto apresenta, geralmente, uma massa por unidade de superfície entre os 140 e os 160 g/m^2, nunca excedendo este último valor. Assim, e observando os resultados obtidos, é visível que as únicas malhas que respeitam os valores deste parâmetro são as malhas T1 e T2.

4.3.6. Propriedades mecânicas da malha

Após os ensaios mecânicos, foi possível obter resultados de alongamento e força de rotura , na direção das fileiras, os apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Alongamento e força à rotura e respetivos desvios padrão – colunas (Fonte: Autor)

	Alongamento (%)	D.P	Força Máxima (cN)	D.P
T1	237	29,108	8048	919,355
T2	269	34,764	10670	382,775
T3	283	69,479	15574	2658,492
C1	223	28,296	8283	1209,471
C2	231	9,435	10371	2142,177
C3	295	24,911	13319	360,888

De modo a facilitar a análise dos resultados obtidos para o alongamento à rutura das malhas construi-se o gráfico da Figura 43.

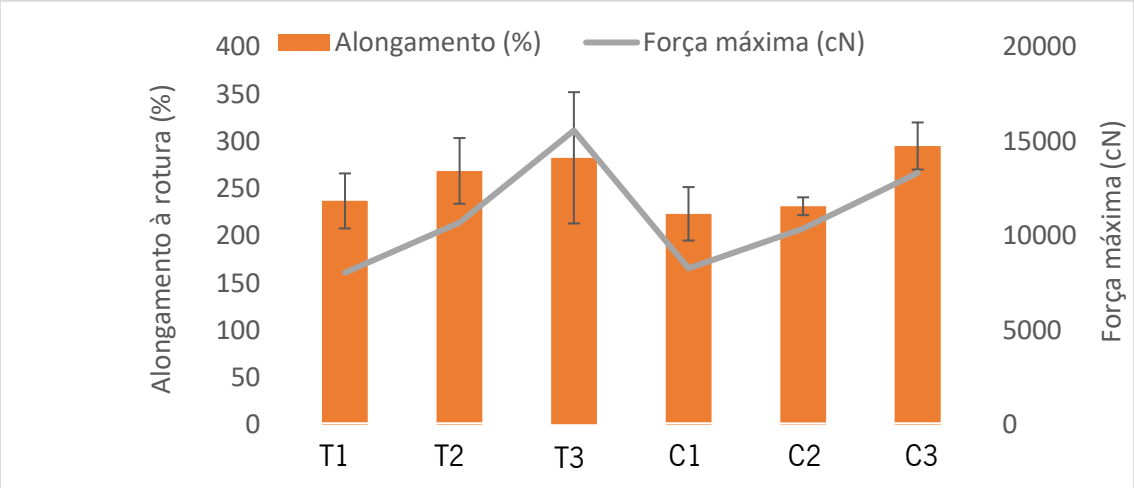


Figura 43 - Gráfico propriedades mecânicas - fileiras (Fonte: Autor)

Através do gráfico é possível afirmar que quanto maior era o grau de aperto maior era o alongamento à rutura das malhas, uma vez que quanto maior a densidade de fileiras por centímetro maior será o alongamento (Leite, 2011)

Comparando o alongamento à rutura entre as malhas com diferentes geometrias de fibras, é possível afirmar que, de um modo geral, as malhas com fibras trilobais apresentaram um alongamento de rutura superior às malhas com fibra circulares, à exceção da malha T3 em que foi menor que a de C3. Isto explica-se pelo facto das malhas circulares terem sofrido uma

estiragem menor que as malhas trilobais para se obter o mesmo grau de aperto, o que fez com que a malha circular contraísse menos e, assim, obtivesse uma densidade de fileiras por centímetro menor que as malhas trilobais (Leite, 2011).

Em termos da força de rotura verificou-se, tal como aconteceu no trabalho de Duarte Leite, que quanto maior o comprimento da laçada menor é a força de rotura, ou seja, à medida que aumentava o comprimento da laçada diminui a força necessária para produzir a deformação, o que justifica o facto das malhas produzidas através de fibras trilobais apresentarem uma maior força de rotura do que as produzidas com fibras circulares (Leite, 2011).

Apesar de tudo, estas diferenças entre fibras trilobais e fibras circulares não pareceram ter grande relevância.

Relativamente às malhas analisadas na direção das colunas obtiveram-se os seguintes valores da Tabela 21.

Tabela 21 - Alongamento e força à rotura – colunas (Fonte: Autor)

	Alongamento (%)	**D.P**	**Força Máxima (cN)**	**D.P**
T1	73	6,384	16804	1374,892
T2	98	14,689	19265	1099,011
T3	112	13,643	21370	1861,906
C1	61	18,770	15352	944,933
C2	54	7,911	15435	3284,910
C3	76	12,406	22782	993,000

A partir dos resultados da tabela foi, ainda, possível elaborar o seguinte gráfico:

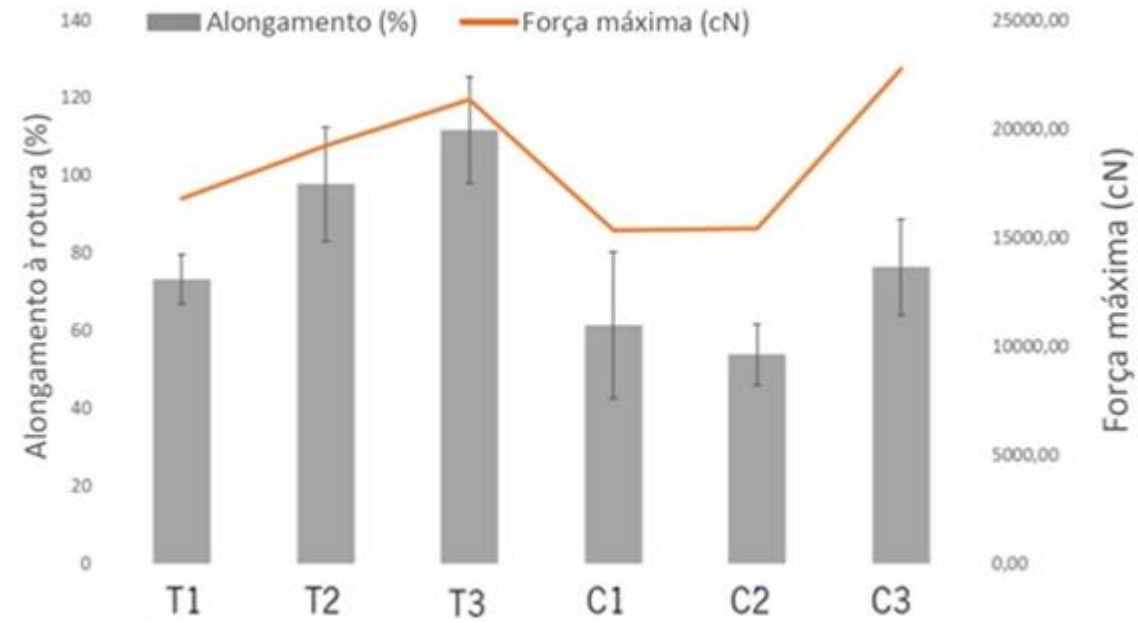


Figura 44 - Gráfico propriedades mecânicas - colunas (Fonte: Autor)

Tal como no caso das malhas estudadas na direção da trama, através do gráfico da Figura 44, referente as malhas na direção da teia, foi possível verificar que quanto maior o grau de aperto maior era o alongamento à rutura das malhas, uma vez que quanto maior era a densidade de fileiras por centímetro maior era o alongamento (Leite, 2011).

Em relação às diferentes geometrias, observou-se, mais uma vez que as malhas de fibras trilobais apresentavam um alongamento superior às malhas de fibras circulares, pela mesma razão apresentada anteriormente, ou seja, o facto das malhas circulares terem sofrido uma estiragem menor que as malhas trilobais para poderem-se obter o mesmo grau de aperto, o que fez com que a malha circular contraísse menos e, assim, obtivesse uma densidade de fileiras por centímetro menor que as malhas trilobais (Leite, 2011).

As forças de rotura no caso das malhas de teia seguiram mais uma vez o mesmo padrão que as malhas de trama, o que significa que as malhas com fibras trilobais apresentaram uma maior força de rotura em comparação às malhas com fibras circulares, devido ao mesmo motivo relacionado com o comprimento da laçada das malhas.

Mais uma vez, tendo como o base os desvios padrões apresentados, é possível afirmar que estas diferenças entre fibra não parecem ter grande significância.

Comparando, agora, de um modo geral, as malhas no sentido das fileiras com as malhas no sentido das colunas, é possível ver que as malhas testadas no sentido das fileiras apresentaram sempre um valor de alongamento muito superior às outras malhas, enquanto que na força à rotura apresentou comportamento contrário. Este fenómeno pode ser justificado pelo facto das malhas testadas se tratarem de malhas de trama.

4.3.7. Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água

A realização deste ensaio permite determinar a capacidade de difusão das moléculas de vapor de água, entre os espaços existentes na estrutura dos materiais, sendo de esperar que as mesmas variem de acordo com as características estruturais dos substratos têxteis (Pinto, 2019).

Os resultados da capacidade de gestão de humidade das malhas, estão representados na Tabela 22, juntamente com a diferença entre os pesos iniciais e finais (M), o coeficiente de variação e índice WVP médio.

Tabela 22 - Permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor)

	Amostra	M (g)	WVP (g/m^2/dia)	Índice médio (%)
Sem acabamento	T1	1,348	1195,873	94,80
	T2	1,349	1196,760	94,87
	T3	1,563	1386,609	109,92
	C1	1,319	1170,145	101,46
	C2	1,251	1109,819	96,23
	C3	1,234	1094,294	94,88
Com acabamento	TA1	1,433	1270,836	95,50
	TA2	1,357	1203,857	90,47
	TA3	1,374	1218,938	91,60
	CA1	1,549	1373,745	113,28
	CA2	1,465	1299,225	107,13
	CA3	1,525	1352,897	111,56

Tendo por base a norma BS 7209:1990, a permeabilidade ao vapor de água é considerada ótima quando o índice é superior a 80%, o que significa que o tecido tem uma excelente capacidade de

transporte de humidade, afastando o suor da pele e promovendo o conforto do utilizador (Oliveira, 2016). Assim sendo, é possível concluir que todas as malhas sem acabamento apresentaram uma ótima permeabilidade ao vapor de água, uma vez que todas possuíam um índice superior a 90%, o que as torna favoráveis para a aplicação final do produto em desenvolvimento.

De entre todas as malhas sem acabamento, a que apresentou o maior nível de permeabilidade ao vapor de água foi a malha T3. Comparando com os resultados apresentados por Araguacy Filgueiras, que obteve um índice de 113,50% para a camada em contacto com a pele e com as mesmas funcionalidades pretendidas, é possível concluir que o valor de permeabilidade ao vapor de água da malha T3 com índice de 109,92% é um valor aceitável para este tipo de aplicações (Filgueiras A. P., 2008)

Relativamente às amostras com acabamento e no caso das malhas obtidas com fibras trilobais, é de notar que os valores da permeabilidade ao vapor de água baixaram ligeiramente, com a exceção da malha T1 que após o acabamento teve uma pequena subida em termos de permeabilidade. No entanto, todas as malhas apresentaram um índice superior a 80% o que faz com que sejam malhas com uma ótima permeabilidade e, por consequente, malhas bastantes respiráveis (Oliveira, 2016). No caso das malhas com fibras circulares foi possível ver que o acabamento melhorava a permeabilidade ao vapor de água de todas as amostras, como o melhor resultado para a malha CA1, com um índice de 113,28.

De modo a estudar a influência que cada fator relevante (geometria, grau de aperto e acabamento) tem nos resultados da permeabilidade ao vapor de água foi realizada uma análise estatística obtendo-se a Tabela 23.

Tabela 23 - Análise estatística da permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-value	p-value
Modelo Base	11	10838,22	985,29	49,67	< 0,0001
Grau de aperto	2	58,30	29,15	1,47	0,2686
Geometria	1	1171,24	1171,24	59,05	< 0,0001
Acabamento	1	3680,82	3680,82	185,57	< 0,0001
Grau de aperto + Geometria	2	69,02	34,51	1,74	0,2170
Grau de aperto + Acabamento	2	80,86	40,43	2,04	0,1729
Geometria + Acabamento	1	5607,76	5607,76	282,72	< 0,0001
Todos os fatores	2	170,21	85,10	4,29	0,0393
Erro	12	238,02	19,83		
Total	23	11076,24			

Através dos resultados apresentados na Tabela 23, é possível perceber quais os fatores que tem uma influência significativa na capacidade de permeabilidade ao vapor de água das malhas.

Para se conseguir perceber tal significância é necessário ter como suporte um Modelo Base, sabendo que os fatores terão significância caso o seu valor F-*value* seja superior ao valor F-*value* do modelo base, neste caso superior a 49,67, e caso o seu p-*value* seja inferior a 0,0500.

Assim, através da análise estatística foi possível concluir que os fatores que tiveram maior influência nos resultados da permeabilidade ao ar foram a geometria das fibras, o acabamento, a geometria em conjunto com o acabamento assim como a junção de todos os fatores.

De forma a perceber que tipo de influência que a geometria e o acabamento provocaram na permeabilidade ao vapor de água elaborou-se o gráfico da Figura 45.

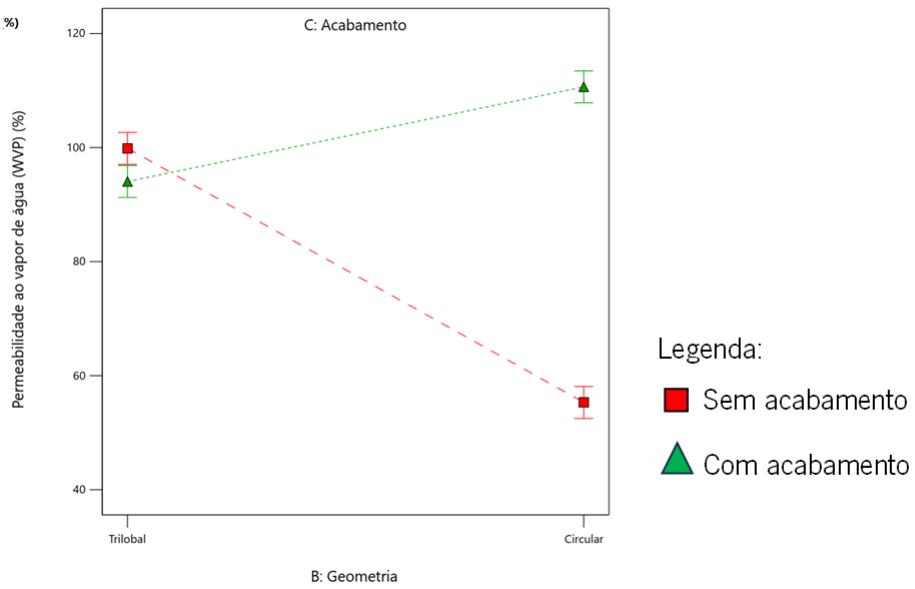


Figura 45 - Influência da geometria e acabamento na permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Autor)

Tendo como referência o gráfico anterior é possível ver que sem acabamento a geometria teve uma influência positiva, uma vez que se obtiveram valores bastante superiores no caso das malhas trilobais em comparação com as malhas circulares.

Em relação ao acabamento, é notória a sua influência positiva no caso das malhas circulares, que aumentaram significativamente a sua permeabilidade ao vapor de água, mas no caso das fibras trilobais este fator não teve grande influência no seu resultado, não podendo ser considerado um fator significante.

Assim, de um modo geral é possível concluir que as malhas trilobais com e sem acabamento apresentaram uma permeabilidade ao vapor de água bastante superior às malhas circulares sem acabamento, mas, por sua vez, as malhas que se tornam mais eficazes acabam por ser as malhas circulares quando sujeitas a um acabamento.

4.3.8. Avaliação da Permeabilidade ao ar

O ensaio da permeabilidade ao ar assume um papel importante no que se refere à determinação da respirabilidade das malhas. Para garantir a respirabilidade é essencial que as malhas sejam permeáveis ao ar, assegurando a passagem de ar entre o exterior e o corpo humano, permitindo, assim, a circulação do ar e arrefecimento do corpo (Borelli, 2013).

A permeabilidade ao ar é quantificada pela velocidade do fluxo de ar que atravessa perpendicularmente o provete, sob condições específicas de pressão, tempo e área de ensaio. Os resultados obtidos dependem da distribuição e tamanho dos poros dos materiais (Lima Filho, 2009).

Assim sendo, após a realização do ensaio foi possível obter-se os resultados da Tabela 24.

Tabela 24 - Permeabilidade ao ar (Fonte: Autor)

	Malha	Permeabilidade ao ar (L/m2/s)	Desvio Padrão
Sem acabamento	T1	3160	238,414
	T2	2417	246,980
	T3	1180	43,820
	C1	4395	217,589
	C2	4560	264,592
	C3	2627	176,700
Com acabamento	TA1	2785	180,887
	TA2	2040	232,957
	TA3	962,5	47,603
	CA1	4150	466,310
	CA2	2830	124,435
	CA3	2330	182,033

Através dos resultados obtidos foi possível concluir que, quanto menor o grau de aperto, maior era a permeabilidade ao ar, isto deveu-se ao facto de quanto menor o grau de aperto, mais aberta era a malha o que significava que tinha mais espaços para a passagem do ar (Oliveira, 2016).

Tendo em conta que a permeabilidade ao ar se traduz na capacidade do têxtil para ser atravessado pelo ar, é possível concluir que a malha com maior capacidade foi a malha C2 (Oliveira, 2016).

Comparando as malhas obtidas com fibras trilobais e fibras circulares pode afirmar-se que as malhas circulares foram as que apresentam uma maior permeabilidade ao ar, uma vez que estas malhas apresentavam uma densidade de fios por unidade de área menor comparativamente às malhas trilobais com o mesmo grau de aperto (Oliveira, 2016).

Em relação às malhas com acabamento têxtil notou-se que sofreram uma diminuição na sua permeabilidade ao ar , podendo este facto ser explicado pela presença da camada hidrofílica formada pela a aplicação do *Tanafinish HPX*. Entre as malhas com acabamento, a que apresentou a melhor permeabilidade ao ar foi a malha C1.

De um modo geral, a malha que apresentava uma melhor permeabilidade ao ar foi a malha C2.

Efetuou-se uma análise estatística para este ensaio de modo a retirar-se conclusões mais esclarecedores a cerca do mesmo, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise estatística da permeabilidade ao ar (Fonte: Autor)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-value	p-value
Modelo Base	11	$1{,}442 \times 10^{8}$	$1{,}311 \times 10^{7}$	184,61	< 0,0001
Grau de aperto	2	$7{,}046 \times 10^{7}$	$3{,}523 \times 10^{7}$	496,32	< 0,0001
Geometria	1	$5{,}711 \times 10^{7}$	$5{,}771 \times 10^{7}$	812,99	< 0,0001
Acabamento	1	$7{,}884 \times 10^{6}$	$7{,}884 \times 10^{6}$	11,07	< 0,0001
Grau de aperto + Geometria	2	60660,02	30330,01	0,4273	0,6534
Grau de aperto + Acabamento	2	$3{,}520 \times 10^{6}$	$1{,}760 \times 10^{6}$	24,80	< 0,0001
Geometria + Acabamento	1	$1{,}016 \times 10^{6}$	$1{,}016 \times 10^{6}$	14,31	0,0003
Todos os fatores	2	$3{,}500 \times 10^{6}$	$1{,}750 \times 10^{6}$	24,65	< 0,0001
Erro	108	$7{,}667 \times 10^{6}$	70986,77		
Total	119	$1{,}518 \times 10^{8}$			

Olhando para o p-value é possível decifrar quais os fatores que apresentaram uma influência significativa na permeabilidade ao ar. Todos os fatores foram significativos, à exceção da conjugação do grau de aperto com a geometria em simultâneo.

Para melhor se entender a influência que estes fatores tiveram na permeabilidade ao ar das amostras traçaram-se três gráficos onde se observa a variação da permeabilidade ao ar em função da geometria para cada um dos graus de aperto em estudo, como se encontra na Figura 46.

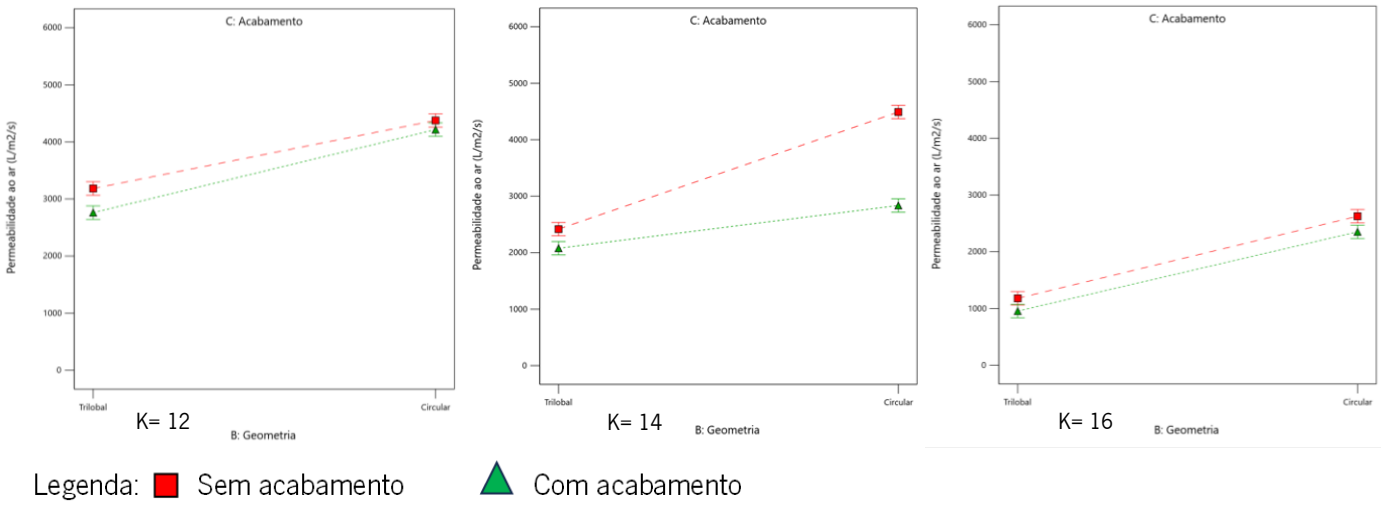


Figura 46 - Gráficos estatísticos para a permeabilidade ao ar (Fonte: Autor)

Através da análise dos gráficos anteriores é possível concluir que o grau de aperto em conjunto com a geometria não teve, de facto, grande significância, uma vez que de grau para grau a permeabilidade ao ar mantém-se praticamente inalterada, tanto para os materiais, como as fibras com geometria trilobal como com a circular.

Em relação ao acabamento é notório a sua influência negativa qualquer que seja a geometria das fibras usadas e em todos os graus de aperto, apresentando, todas as malhas, valores inferiores às malhas sem acabamento.

No que diz respeito à variação da geometria das fibras, em todos os graus de aperto, os materiais com fibras com geometria circular, com e sem acabamento, apresentam uma permeabilidade ao ar superior aos com fibras de geometria trilobal.

Assim, através desta análise estatística vem-se a comprovar as conclusões retiradas anteriormente, confirmando que a malha com melhor exibição em termos de permeabilidade ao ar foi a malha circular sem acabamento com grau de aperto 14, malha C2.

4.3.9. Teste de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Este ensaio, mais conhecido como teste da gota, foi realizado com a intenção de estudar a capacidade de absorção das malhas em estudo. Tendo em conta que se trata de uma peça desportiva em contacto com a pele, é importante que esta tenha a capacidade de escoar a água que o nosso corpo cria enquanto se exercita, daí ser essencial que apresente uma rápida absorção (Borelli, 2013).

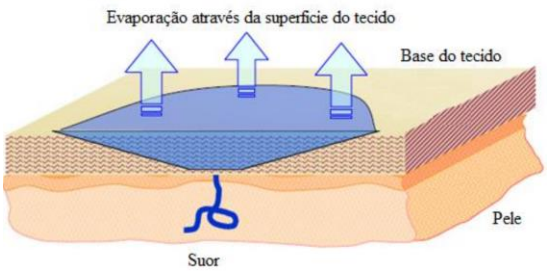


Figura 47 - Evaporação da água através do tecido *(Borelli, 2013)*

Após a realização do ensaio nas diferentes malhas foi possível obter os seguintes resultados, apresentados na Tabela 26:

Tabela 26 - Tempo de absorção das malhas (Fonte: Autor)

	Malha	Tempo de absorção (s)
Sem acabamento	T1	Absorção instantânea
	T2	Absorção instantânea
	T3	Absorção instantânea
	C1	7,28
	C2	10,40
	C3	17,69
Com acabamento	T1_a	Absorção instantânea
	T2_a	Absorção instantânea
	T3_a	Absorção instantânea
	C1_a	1,89
	C2_a	3,90
	C3_a	2,01

Analisando a tabela é possível concluir que as malhas com fibras trilobais são aquelas que mais se adequavam à aplicação final pretendida, visto que apresentam uma absorção imediata da gota, o que significava que tinham a capacidade de transportar o suor para longe da pele, evitando a sensação incómoda de se sentir suado (Borelli, 2013).

As malhas T1, T2 e T3, com fibras com geometria trilobal, eram favoráveis à absorção de água mesmo sendo sintética, pois estas fibras apresenta canais na sua superfície, que facilitavam o transporte do líquido por ação capilar (Alonso, 2018). Para além disto, este tipo de fibra não permanece molhada ao ser eficaz no transporte da humidade para o ambiente, principalmente por capilaridade (Borelli, 2013).

Comparando as malhas sem acabamento com as malhas com acabamento notou-se que no caso das malhas com fibras trilobais o comportamento manteve-se o mesmo, tendo em conta que estas já apresentavam uma absorção imediata, mas em termos das malhas com fibras circulares foi possível ver que houve uma grande melhoria, passando as amostras com acabamento a apresentar uma absorção praticamente instantânea.

Assim, é possível afirmar que o acabamento aplicado teve um efeito positivo nas malhas, trazendo benefícios num dos pontos mais importantes para esta aplicação final, o desporto, que se trata da absorção da humidade.

Realizou-se uma análise estatística a estes resultados, obtendo-se para este teste uma significância total em termos dos fatores a estudar, uma vez que todos os valores de p-value são inferiores a 0,0500, como se encontra apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Análise estatística Drop Teste (Fonte: Autor)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-value	p-value
Modelo Base	11	999,87	90,90	33,95	< 0,0001
Grau de aperto	2	35,56	17,78	6,64	0,0051
Geometria	1	478,30	478,30	178,64	< 0,0001
Acabamento	1	158,76	158,76	59,30	<0,0001
Grau de aperto + Geometria	2	35,56	17,78	6,64	0,0051
Grau de aperto + Acabamento	2	66,47	33,23	12,41	0,0002
Geometria + Acabamento	1	158,76	158,76	59,30	< 0,0001
Todos os fatores	2	66,47	59,30	12,41	0,0002
Erro	24	64,26	2,68		
Total	35	1064,13			

Com base nos dados da Tabela 27 foram criados dois gráficos diferentes, um gráfico em função do grau de aperto e outro em função da geometria, como ilustrado na Figura 48.

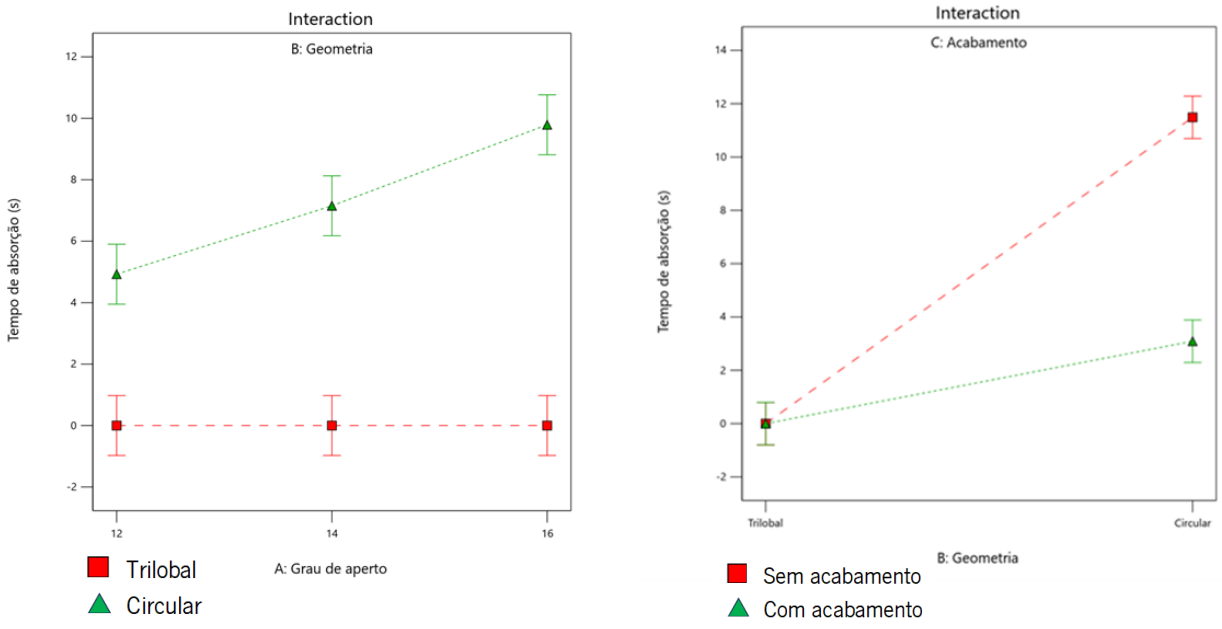


Figura 48 - Gráficos estatísticos *Drop Test* (Fonte: Autor)

No caso do grau de aperto é possível afirmar que a geometria teve uma influência bastante significativa na absorção, uma vez que em todos os graus de aperto a geometria circular demora sempre consideravelmente em relação à geometria trilobal.

Entre cada grau de aperto também é possível ver que consoante este aumenta, no caso das malhas circulares, o tempo para que a gota seja absorvida também aumenta.

Considerando a geometria das fibras e o acabamento, é notório a grande melhoria nas malhas circulares com acabamento, ocorrendo uma diminuição no tempo de absorção bastante acentuada.

Apesar de ser possível tirar conclusões bastante interessantes no que diz respeito às malhas circulares, o mesmo não se aplica nas malhas trilobais uma vez que todas as malhas mantiveram o mesmo comportamento em todos os graus de aperto com e sem acabamento, sendo este a absorção instantânea, o que significa que no caso das trilobais já tinham atingido o melhor desempenho em relação a este teste.

4.3.10. Determinação da resistência dos tecidos à molhagem superficial (Teste do chuveiro)

O ensaio seguinte, também conhecido como teste do chuveiro, teve como finalidade determinar a resistência das malhas à molhagem superficial com água, submetendo a amostra a uma irrigação em condições normalizadas, obtendo-se o respetivo grau, determinado após o teste e de acordo com o humedecimento da superfície (Roda, 2008).

Os resultados obtidos são apresentados de acordo com a escala ISO, variando entre ISO(1), maior grau de molhagem, a ISO(5) nenhum grau de molhagem e encontram-se na seguinte tabela.

Tabela 28 - Grau de molhagem das malhas (Fonte: Autor)

	Malha	Grau
Sem acabamento	T1	ISO 1 (50)
	T2	
	T3	
	C1	
	C2	
	C3	
Sem acabamento	TA1	
	TA2	
	TA3	
	CA1	
	CA2	
	CA3	

Através destes resultados foi possível concluir que ambas as malhas se encontravam totalmente molhadas. Como se tratavam de fibras iguais (100% PBT), os resultados obtidos são plausíveis, uma vez que a molhabilidade de um tecido é uma característica intrínseca às fibras do têxtil (Roda, 2008).

O facto de a malha absorver a água é importante para a aplicação final do produto tendo em conta que não se pretende ter água em contacto com a pele (Borelli, 2013), mas será ainda necessário resolver o aspeto da secagem, pois esta também terá de ser rápida para não haver o desconforto de peça molhada no corpo.

Relativamente às amostras com acabamento não foi possível observar nenhuma alteração, uma vez que as amostras iniciais já apresentavam o grau máximo de molhabilidade.

4.3.11. Teste da Secagem

O ensaio em questão teve como finalidade calcular o tempo que uma malha demoraria até secar totalmente após a sua molhagem.

Antes de se iniciar o processo as malhas foram pesadas individualmente, pesando-se de seguida a caixa que iria transportar a amostra e somou-se ambas, obtendo-se os seguintes valores apresentados na Tabela 29, que serviram como base para a análise ao longo do tempo.

Tabela 29 - Média dos pesos utilizados no teste de secagem (Fonte: Autor)

	Peso da caixa (g)	**Peso da malha (g)**	**Pi (malha + caixa) (g)**
T1	3.837 ± 0,120	0.384 ± 0,001	4,221 ± 0,1201
T2	3.237 ± 0,004	0.502 ± 0,002	3,739 ± 0,006
T3	3.042 ± 0,203	0.647 ± 0,003	3,688 ± 0,205
C1	3.678 ± 0,184	0.523 ± 0,018	4,201 ± 0,202
C2	3.018 ± 0,209	0.523 ± 0,027	3,570 ± 0,182
C3	3.019 ± 0,217	0.697 ± 0,003	3,716 ± 0,214
TA1	2.814 ± 0,001	0.429 ± 0,005	3,242 ± 0,004
TA2	3.010 ± 0,194	0.516 ± 0,016	3,526 ± 0,210
TA3	3.009 ± 0,201	0.665 ± 0,038	3,674 ± 0,164
CA1	4.004 ± 0,205	0.585 ± 0,011	4,589 ± 0,194
CA2	3.022 ± 0,196	0.611 ± 0,026	3,633 ± 0,194
CA3	3.023 ± 0,218	0.711 ± 0,005	3,734 ± 0,213

Os ensaios relativos ao teste de secagem fornecem valores relativos à velocidade de secagem do material. Visto que para este teste, os ensaios foram repetidos duas vezes nas mesmas condições, foi necessário o cálculo de todas as médias para a elaboração do gráfico das curvas de secagem.

Tendo em conta que os ensaios foram realizados nas mesmas condições de temperatura, humidade relativa, e consequentemente humidade absoluta, a partir dos dados recolhidos ao longo do ensaio elaborou-se o seguinte gráfico em função do tempo, conforme apresentado na Figura 49.

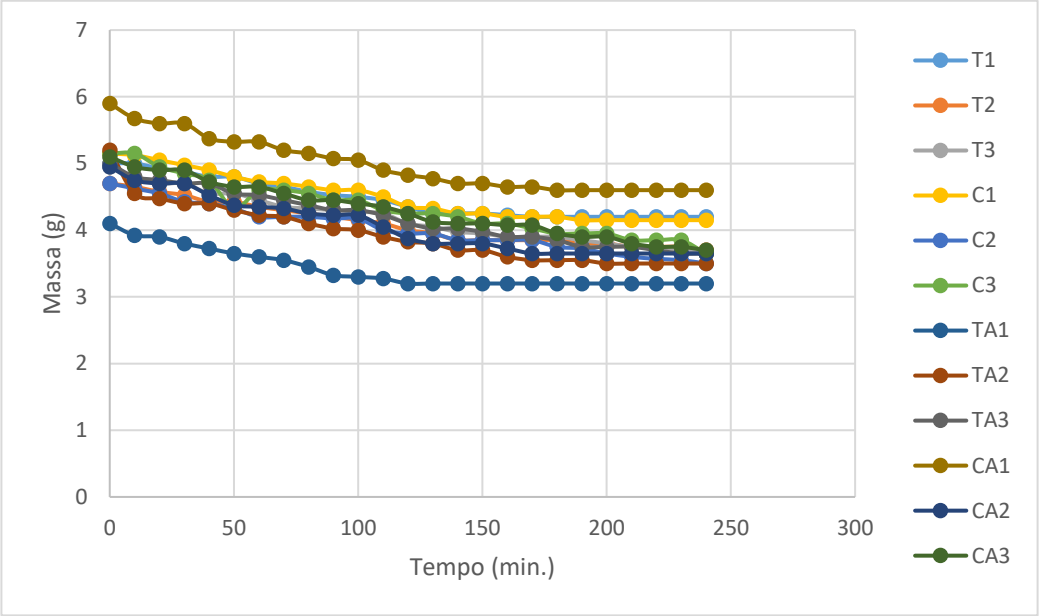


Figura 49 - Gráfico das curvas de secagem (Fonte: Autor)

Os valores das massas que estão representados na Figura 49 referem-se à soma das massas da caixa plástica e da malha humedecida utilizados durante o ensaio, conforme apresentado na Figura 50.



Figura 50 - Amostra para o teste de secagem (Fonte: Autor)

O peso das malhas secas e húmidas, e a quantidade de água efetivamente absorvida e evaporada neste ensaio, estão expressos na Tabela 30.

Tabela 30 - Massa das amostras de malha e água nos ensaios de secagem (Fonte: Autor)

	Massa malha seca (g)	Massa malha húmida (g)	Massa água absorvida e evaporada (g)
T1	0,384	1,164	0,780
T2	0,502	1,47	0,968
T3	0,647	1,909	1,262
C1	0,523	1,472	0,949
C2	0,553	1,683	1,130
C3	0,697	2,132	1,435
TA1	0,429	1,287	0,852
TA2	0,516	2,19	1,674
TA3	0,665	1,991	1,326
CA1	0,585	1,897	1,312
CA2	0,611	1,928	1,317
CA3	0,711	2,077	1,366

Analisando o gráfico da Figura 49, é possível concluir que o comportamento das diferentes malhas segue um determinado padrão. A partir da Tabela 30 é, ainda, possível verificar que a malha que retém mais humidade na sua estrutura é a malha TA2.

Fazendo uma análise global do gráfico da Figura 49 e Tabela 30 é possível concluir que certos pontos importantes para o estudo em causa. Apesar da malha TA2 ter sido a que reteve mais humidade, não foi a que demorou mais tempo a secar, sendo que este fenómeno pode ser justificado pelo acabamento aplicado nesta malha, que ajudou no acelerar da secagem das peças. A malha que teve menos humidade foi a malha T1, mas apesar disso não foi a que secou mais rápido sendo esta a malha TA1, sendo isto visível quando a curva estabiliza e apresenta valores constantes em função do tempo.

Relativamente as malhas com e sem acabamento, através do gráfico, é possível concluir que as malhas com o acabamento apresentavam um tempo de secagem muito inferior ao das malhas sem acabamento. Já quando se comparam as malhas com fibras trilobais com as com fibras circulares é possível verificar que as primeiras têm uma secagem mais rápida, visto que os canais presentes na estrutura das fibras trilobais ajudam no escoamento dos líquidos o que, por sua vez, acelera a secagem.

Por fim, e para se tornar mais fácil a análise do comportamento que o grau de aperto apresenta na secagem foi elaborado um gráfico de barras representado pelo Figura 51, que mostra o tempo decorrido até que a humidade fosse completamente evaporada da malha.

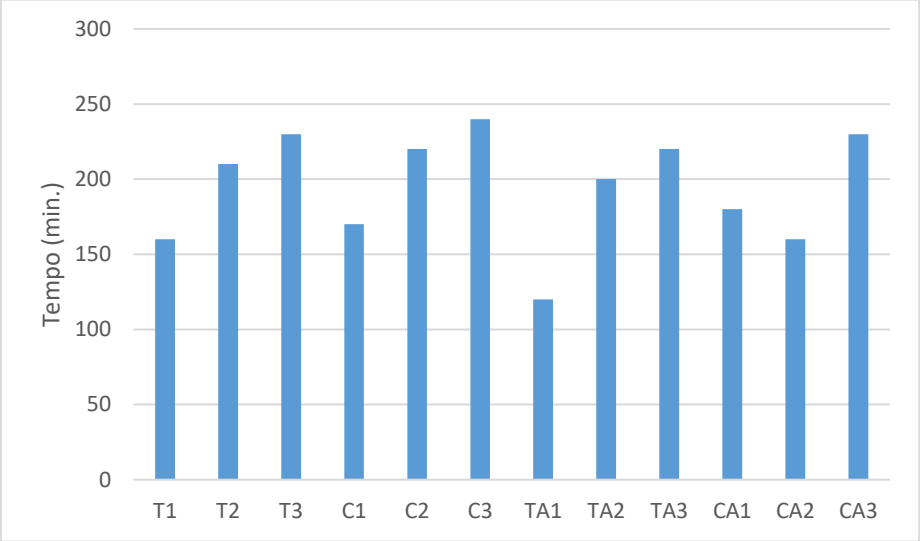


Figura 51 - Gráfico do tempo de secagem (Fonte: Autor)

Analisando estes resultados, é notória uma relação do tempo de secagem com o grau de aperto; quando um dos parâmetros aumenta o outro também aumenta. Isto seria de esperar, pois com o aumento do grau de aperto ocorre o aumento da espessura da malha, tornando-se esta mais fechada o que dificulta a secagem.

No desenvolvimento de vestuário para desporto ou de elevado desempenho é necessário ter em conta diversos parâmetros importantes, sendo a absorção e retenção de humidade um dos mais importantes e com um maior impacto a nível de secagem dos materiais. Segundo Stojanović e Gersak (2019) a absorção e retenção de líquidos, o transporte de humidade e a secagem rápida são os fatores mais importantes para o desenvolvimento de um vestuário eficaz (Rutssats, 2022).

Com o intuito de averiguar se existem diferenças estatisticamente significativas no teste da secagem foi necessário proceder a uma análise estatística, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Análise estatística do teste da secagem (Fonte: Autor)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-value	p-value
Modelo Base	11	32545,83	2958,71	3,07	0,0329
Grau de aperto	2	23608,33	11804,17	12,26	0,0013
Geometria	1	3037,50	3037,50	3,16	0,1010
Acabamento	1	3037,50	3037,50	3,16	0,1010
Grau de aperto + Geometria	2	325,00	162,50	0,1688	0,8466
Grau de aperto + Acabamento	2	625,00	312,50	0,3247	0,7289
Geometria + Acabamento	1	104,17	104,17	0,1082	0,7478
Todos os fatores	2	1808,3	904,17	0,9394	0,4178
Erro	12	11550,00	962,50		
Total	23	44095,83			

Tendo em que os fatores só podem ser considerados significativos caso o seu valor de p-value seja inferior a 0,0500, no caso do teste de secagem o único parâmetro conforme foi o grau de aperto, sendo, portanto, o único fator com influência realmente significativa no tempo de secagem das malhas.

Para ser possível uma melhor visualização da influência deste fator desenvolveu-se os gráficos da Figura 52.

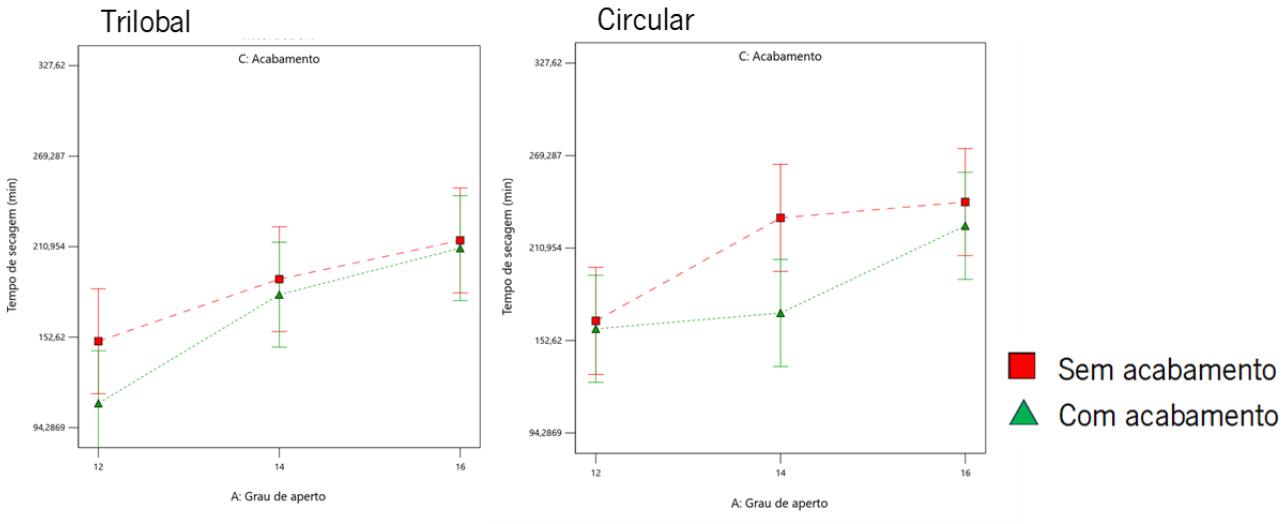


Figura 52 - Gráficos estatísticos teste de secagem (Fonte: Autor)

Através dos gráficos anteriores é possível concluir que todas as malhas com acabamento, independentemente da sua geometria, tiveram uma diminuição no seu tempo de secagem em comparação com as malhas sem acabamento. Apesar disso, esta não é uma diminuição muito acentuada o que faz com que este fator não seja considerado um fator significante.

Relativamente ao grau de aperto, que foi o único fator a ser considerado significante para este teste, é visível que ambas as malhas seguem o mesmo padrão, onde com o aumento do grau de aperto ocorre também o aumento do tempo de secagem, tanto para as malhas com acabamento como para as malhas sem acabamento.

De um modo geral as malhas com fibras trilobais apresentam valores mais reduzidos de tempo de secagem em relação as malhas com fibras circulares, com a exceção da malha circular acabada com grau de aperto 14, que comparando com a malha com fibras trilobais acabada com o mesmo grau de aperto apresenta um tempo de secagem muito menor.

4.3.12. Moisture Management Tester (MMT)

A partir do programa de análise estatística obteve-se a Tabela 32, de onde foi possível retirar as amostras que seguiram para o teste MMT.

Tabela 32 - Tratamento de dados dos ensaios às amostras (Fonte: Autor)

	Grau de aperto	Geometria	Acabamento	Gramagem	Índice médio (%)	Permeabilidade ao ar	Tempo de absorção	Grau de molhagem
1	14	Trilobal	Não	159,200	94,865	2417,0	0,000	1
2	14	Trilobal	Sim	206,400	95,130	2079,0	0,000	1
3	14	Circular	Sim	244,400	107,130	2836,0	3,903	1
4	12	Circular	Sim	234,000	113,275	4215,0	3,477	1
5	16	Circular	Sim	284,400	111,560	2352,0	1,890	1
6	12	Trilobal	Sim	171,600	95,500	2760,0	0,000	1
7	12	Trilobal	Não	140,800	94,795	3183,0	0,000	1
8	12	Circular	Não	182,400	57,550	4375,0	6,377	1
9	16	Trilobal	Não	224,400	109,915	1180,0	0,000	1
10	14	Circular	Não	171,600	54,580	4491,1	10,403	1
11	16	Trilobal	Sim	266,000	91,535	955,1	0,000	1

Tendo por base tabela anterior foi possível concluir que a melhor malha era a malha T2, ou seja, a malha com grau de aperto 14 e geometria trilobal, sendo esta a selecionada e, por consequência, foi escolhida a malha C2, pois é a malha equivalente a nível de parâmetros de produção, como grau de aperto e acabamento, à malha T2. Esta escolha foi feita através da análise de todos os resultados dos testes de qualidade feitos às malhas de modo a maximizar as suas características em relação à gestão de humidade.

Após a realização do ensaio, foram obtidos como resultados para o índice OMMC, para ambas as malhas, cujo os resultados são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Resultados OMMC

Amostra	Geometria	Fibra	OMMC
T2	Trilobal	PBT	0,5827
C2	Circular	PBT	0,5580

Tendo em conta que o índice OMMC é o índice global de gestão de humidade é necessário saber que quanto maior for o seu valor, melhor é a capacidade de gestão de humidade do têxtil em análise, variando sempre ente 0 e 1 (Vasconcelos, 2016).

Assim, e através da análise da Tabela 33, é possível concluir que a malha que apresentou uma melhor capacidade de gestão de humidade é a malha T2, algo que era expectável devido à sua geometria diferenciada.

Para que a gestão de humidade seja considerada muito boa, o índice OMMC deve estar entre 0,6 e 0,8. Apesar de nenhuma malha em estudo ter atingido estes valores, ambas estiveram bastante próximo, sendo que a malha T2 foi a que obteve o valor mais próximo.

Através deste ensaio foi possível estudar parâmetros como o tempo de molhagem, a taxa de absorção, o raio de molhagem e a velocidade de espelhamento, obtendo como resultados para estes parâmetros na malha T2 os apresentados na Figura 53 e para a malha C2 os representados na Figura 54.

	Valores		Grau	
Parâmetro	Avesso	Direito	Avesso	Direito
Tempo de molhagem (s)	3,731	3,8062	4	4
Taxa de aborção (%/s)	69,8946	64,0821	4	4
Máximo raio de molhagem (mm)	25	27	5	5
Velocidade de espalhamento (mm/sec)	5,1711	5,3298	5	5

Figura 53 - Resultados MMT malha T2 (Fonte: Autor)

	Valores		Grau	
Parâmetro	Avesso	Direito	Avesso	Direito
Tempo de molhagem (s)	3,4845	3,4845	4,5	4,5
Taxa de aborção (%/s)	65,7292	60,134	4	3,5
Máximo raio de molhagem (mm)	30	30	5	5
Velocidade de espalhamento (mm/sec)	5,4598	5,362	4,5	4,5

Figura 54 - Resultados MMT malha C2 (Fonte: Autor)

Relativamente ao tempo de molhagem, este é o tempo que demora para a peça ficar húmida, ou seja, para que se sinta a sensação de molhado na peça, o que significa que quanto mais elevado for este valor melhor, pois mais tempo demorará até o atleta sentir o incomodo de peça molhada no corpo (Neto, 2020). Tendo em conta isto, e comparando as duas malhas é possível concluir que a melhor malha e que demora mais tempo a ficar húmida foi a malha T2, tanto no avesso como no direito. Dentro da malha T2, é ainda possível comparar a parte interna e externa da peça, sendo a que demorou mais tempo a ficar húmida a externa, como seria de esperar, uma vez que a maior concentração de humidade vai da parte interna (corpo) para a externa, sendo esta a última a ter contacto com o suor do atleta.

A taxa de absorção traduz-se na velocidade em que a humidade é absorvida pela têxtil ou material, o que significa que quanto mais elevada for a taxa de absorção, mais rápido a humidade será absorvida, o que significa que a peça secará mais rápido (Neto, 2020). Assim, através da análise das Figuras 53 e 54 é notório que a malha que apresenta uma taxa de absorção mais elevada, tanto no avesso como no direito, era a malha T2, o que significa que esta malha tinha uma resposta de secagem superior à malha C2.

Por fim, dois fatores que também refletem muito o comportamento das malhas em relação à gestão de humidade são o raio de molhagem e a velocidade de espalhamento, estando estes fatores relacionados entre si. O raio máximo de molhagem é o raio obtido pela humidade no têxtil, sendo que quanto maior for o raio maior será a superfície molhada, o que não é algo pretendido para este estudo (Neto, 2020). Relativamente à velocidade de espalhamento, esta é velocidade a que a humidade se espalha até atingir o raio máximo de molhagem, o que significa que quanto mais elevado for este, melhor será a difusão de fluídos por parte do têxtil (Neto, 2020). Comparando as malhas em estudo em relação a estes parâmetros, obteve-se como a melhor malha a malha T2 com um menor raio de molhagem e uma velocidade de espalhamento superior.

Assim sendo, através do teste MMT foi possível encontrar como a melhor malha para a gestão de humidade a malha T2, uma vez que foi a melhor em todos os parâmetros quando comparada com a malha C2.

5. Conclusões e Perspetivas Futuras

No presente capítulo realiza-se uma compilação das conclusões retiradas no decorrer do trabalho, assim como as perspetivas futuras para o mesmo.

5.1. Conclusões

A prática desportiva pode-se tornar numa atividade mais confortável e eficiente com a utilização de peças que permitam controlar a humidade corporal libertada na excecução. A presente dissertação teve como principal objetivo a produção de fibras melhoradas e, consequente, criação de uma malha para aplicação em peças desportivas com capacidade de gestão de humidade.

Neste sentido, produziram-se e comparou-se o desempenho de malhas com uma geometria de fibra diferenciada, a trilobal, visto que esta geometria tem apresentado resultados promissores no que diz respeito ao transporte da humidade, e malhas com fibras de geometria convencional, circular, como modo de comparação. Nos dois casos estudaram-se diferentes graus de aperto a fim de se obter a melhor malha possível. Para além disto foi, ainda, testado a influência de um acabamento hidrodinâmico nas malhas.

Produziram-se fibras trilobais e circulares através do processo de *melt-spinning*. A sua análise microscópia revelou que as fibras trilobais continham canais perfeitos na sua estrutura que facilitavam o transporte da humidade, enquanto que as fibras circulares obtiveram a esperada forma circular tradicional.

O estudo realizado permitiu constatar que a capacidade de absorção e de transporte de humidade das malhas era afetado pelos parâmetros aplicados no tear na produção das malhas, tais como o comprimento da laçada e consequente grau de aperto, o número de colunas e de fileiras. Verificou-se, ainda, que o tipo de geometria de fibra utilizada influenciava bastante nas propriedades finais da malha.

Conclui-se que os melhores resultados de gestão de humidade em termos globais, tendo por base todos os requisitos que devem a ser respeitados na execução de uma malha para peças desportivas, tais como a respirabilidade, absorção, secagem e leveza, eram obtidos com a malha

composta por fibras de geometria trilobal, produzida com um grau de aperto 14 e sem qualquer tipo de acabamento. De facto, esta malha apresentou um peso por unidade de superfície de 156 g/m^2, estando no intervalo aceite para este tipo de materiais, normalmente entre 140 e 160 g/m^2, a sua permeabilidade de ar foi de 2417 L/m^2/s, o que já é considerado um valor elevado de permeabilidade traduzindo-se numa malha respirável, a sua permeabilidade ao vapor de água apresentou um índice médio de 94,87% que, apesar de não ter sido o melhor resultado, esse conseguido por uma malha convencional com acabamento hidrodinâmico, ainda se encontrava acima dos 80% o que se traduz numa malha com excelentes capacidades de transporte de humidade.

Em termos da influência do acabamento aplicado, concluiu-se que este se fazia sentir sobretudo no encurtamento do tempo de secagem das malhas.

Os ensaios de tração mecânica confirmaram a resistência, tanto das fibras como das malhas, quando expostas a forças elevadas.

De um modo geral, as conclusões obtidas no decorrer da presente dissertação contribuíram para o desenvolvimento do projeto no qual esta se insere, apontando soluções que se revelaram promissoras para servirem como malha com capacidade de gestão de humidade. No entanto, no decorrer deste projeto, ainda há muitas conclusões a tirar até se conseguir encontrar uma solução totalmente inovadora.

5.2. Perspetivas Futuras

As propriedades de gestão de humidade podem ser melhoradas através de diferentes modos. Ao longo deste trabalho já foi possível comprovar que a geometria da fibra consegue melhorar significativamente este aspeto. Para além disto, o grau de aperto e a construção da malha também têm uma grande importância.

Apesar disto, a capacidade de gestão de humidade da fibra trilobal poderia ser melhorada com a aplicação de alguma substância ou algum tratamento aquando da formação da própria fibra, no processo de *melt-spinning*.

Algo que também poderia trazer vantagens para este produto seria a combinação de outros tipo de fibras na construção da malha de modo a conseguir-se retirar o proveito de outras vantagens adjacentes a outros tipos de fibras.

Por fim, poderia também ser vantajoso a aplicação de mais do que um acabamento químico que ajudasse a peça na extração de líquidos e, consequentemente, na secagem rápida do material.

De modo a assegurar que não existe nenhum efeito negativo para a saúde dos possíveis utilizadores destes protótipo, devido ao acabamento aplicado e os seus aditivos adicionados no mesmo, seria importante realizar ensaios de sensibilidade e irritação com o intuito de percecionar se esta malha não traria nenhum tipo de problema para a saúde humana.

Um outro objetivo futuro seria a eliminação do acabamento dado às malhas caso fosse possível, através de outros métodos de modificações de fibras, obter resultados equivalentes ou superiores aos obtidos com este tipo de tratamento.

Bibliografia

Aguiar Neto, P. P. (2005). Introdução às Fibras Têxteis - Parte 2 – Fibras Têxteis.

ALBUQUERQUE, W. M. (2011). Estudo da secagem de tecido jeans (Master's thesis).

Alonso, C. H. (2018). Fita de cetim: defeitos de tecelagem.

Araújo, M., & Catro, E. (1986). *Manual de Engenharia Têxtil* (Vol. Vol.1). Fundação Calouste Guibenkian, Lisboa .

Borelli, C. (2013). *Comparativo das propriedades de transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar em tecidos planos de poliéster.* Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas.

Bouredji, K. G., & Jester, G. (2020). EveryWear Marketing Plan.

Bramel, S. (2005). Key trends in sportswear design. Em *Textiles in sport* (pp. 25-43). Woodhead Publishing.

Brant, A. J. (2008). Preparação e caraterização de hidrogéis a partir de misturas de soluções de quitosana e poli (N-vinil-2-pirrolidona) (Doctoral dissertation). Obtido de https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46135/tde-10062008-154244/en.php

Carvalho, C. C. (junho de 2015). Fibras têxteis não convencionais com propriedades de conforto melhoradas.

Catarina. (18 de abril de 2014). *Tecnologias de tecidos adidas*. Obtido em 15 de setembro de 2022, de https://pontog.tralhasgratis.pt/tecnologias-de-tecidos-adidas-7288

Catarino, A. P. (1998). Dinâmica da tricotagem: estudo da dinâmica da tensão de entrada do fio e sua aplicação em controlo de qualidade (Doctoral dissertation).

Constantino, T. V. (2022). Análise dimensional de malhas jersey de poliéster com diferentes percentuais de elastano (Bachelor's thesis).

CoolMax. (2022). Obtido em 14 de setembro de 2022, de The LYCRA Company: https://www.coolmax.com/en/business/search-technologies/coolmax-ecomade-technology

Costa, A. L. (2014). *Avaliação de amaciadores para uso na indústria têxtil.* (Doctoral dissertation), Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães.

Costa, M., LIMA, A., & Rosa, J. M. (2013). Fibras têxteis no Brasil: propriedades e perfil atual das principais fibras utilizadas no setor do vestuário. *9º Colóquio da Moda-Ceará*.

Das, B. D. (2009). Moisture flow through blended fabrics–Effect of hydrophilicity. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 4*, 20-28.

de Almeida, A. G., Martins, L. T., Nunes, M., & Lopes, J. B. (s.d.). Microscopia Aplicada ao Controle de Qualidade de Produtos Têxteis.

Decathlon. (17 de março de 2015). *Conheça nossa tecnologia Equarea - Exclusividade Decathlon*. Obtido em 15 de setembro de 2022, de Decathlon Brasil: https://www.youtube.com/watch?v=SCXXGSD8jS8

Duru, S. C. (2020). *Assessing Water-Related Comfort Performance of Knitted Fabrics made of Rayon Microfibers and Lyocell Fibers for Intimate Wear.* (Vol. 30). Gumussuyu-Beyoglu, Istanbul, Turkey: Textile and Apparel.

Editor, M. B. (1 de abril de 2019). *Entendendo Análise de Variância (ANOVA) e o teste F*. Obtido em 18 de outubro de 2023, de Minitab, LLC: https://blog.minitab.com/pt/entendendo-analise-de-variancia-anova-e-o-teste-f

Fangueiro, R., Cruz, J., Araújo, P., & Araújo, F. (2011). Gestão de humidade em malhas: estudo de durabilidade. Obtido em 20 de outubro de 2022, de https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/15716/1/DOC_4511.pdf

Fibrenamics. (2022). Fibras Multicomponentes. *As Fibras: O que são e que tipos existem*. Obtido em 15 de dezembro de 2022, de https://www.fibrenamics.com/intelligence/reports/as-fibras-o-que-sao-e-que-tipos-existem#FibrasMulticomponentes

Filgueiras, A. P. (2008). Optimização do design total de malhas multifuncionais para utilização em vestuário desportivo (Doctoral dissertation, Universidade do Minho (Portugal)).

Filgueiras, A. P., & de Araújo, M. D. (2016). Design de Malhas Multifuncionais para Utilização em Vestuário Desportivo. Em *ModaPalavra e-periódico* (Vol. 17, pp. 194-221).

Filgueiras, A., Fangueiro, R., & Raphaelli, N. (2008). A Importância de Fibras e Fios no Design de Têxteis Destinados à Prática Desportiva,.

Garrafa, L., Leite, A. d., & Costa, M. (2015). *Manual Técnico Têxtil e Vestuário* (Vol. 3). São Paulo: SENAI MIX DESIGN.

HU, J. (2005). Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties.

Hu, J., Li, Y., Yeung, K. W., Wong, A. S., & Xu, W. (2005). Moisture management tester: a method to characterize fabric liquid moisture management properties. Em *Textile Research Journal* (pp. 57-62).

Hufenus, R., Yan, Y., Dauner, M., & Kikutani, T. (2020). Melt-spun fibers for textile applications. *Materials, 13*(19).

Jin, B., & Cedrola, E. (2017). Product innovation in the global fashion industry. *Springer*.

Jung, I., Kim, S. Y., & Oh, T. H. (2010). Effects of spinning conditions on shape changes of trilobal-shaped fibers. Em *Textile Research Journal* (Vol. 80(1), pp. 12-18).

Kramschuster, A., & Turng, L.-S. (2014). Fabrication of Tissue Engineering Scaffolds. Em *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics* (pp. 427-446). Plastics Design Library.

Kuanse, A. (2008). FIBRAS TÊXTEIS. pp. 37-38.

Lee, S., & Obendorf, S. K. (2012). Statistical modeling of water vapor transport through woven fabrics. *Textile Research Journal, 82*, 211-219.

Leite, D. (2011). Influência da estrutura de malha e do elastómero na compressão das malhas seamless (Doctoral dissertation, Universidade da Beira Interior).

Lima Filho, N. D. (2009). Design de estruturas de malhas multifuncionais optimização da transferência de líquidos. p. 328.

Madeira, M. J. (dezembro de 2009). Estruturas flexíveis multicamada para gestão de humidade (Doctoral dissertation).

Maduna, L., & Patnaik, A. (2020). Heat, moisture and air transport through clothing textiles. Em *Textile Progress* (Vol. 52, pp. 129-166).

Martin, J. R. (2010). Transpirando conforto: A gestão da funcionalidade e o conforto nos tecidos. *Revista Química Têxtil*.

Mendes, S. P. (fevereiro de 2019). Estudo das propriedades intrínsecas de fibras têxteis e a sua correlação com as características físico-químicas de malhas circulares.

Minitab. (2023). *Interpretar os principais resultados para ANOVA com 1 fator*. Obtido em 18 de outubro de 2023, de Minitab, LLC: https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/

Moncriff, R. (1975). Man-Made fibres. Em *London: Newnes-Butterworths* (6 ed.).

Moraes, S. R., Oliveira, A. L., Souza, J. F., & Alves, J. (2010). Avaliação de polímeros termoplásticos recicláveis como materiais componentes de telhas e tijolos. Em *ENCICLOPEDIA BIOSFERA* (Vol. 6). Goiânia.

Moreira, C. (2013). Microscópio ótico. *Revista de Ciência Elementar*.

Neto, R. J. (2020). Estudo e integração de sensores/biossensores em substratos têxteis para deteção de biomarcadores de stress físico e emocional.

Nike. (2022). Obtido em 15 de setembro de 2022, de https://www.nike.com/pt/help/a/nike-dri-fit

Nuhrat, Y. (2020). Bodies, football jerseys, and multiple male aesthetics through football in Turkey. Em *Fashion Theory* (Vol. 25, pp. 679-696).

Oliveira, J. J. (2016). *Caraterização do processo e estudo das propriedades de tecidos bi-elásticos.* Doctoral dissertation, Universidade do Minho, Escola de Engenharia , Guimarães.

Özdil, N., Süpüren, G., Özçelik, G., & Pruchova, J. (2009). A study on the moisture transport properties of the cotton knitted fabrics in single jersey structure. Em *Textile and Apparel* (Vol. 19, pp. 218-223).

Patnaik, A. R. (2006). Wetting and wicking in fibrous materials. *Textile Progress*.

Pinto, C. M. (2019). *Melhoria das propriedades do poliéster através da funcionalização com poli (álcool de vinilo).* (Doctoral dissertation), Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães.

RESINEX. (2023). *PBT – POLIBUTILENO TEREFTALATO*. Obtido de RESINEX: https://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pbt.html

Rocha, A. M. (2020). *Apontamentos de Tricotagem.* Escola de Engenharia Têxtil, Guimarães. Obtido em 22 de dezembro de 2022

Roda, J. T. (2008). Garantia de Qualidade em Materiais Têxteis.

Romero, L. L., Vieira, J. O., Martins, R. F., & Medeiros, L. A. (1994). *Malharias.*

Roy, M. D., & Sinha, S. K. (2014). Performance of wicking through yarn and fabric made from polyester fibres of different cross-section. *International Journal of Textile Science, 3*, 44-50.

Rutssats, L. M. (2022). Tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol.

Santos, V. F. (2020). Reciclagem textil: algodão e poliéster.

Shim, E., Pourdeyhimi, B., & Latifi, M. (2010). Three-dimensional analysis of segmented pie bicomponent nonwovens. *The Journal of The Textile Institute*, 773-787.

Souza, F. A., & de Almeida Carneiro, N. M. (2016). Funcionalização de Materiais Têxteis. *Revista Iconica, 2*.

Souza, J. M. (2008). Design de malhas multifuncionais para aplicações técnicas (Doctoral dissertation).

StatEase. (2023). *Design of Experiments.* Obtido em 18 de outubro de 2023, de StatEase, Inc: https://www.statease.com/software/design-expert/

Stein, V. (2013). Índice de proporcionalidade de cobertura: um fator para previsibilidade das características da qualidade nos tecidos de malha (Master's thesis).

Stoodi. (5 de julho de 2020). Poliamida: o que é, composição e mais!

STYLE, S. (2022). *Fabricante de fios PBT*. Obtido em 25 de fevereiro de 2023, de SALUD STYLE: https://www.saludstyle.com/pt/product/pbt-yarn/

Torres, D. E. (2009). Desenvolvimento de um eco-compósito moldado composto de fibras recicladas celulósicas e termoplásticas (Doctoral dissertation).

Turbiani, R. (07 de janeiro de 2021). Saiba o que acontece no seu corpo durante a prática de atividade física. *Sintomas, prevenção e tratamentos para uma vida melhor.*

Valente, A. C., & de Oliveira, R. (2011). Poliamida: Solidez da Cor para o Desenvolvimento da Industria. Em *Revista da UNIFEBE* (Vol. 1, pp. 1-17).

Vasconcelos, F. G. (2016). Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT) comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Zille, A. (2022). Apontamentos - Acabamentos Físicos de Superfície. Guimarães .

Anexos

Anexo 1. Fichas técnicas das malhas

Malha T1

Malha *jersey* obtida com fibras trilobais para aplicações de gestão de humidade.

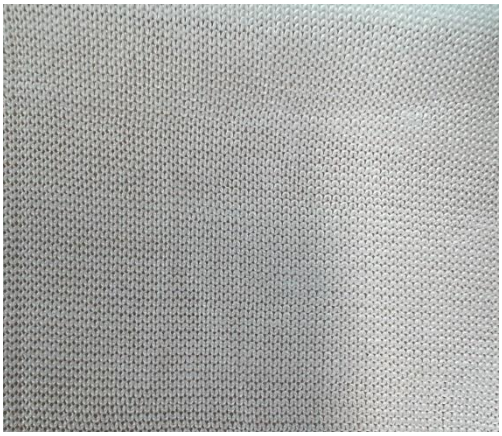


Figura 55 - Malha T1

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		342
Grau de aperto		12
Contextura (fios/cm)	Fileiras	9
	Colunas	9
Espessura (mm)		0,453
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		140,8

Malha T2

Malha *jersey* obtida com fibras trilobais para aplicações de gestão de humidade.



Figura 56 - Malha T2

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		342
Grau de aperto		14
Contextura (fios/cm)	Fileiras	10
	Colunas	10
Espessura (mm)		0,534
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		159,2

Malha T3

Malha *jersey* obtida com fibras trilobais para aplicações de gestão de humidade.

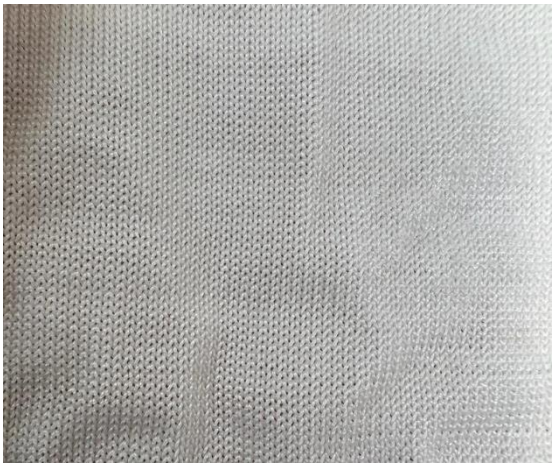


Figura 57 - Malha T3

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		342
Grau de aperto		16
Contextura (fios/cm)	Fileiras	14
	Colunas	12
Espessura (mm)		0,580
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		224,4

Malha C1

Malha *jersey* obtida com fibras circulares para aplicações de gestão de humidade.



Figura 58 - Malha C1

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		476
Grau de aperto		12
Contextura (fios/cm)	Fileiras	9
	Colunas	8
Espessura (mm)		0,434
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		182,4

Malha C2

Malha *jersey* obtida com fibras circulares para aplicações de gestão de humidade.



Figura 59 -Malha C2

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		476
Grau de aperto		14
Contextura (fios/cm)	Fileiras	8
	Colunas	8
Espessura (mm)		0,420
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		171,6

Malha C3

Malha *jersey* obtida com fibras circulares para aplicações de gestão de humidade.



Figura 60 - Malha C3

Características Gerais:

Campo de aplicação:

Para peças desportivas ou outras com a necessidade de malhas com capacidade de gestão de humidade melhorada.

Composição:

100% PBT

Dados técnicos:

Massa linear (dtex)		476
Grau de aperto		16
Contextura (fios/cm)	Fileiras	10
	Colunas	10
Espessura (mm)		0,516
Massa por unidade de superfície (g/m^2)		204,0

Anexo 2. Ficha técnica do produto *TanaFinish HPX*

TANATEX CHEMICALS

Product Information | **TANA®FINISH HPX**

Hydrodynamic finishing agent for fabrics, knit goods and nonwovens made out of synthetic fibres

Properties and fields of application

- Yields excellent absorbency on synthetics, such as 100% PES, 100% PA and their blends
- Highly recommendable for sportswear
- Generally applicable for both apparel and technical articles to improve hydrophility
- Improves the humidity transport of the textile
- Excellent antistatic properties of polyester
- Improving soil-releasing property
- Durable to mild washing
- No yellowing when applied separately

General properties

Chemical basis	Ethoxylated carboxylic acid compound
Ionicity	Nonionic
Form supplied	Colourless, hazy liquid
Density (20°C)	1,0 – 1,1 g/cm³
Viscosity (20°C)	approx. 50 mPa.s
pH (20°C)	6 – 8
Dissolving	Can be diluted in any ratio with cold or warm water

Technical notes on application

General

TANA®FINISH HPX is specially developed for hydrodynamic finishes on synthetic fibres, to counter the normally lower wear-comfort of textiles made out of synthetics.

TANA®FINISH HPX provides textiles with outstanding hydrophility, humidity transport and antistatic effects. Good resistance to mild washing processes are obtained.

TANA®FINISH HPX is useful for e.g. sportswear and other performance apparel, but is also applicable on non-wovens and other technical articles to yield long-lasting absorbency.

TANA®FINISH HPX is also effective as soil-releasing finishing for PES fiber and its blends
TANA®FINISH HPX is a special hydrophilic polymer with high affinity to PES fiber. TANA®FINISH HPX forms a hydrophilic protective layer on PES fiber surface which prevents dirt from adhering to fiber and can therefore be easily removed during laundering.

Amounts required

Application

TANA®FINISH HPX can be applied by pad, exhaust and spray techniques.

- Pad application
  5 – 50 g/l TANA®FINISH HPX
  Pick up: 50%
- Exhaust and spray application
  0,5 – 2,0% on weight of goods

Normal drying is sufficient to obtain the desired end-effects.

Storage stability

12 months from delivery ex plant TANATEX Chemicals in closed containers.

Note on safety

Information on handling and ecological and toxicological behaviour is contained in the safety data sheet for TANA®FINISH HPX.

Specifications

For further details, please refer to the product specification for TANA®FINISH HPX.

General note on product designations

Under statutory regulation on occupational safety, environmental protection and transportation, all changes to the composition of products must be indicated.
Changes are indicated by adding numbers to the product designation, e.g. 01, 02, etc. They do not alter the technical properties of the product.

Disclaimer for Commercial Products

This information and our technical advice - whether verbal, in writing or by way of trials - are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to check its validity and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.

Disclaimer for Guide Recipes

The above formulation is intended solely as a guide for our business partners and others interested in our products. As the conditions of use and application of the suggested formulation are beyond our control, it is imperative that it be tested to determine, to your satisfaction, whether it is suitable for your intended use(s) and application(s). This application-specific analysis at least must include testing to determine suitability from a technical, as well as health, safety and environmental standpoints. Further, although the ingredients, quantities thereof and properties of compounds or finished goods mentioned herein reflect our recommendation at the time of publication, this guide may not be subject to continuous review and/or updating, and you agree that use is undertaken at your sole risk. All information is given without warranty or guarantee, and it is expressly understood and agreed that you assume, and hereby expressly release us from, all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of this guide.

Edition: 2012-10-01

TANATEX Chemicals B.V.
Einsteinstraat 11
P.O. Box 46, 6710 BA Ede, Netherlands
Telephone: +31 318 67 09 11
Fax: +31 318 63 02 36
E-mail: info@tanatexchemicals.com
Internet: www.tanatexchemicals.com