



M 2019

ESTUDO DAS PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DE FIBRAS TÊCTEIS E A SUA CORRELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS MALHAS CIRCULARES

SOFIA PEREIRA MENDES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo das propriedades intrínsecas de fibras têxteis e a sua correlação com as características físico-químicas de malhas circulares

Dissertação de Mestrado

de

Sofia Pereira Mendes

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

TINTEX-TEXTILES S.A.



Orientador na FEUP: Professor Manuel Fernando Ribeiro Pereira

Orientador na TINTEX-TEXTILES S.A.: Doutor Pedro José Martins Cardoso de Magalhães



Departamento de Engenharia Química

DOCUMENTO CONFIDENCIAL. UTILIZAR APENAS PARA PROPÓSITOS DA AVALIAÇÃO

Fevereiro de 2019

“ Na vida, não existe nada a temer, mas a entender.”

Marie Curie

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível graças à oportunidade de estágio cedida pela empresa TINTEX TEXTILES S.A.. Quero por isso agradecer aos Engenheiros Ricardo Silva e Ana Silva pela oportunidade e por me terem permitido um primeiro contacto com o ambiente empresarial, pelo conhecimento transmitido, pelas condições disponibilizadas e sobretudo pela confiança depositada.

Agradeço imenso ao Doutor Pedro Magalhães, meu orientador empresarial, que me acompanhou na evolução deste projeto, por todo o tempo disponibilizado, pelo apoio na resolução dos problemas, por todo o conhecimento transmitido, por toda a dedicação e disponibilidade prestada.

Ao professor Fernando Pereira, meu orientador académico, agradeço por toda a orientação, por toda a disponibilidade prestada e por todos os conhecimentos transmitidos.

À diretora de recursos humanos Silvana Leal agradeço toda a atenção dedicada e disponibilidade promovida. A todos os colaboradores da TINTEX-TEXTILES S.A. e da H.A.T.A com quem mantive contacto, um muito obrigado pela fantástica formação e pela preciosa ajuda na consolidação de conhecimentos, bem como pelo ótimo acolhimento e prestabilidade.

Aos meus pais dedico o maior dos meus agradecimentos por terem acreditado sempre em mim e me terem transmitido os bons valores e costumes para enfrentar mais um desafio.

Obrigado aos meus irmãos, Henrique e Rosa Mendes, por todo o carinho e paciência que tiveram comigo. Por compreenderem sempre as minhas decisões e por estarem sempre presentes em todas as etapas da minha vida. Ao pequenote da família, a madrinha deixa um grande obrigado, porque sempre encontrei em ti uma fonte de boa energia e ternura.

Ao Francisco, por todo o amor demonstrado e por toda a cumplicidade, bem como pelo apoio, paciência e compreensão ao longo desta etapa tão decisiva da minha história. À Cristina, por toda amizade verdadeira de tantos anos. A todos os meus amigos e familiares um muito obrigado!

O Professor Fernando Pereira, orientador académico desta dissertação, é membro integrado do Laboratório Associado LSRE-LCM - UID/EQU/50020/2019 - financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Resumo

O desafio inerente a este projeto focou-se no estudo de três fibras têxteis, o algodão, o liocel e o poliéster, e a sua aplicação em malhas circulares, de forma a prever o comportamento das malhas conhecendo a natureza das fibras que as constituem.

Começou-se por estudar de forma mais aprofundada da fibra a algodão, seguindo-se um estudo comparativo da fibra de algodão com as fibras de liocel e poliéster. Conclui-se que quanto maior for o título dos fios de algodão maior será a massa por unidade de superfície das malhas, menor a resistência das malhas à formação de borboto e à abrasão e maior a resistência das malhas ao rebentamento. Morfologicamente as fibras de algodão demonstraram ser bastante mais irregulares que as fibras de poliéster e de liocel. As fibras de algodão demonstraram também possuir maior espessura que as fibras de liocel e de poliéster. Os resultados de comprimento obtidos para a fibra de algodão permitiram relacioná-lo com o comprimento das fibras usadas pela marca registada *Supima*. As malhas de algodão revelaram possuir maior massa por unidade de superfície que as malhas de poliéster e de liocel, independentemente da estrutura da malha e do título do fio. Demonstraram também ser mais resistentes à formação de borboto e à abrasão, sendo as malhas de liocel as menos resistentes à formação de borboto e as malhas de poliéster as menos resistentes à abrasão. As malhas de poliéster apresentaram maior resistência ao rebentamento e as malhas de algodão foram as menos resistentes. Relativamente à estabilidade dimensional, foram as malhas em cru de poliéster as que apresentaram melhores resultados. Os testes de espiralidade revelaram que a torção das malhas era no sentido de torção Z.

Os testes realizados permitem um conhecimento do comportamento das malhas não tratadas dependendo da natureza das fibras e permitem prever o comportamento das malhas acabadas.

Palavras Chave (Tema):

fibras têxteis, fios têxteis, malhas circulares

Abstract

The challenge of this project was the study of three textile fibers, cotton, lyocell and polyester, and their use in the production of the circular knits, in order to predict the behavior of the knits knowing the nature of the fibers that constitute them.

Initially, a more in-depth study of the cotton fiber was made, followed by a comparative study of the cotton fiber with the fibers of lyocell and polyester. The conclusion was, the higher the title of cotton yarn the greater the mass per unit area of the knits, the lower the resistance of the knits to the formation of pilling to and the abrasion and greater the resistance of the knits to the bursting. Morphologically the cotton fibers proved to be much more irregular than the polyester and lyocell fibers. Cotton fibers have also been shown have a greater thickness than lyocell and polyester fibers. The length results obtained for the cotton fiber allowed to relate it to the length of the fibers used by the trademark *Supima*. The cotton knits revealed to have a larger mass per unit area than the polyester and lyocell knits, regardless of knit structure and yarn title. They have also shown to be more resistant to pilling formation and abrasion. Lyocell knits were the less resistant to the pilling formation and the knits of polyester were the less resistant to abrasion. The polyester knits presented greater resistance to bursting and the cotton knits were the least resistant. In respect to dimensional stability tests, the polyester raw knits showed the best results. Spiraling tests revealed that the twisting of the knits was in the Z-twist direction.

The tests performed allow a knowledge of the behavior of the untreated knits depending on the nature of the fibers and allow to predict the behavior of the finished knits.

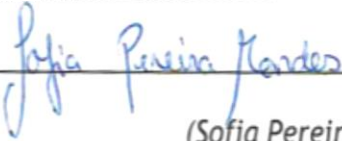
Keywords (Theme):

textile fibers, textile yarns, circular knits

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Porto, 11 de Fevereiro de 2019



(Sofia Pereira Mendes)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	1
1.3	Contributos do Trabalho	2
1.4	Organização da Tese	2
2	Contexto e Estado da Arte	4
2.1	Fibras Têxteis.....	4
2.1.1	Tipos de fibras têxteis	4
2.1.2	Propriedades e características das fibras têxteis	5
2.2	Fiação	7
2.2.1	Fiação convencional	7
2.2.2	Fiação não convencional ^[14]	8
2.3	Fios Têxteis	9
2.3.1	Tipos de fios têxteis	9
2.3.2	Particularidades dos fios têxteis	10
2.4	Malhas	11
2.4.1	Estruturas fundamentais das malhas	13
2.4.2	Propriedades fundamentais das malhas.....	14
2.4.3	Tecnologias usadas em malharia	14
3	Materiais e Métodos	16
3.1	Materiais	16
3.2	Métodos	16
4	Resultados e Discussão.....	22
4.1	Caracterização de fibras de algodão e a sua correlação com as propriedades físico-químicas de malhas circulares	22
4.1.1	Morfologia das de algodão.....	22
4.1.2	Determinação da massa por unidade de superfície das malhas circulares.....	24
4.1.3	Resistência das malhas circulares à formação de borboto	26

4.1.4	Resistência das malhas circulares à abrasão	27
4.1.5	Resistência das malhas circulares ao rebentamento.....	28
4.2	Caracterização comparativa de fibras de algodão, liocel e poliéster e a sua correlação com as propriedades físico-químicas de malhas circulares	30
4.2.1	Morfologia das diferentes fibras.....	30
4.2.2	Determinação da massa por unidade de superfície das malhas circulares.....	33
4.2.3	Resistência das malhas circulares à formação de borboto	34
4.2.4	Resistência das malhas circulares à abrasão	36
4.2.5	Resistência das malhas ao rebentamento	37
4.2.6	Estabilidade dimensional e espiralidade das malhas circulares	39
5	Conclusões	41
6	Avaliação do trabalho realizado.....	43
6.1	Objetivos Realizados	43
6.2	Outros Trabalhos Realizados.....	43
6.3	Limitações e Trabalho Futuro	43
6.4	Apreciação final	44
7	Referências	45
	Anexo A - Nomenclatura nos sistemas de titulação dos fios.....	48
A.1	Sistema Direto	48
A.2	Sistema Indireto.....	49
	Anexo B - Microscopia das diferentes fibras.....	50
B.1	Morfologia das fibras de algodão	50
B.2	Morfologia das fibras de liocel.....	53
B.3	Morfologia das fibras de poliéster	56
	Anexo C - Resultados obtidos para espessuras das fibras de algodão provenientes de diferentes fios.....	59
C.1	Resultados obtidos a partir das medições de espessuras através de vistas longitudinais	59
C.2	Resultados obtidos a partir das medições de espessuras através de vistas do corte transversal.....	62

Anexo D - Resultados obtidos nos testes de determinação da massa por unidade de superfície em malhas circulares	64
D.1 Resultados obtidos para os testes de gramagem realizados às malhas de algodão com fios de diferentes títulos.....	64
D.2 Resultados obtidos para os testes de gramagem realizados às malhas das diferentes fibras	66
Anexo E - Resultados obtidos nos testes de resistência à formação de borboto em malhas circulares.....	68
E.1 Resultados obtidos com o método de <i>Martindale</i>	69
E.2 Resultados obtidos com o método de <i>Pilling Box</i>	72
Anexo F - Resultados obtidos nos testes de resistências ao rompimento das malhas circulares.....	75
Anexo G - Resultados obtidos nos testes de resistências ao rebentamento das malhas circulares.....	78
G.1 Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento realizados às malhas de algodão com fios de diferentes títulos	78
G.2 Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento realizados às malhas das diferentes fibras.....	81
Anexo H - Resultados obtidos para espessuras das fibras de algodão, liocel e poliéster... 84	84
H.1 Resultados obtidos para fibras de algodão	84
H.2 Resultados obtidos para fibras de liocel	85
H.3 Resultados obtidos para fibras de poliéster.....	86
Anexo I - Formulas matemáticas usadas na análise estatística	88
I.1 Fórmula matemática da média aritmetica	88
I.2 Fórmula matemática do desvio padrão relativo à média aritmetica	88
I.3 Fórmula matemática da variância relativa à média aritmetica	88
I.4 Fórmula matemática do intervalo de confiança da média aritmetica a 98%	89

Índice de Figuras

Figura 1 - Corte transversal e visão longitudinal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente, observadas com uma ampliação de 500x ^[10]	6
Figura 2 - a) Representação esquemática da fiação em anel, fiação convencional. ^[15] b) Representação esquemática da fiação a rotor, fiação não convencional ^[15]	8
Figura 3 - Direções da torção Z e S ^[20]	11
Figura 4 - a) Representação esquemática da malha em trama. ^[24] b) Representação esquemática da malha em teia ^[24]	12
Figura 5 - a) Direito e avesso, respetivamente, da malha Jersey. ^[24] b) Malha Rib 1x1. ^[24] c) Malha de ponto esquerdo 1x1 ^[24]	14
Figura 6 - Corte transversal de um tear circular de topo aberto - <i>Jersey</i> ^[25]	15
Figura 7 - a) Microscópio ótico usado neste estudo. b) Placa metálica usada no estudo dos cortes transversais.....	17
Figura 8 - Dispositivo de corte, gramador, usado nos testes de massa por unidade de superfície.....	18
Figura 9 - a) Esquadro usado para fazer as marcações necessários dos testes de estabilidade dimensional e espiralidade. b) Régua usada para medir os valores de encolhimento e torção das malhas.....	19
Figura 10 - Equipamento utilizado no método de <i>Pilling Box</i>	20
Figura 11 - Equipamento <i>Martindale</i> preparado para o teste de formação de borboto.....	20
Figura 12 - Equipamento <i>Martindale</i> preparado para o teste de abrasão.....	21
Figura 13 - Eclatómetro de membrana pneumática utilizado para o estudo da resistência ao rompimento.....	21
Figura 14 - Vista longitudinal da fibra de algodão.....	22
Figura 15 - Vista do corte transversal da fibra de algodão.....	23
Figura 16 - Pressão máxima, em kPa, atingida pelas malhas até ao rebentamento.....	29
Figura 17 - Distensão máxima, em mm, atingida pelas malhas até ao rebentamento.....	29
Figura 18 - Vista longitudinal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente.....	31
Figura 19 - Vista do corte transversal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente.....	31
Figura 20 - Fibras usadas para determinar o comprimento das fibras de algodão estudadas.....	33
Figura 21 - Pressão máxima, em kPa, atingida pelas malhas até ao rebentamento.....	37
Figura 22 - Distensão máxima, em mm, atingida pelas malhas até ao rebentamento.....	37

Figura B.1.1 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 4x.....	50
Figura B.1.2 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 10x.....	50
Figura B.1.3 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras das fibras em μm	51
Figura B.1.4 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 40x e as medições das espessuras das fibras em μm	51
Figura B.1.5 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 4x.....	51
Figura B.1.6 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 10x.....	52
Figura B.1.7 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras das fibras em μm	52
Figura B.1.8 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras das fibras em μm	52
Figura B.2.1 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 4x....	53
Figura B.2.2 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 10x...	53
Figura B.2.3 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm	53
Figura B.2.4 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm	54
Figura B.2.5 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 4x....	54
Figura B.2.6 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 10x...	54
Figura B.2.7 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras, em μm , das fibras de algodão ilustradas.....	55
Figura B.2.8 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm	55
Figura B.3.1 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 4x.....	56
Figura B.3.2 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 10x.....	56

Figura B.3.3 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm	56
Figura B.3.4 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm	57
Figura B.3.5 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 4x.....	57
Figura B.3.6 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 10x.....	57
Figura B.3.7 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm	58
Figura B.3.8 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm	58
Figura E.1 - Escala usada para avaliar e quantificar o borboto formado à superfície das malhas como resultado dos testes de <i>Martindale</i> e <i>Pilling Box</i>	68
Figura E.1.1 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas <i>Jersey</i> 100% algodão com fios de diferentes títulos.....	69
Figura E.1.2 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas <i>Jersey</i> com diferentes títulos e constituídas fibras de algodão e elastano.....	70
Figura E.1.3 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas <i>Piquet Lacoste</i> com diferentes títulos e constituídas apenas fibras de algodão.....	70
Figura E.1.4 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.....	71
Figura E.1.5 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.....	71
Figura E.1.6 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Martindale</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.....	71
Figura E.2.1 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas <i>Jersey</i> 100% algodão.....	72
Figura E.2.2 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas <i>Jersey</i> com fibras de algodão e elastano.....	73
Figura E.2.3 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas <i>Piquet Lacoste</i> constituídas apenas fibras de algodão.....	73

Figura E.2.4 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.....	74
Figura E.2.5 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.....	74
Figura E.2.5 - Resultados obtidos da aplicação no método de <i>Pilling Box</i> em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.....	74
Figura F.1 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas <i>Jersey</i> constituídas por fibras de algodão, maioritariamente, e elastano.....	75
Figura F.2 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas <i>Piquet Lacoste</i> constituídas por apenas fibras de algodão.....	75
Figura F.3 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas <i>Jersey</i> constituídas por apenas fibras de algodão.....	76
Figura F.4 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.....	77
Figura F.5 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.....	77
Figura F.6 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades e características das superfícies dos diferentes tipos de fios ^[17]	10
Tabela 2 - Resultados obtidos para a medição das espessuras das fibras de algodão de diferentes malhas.....	24
Tabela 3 - Resultados obtidos para os testes de massa por unidade de superfície.....	25
Tabela 4 - Resultados obtidos para os testes de resistência à formação de borboto.....	26
Tabela 5 - Resultados obtidos para os testes de resistência à abrasão.....	28
Tabela 6 - Resultados obtidos para a medição das espessuras das diferentes fibras.....	32
Tabela 7 - Resultados obtidos para os testes de massa por unidade de superfície.....	33
Tabela 8 - Resultados obtidos para os testes de resistência à formação de borboto.....	34
Tabela 9 - Resultados obtidos para os testes de resistência à abrasão.....	36
Tabela 10 - Resultados obtidos para os testes de estabilidade dimensional e espiralidade.....	39
Tabela A.1 - Títulos dados aos fios ou fibras segundo o sistema direto de titulação ^[17]	48
Tabela A.2 - Títulos dados aos fios ou fibras segundo o sistema indireto de titulação ^[17]	49
Tabela C.1.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x.....	60
Tabela C.1.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 40x.....	60
Tabela C.1.3 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.....	61
Tabela C.1.4 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.....	61
Tabela C.2.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20.....	62
Tabela C.2.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 40x.....	62
Tabela C.2.3 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.....	63
Tabela C.2.4 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.....	63

Tabela D.1.1 - Resultados obtidos para medições da gramagem nas diferentes malhas.....	64
Tabela D.1.2 - Análise estatística aos resultados obtidos para os testes de gramagem.....	65
Tabela D.2.1 - Resultados obtidos para medições da gramagem das malhas para as diferentes fibras.....	66
Tabela D.2.2 - Análise estatística aos resultados obtidos para os testes de gramagem das malhas para as diferentes fibras.....	67
Tabela G.1.1 - Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento em malhas com estrutura <i>Jersey</i> constituídas por fibras de algodão, maioritariamente, e elastano.....	78
Tabela G.1.2 - Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento em malhas com estrutura <i>Jersey</i> apenas com fibras de algodão.....	79
Tabela G.1.3 - Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento em malhas com estrutura <i>Piquet Lacoste</i> apenas com fibras de algodão.....	80
Tabela G.1.4 - Análise estatística relativa aos resultados obtidos para a pressão de rebentamento.....	80
Tabela G.1.5 - Análise estatística relativa aos resultados obtidos para a distensão na rotura...	81
Tabela G.2.1 - Resultados obtidos para o tempo até ao rebentamento para as malhas das diferentes fibras.....	81
Tabela G.2.2 - Resultados obtidos para a distensão na rotura para as malhas das diferentes fibras.....	82
Tabela G.2.3 - Resultados obtidos para a pressão de rebentamento para as malhas das diferentes fibras.....	82
Tabela G.2.4 - Análise estatística aos resultados obtidos para a distensão na rotura.....	83
Tabela G.2.5 - Análise estatística aos resultados obtidos para a pressão no rebentamento.....	83
Tabela H.1.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de algodão, usando a lente ampliadora de 20x.....	84
Tabela H.1.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de algodão, usando a lente ampliadora de 40x.....	85
Tabela H.2.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de liocel, usando a lente ampliadora de 20x.....	85
Tabela H.2.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de liocel, usando a lente ampliadora de 40x.....	86

Tabela H.3.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de poliéster, usando a lente ampliadora de 20x.....**86**

Tabela H.2.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de poliéster, usando a lente ampliadora de 40x.....**87**

Notação e Glossário

K	constante do sistema de titulação	
P	peso	g
C	comprimento	m
n	valor numérico do título	
T	título do fio/fibra segundo o sistema direto	
N	título do fio/fibra segundo o sistema indireto	
$\bar{e}$	espessura média	μm
$IC_{\mu,98\%}$	intervalo de confiança da média a 98%	
X	valor individual	
j	tamanho da população	
$Z_{\alpha/2}$	valor crítico adimensional do intervalo de confiança	

Letras gregas

μ	média aritmética
σ_p	desvio padrão relativo à média
σ_p^2	variância relativa à média

Índices

i	índice ou contador
-----	--------------------

Lista de Siglas

GOTS	<i>Global Organic Textile Standard</i>
OCS	<i>Organic Content Standard</i>
GRS	<i>Global Recycled Standard</i>
BCI	<i>Better Cotton Initiative</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
STeP	<i>Sustainable Textile Production</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
NP	Norma Portuguesa
EN	<i>European Norm</i>

Lista de Abreviaturas

S.A.	Sociedade Anónima
PET	Polietilenoteraftalato
TNT	Tecidos não tecidos
MVA	<i>Mesdan Video Analyser</i>
CO	<i>Cotton</i>
EL	<i>Elastane</i>
LY	<i>Lyocell</i>
PES	<i>Polyester</i>
NR	Não Rebentou

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

A indústria têxtil é uma das mais antigas indústrias do mundo. O conhecimento adquirido ao longo das diferentes gerações, em conjunto com a evolução do engenho tecnológico, proporcionaram diferentes formas de explorar matérias-primas e transformá-las em materiais têxteis, os quais ainda hoje, têm grande importância na sociedade. ^[1]

Ao longo dos últimos anos, tem-se verificado um aumento da importância da garantia de melhoria na qualidade de vida das pessoas, melhoria essa que se encontra diretamente relacionada com a constante evolução das diversas indústrias. Nesta constante evolução também se insere a indústria têxtil que, nas últimas décadas, se tem destacado pela produção de têxteis técnicos e inteligentes. Estas evoluções associam, em muitos casos, investigação e desenvolvimento, criatividade e inovação, formação e competência técnica, procurando corresponder às cada vez mais altas, expectativas do consumidor.

Assim, tendo em conta esta evolução, o aumento do conhecimento de base sobre os substratos têxteis a desenvolver torna-se imperativo. É neste contexto que se insere este projeto, uma vez que tem como objetivo estudar as propriedades intrínsecas das fibras têxteis e correlacioná-las com as características físico-químicas de malhas circulares. O estudo realizado engloba a caracterização de fibras de algodão, provenientes de fios com diferentes títulos. Neste estudo está incluída ainda uma análise da morfologia das fibras e diferentes testes de qualidade de malhas produzidas com as fibras em estudo. Adicionalmente, foram ainda estudadas malhas com duas estruturas diferentes em que uma delas incluía, na sua constituição, uma pequena percentagem de elastano. Para efeitos comparativos com a fibra de algodão, foi também realizado, um estudo semelhante ao mencionado anteriormente, com as fibras de liocel e poliéster.

1.2 Apresentação da Empresa

A TINTEX - TEXTILES S.A. nasceu em 1998, em Vila Nova de Cerveira, inicialmente como prestadora de serviços para a indústria têxtil. Atualmente opera no mercado do tingimento e acabamento de malhas, tendo vindo a evoluir gradualmente para a produção e comercialização das suas próprias coleções. A sua jornada começa com o desenvolvimento de malhas de alta qualidade produzidas a partir de fibras naturais, responsáveis e enobrecidas através dos melhores e mais atualizados processos de tingimento e acabamentos.

A sua vocação desde cedo se direcionou para um mercado quase inexistente em Portugal, o das fibras naturais e sustentáveis, começando em 2000 a explorar as potencialidades do liocel, afastando-se assim dos produtos convencionais. Em 2004 avançou para a investigação em fibras *ecofriendly* (naturais/ecológicas), disponibilizando no mercado artigos produzidos com soja, bambu e milho. Em 2006, tendo evoluído na utilização de fibras “especiais”, a TINTEX desenvolve coleção própria. O ano de 2014 destacou-se pela aposta no algodão orgânico e processos enzimáticos mais ecológicos, destacando-se o projeto ALGO.NATUR, que introduziu a coloração por intermédio de enzimas e extratos naturais, do qual se registou a marca a Coloraux®. Entre 2015 e 2017, colocou em marcha a nova linha de mercerização e de *coating*, complementando com investimento na linha de tingimento e tinturaria. Em 2017, apostou no lançamento de uma nova imagem que reflete a identidade e os valores da empresa, *NATURALLY ADVANCED* é o lema.

Nesta rota de sustentabilidade e inovação a implementação de referências de gestão e certificação são um pilar estratégico da atividade e posicionamento da empresa, possuindo atualmente a Oeko-Tex100, GOTS, OCS, GRS, BCI, ISO 9001, ISO 14001 e STeP, tendo recentemente iniciado o processo do BLUESIGN e DETOX.

1.3 Contributos do Trabalho

Este projeto contribuiu positivamente para um conhecimento mais aprofundado das propriedades que as fibras têxteis conferem às malhas das quais são constituintes. Assim, este estudo contribuiu para possíveis projeções/elaborações de malhas com propriedades pré-definidas, o que representa uma mais-valia no desenvolvimento de malhas inteligentes e produtos com propriedades únicas.

O estudo feito nesta dissertação é apenas o início do que pode vir a ser um estudo muito mais ampliado e detalhado, podendo dotar a empresa com conhecimentos documentados muito úteis para o desenvolvimento de projetos internos e coleções próprias. Por outro lado, este estudo e outros semelhantes podem contribuir para a otimização dos processos de acabamento, uma vez que possibilitam uma previsão das características das malhas acabadas tendo em conta as características das malhas em cru.

1.4 Organização da Tese

A presente tese está dividida em 6 capítulos. No capítulo 1, é feito o enquadramento e a apresentação do projeto, incluindo uma breve descrição da empresa e os contributos do trabalho.

No capítulo 2, complementado com o anexo A, salientam-se aspetos teóricos relacionados com o tema deste projeto. Inicialmente, faz-se uma breve descrição das fibras e fios têxteis, assim como das malhas, realça-se a importância das propriedades das fibras têxteis e abordam-se os fundamentos das técnicas de fiação e de tricotagem de malhas.

No capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados para levar a cabo este projeto. Prossegue-se o capítulo 4, onde são apresentados e discutidos os resultados mais relevantes obtidos. Nos anexos B, C, D, E, F, G e H estão contidos todos os resultados obtidos. O anexo I contém as fórmulas matemáticas usadas nos cálculos inerentes a este projeto.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões acerca dos estudos que foram feitos para este projeto.

Finalmente, no capítulo 6, efetua-se uma avaliação geral do trabalho feito, realçando os objetivos alcançados, a realização de trabalhos secundários, as limitações e o trabalho futuro, assim como uma apreciação final do presente projeto.

2 Contexto e Estado da Arte

Estamos rodeados de uma imensa variedade de produtos têxteis com diversas formas, materiais, cores, texturas e funções. No entanto, todos têm em comum o facto de serem produzidos a partir de fibras têxteis, através de métodos de cruzamento e entrelaçamento regular de fios verticais e horizontais.

A evolução da indústria têxtil e a melhoria do nível de vida das pessoas promove um aumento da exigência relativamente aos critérios de compra de vestuário. O consumidor do século XXI procura vestuário com qualidade e valoriza a qualidade das matérias-primas utilizadas no fabrico, a durabilidade, o aspeto e o conforto que o produto lhe proporciona no seu dia-a-dia.

[2 e 3]

2.1 Fibras Têxteis [4]

O conceito de fibra têxtil é definido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) como sendo um termo genérico para qualquer um dos vários tipos de material que formam o elemento de base de um têxtil e é caracterizada como tendo um comprimento de pelo menos cem vezes o seu diâmetro.

As fibras podem ser de origem natural, sintéticas ou regeneradas e dentro destes três grupos, existem dois tipos de fibra: os filamentos contínuos (fibras de comprimento indefinido) e as fibras cortadas (fibras de menor comprimento que os filamentos).

2.1.1 Tipos de fibras têxteis

As fibras naturais, tal como o nome indica, são provenientes da natureza e podem ser de origem vegetal, como o algodão e o linho, de origem animal, como a lã e a seda e de origem mineral, como o basalto. Na sua forma natural, estas fibras contêm impurezas, por isso, são processadas, de forma a que estas sejam removidas e uniformizando o seu comprimento. A modificação química destas fibras pode adicionar diversas propriedades desejadas, como a cor, resistência à chama, *self-cleaning* e propriedades anti-microbianas, entre outras. [4 e 5]

As fibras regeneradas são produzidas com polímeros naturais que, na sua forma original, não são aproveitados na indústria têxtil mas que depois de modificados criam fibras úteis para a mesma. Nesta categoria de fibras têxteis fazem parte as fibras de base celulósica como o liocel, a viscose e o modal. Estas caracterizam-se pelo facto de terem uma textura suave, um brilho único e propriedades distintas de absorção/dessorção. [4 e 5]

As fibras sintéticas são obtidas através de polímeros sintéticos, como por exemplo o poliéster, o elastano, as poliamidas, os acrílicos e o polipropileno. Estas podem ser produzidas livres de

impurezas e proporcionam uma vasta gama de propriedades específicas, dependendo da finalidade pretendida. Estas fibras permitem a obtenção de um produto de fácil manutenção e duradouro. Contudo, o seu maior obstáculo encontra-se no conforto. Deste modo, no fabrico de têxteis tem-se optado por conjugar fibras sintéticas com fibras de origem natural. [5]

Neste projeto, as fibras que irão ser estudadas são o algodão, o liocel e o poliéster. As características e propriedades de cada uma destas fibras será discutida na secção seguinte.

2.1.2 Propriedades e características das fibras têxteis

O algodão é uma fibra têxtil de origem natural vegetal composta maioritariamente por celulose. Existem algodões de diferentes tipos e variedades, e o seu valor têxtil é maior quanto melhor for o aspeto, a resistência e a finura que confere aos fios. Quanto às suas características o algodão distingue-se pelo seu toque suave e agradável. A cor da fibra, em geral, vai desde o branco ao pardacento. Morfologicamente as fibras de algodão são compostas por uma cutícula externa, uma parede secundária e um canal central chamado lúmen. Quanto à resistência térmica, o algodão possui uma fraca retenção do ar, implicando pouca proteção contra o frio e calor. Relativamente às propriedades físicas, as fibras do algodão podem ter diferentes comprimentos e espessuras, dependendo da sua proveniência, do grau de impurezas e do seu estado de maturação. Nas propriedades mecânicas, o algodão apresenta fraca elasticidade, no entanto, mostra-se resistente à abrasão e à rotura. Por fim, nas propriedades químicas o algodão apresenta elevada capacidade de retenção da cor, característica vantajosa nos processos de tingimento, e da humidade, proporcionando conforto ao consumidor final. Por outro lado, os produtos têxteis, fabricados com fibras de algodão, apresentam a desvantagem de possuir elevada tendência a encolher nas lavagens, tornando por isso imprescindível a utilização de tratamentos químicos para contornar essa tendência. [6, 7 e 8]

O liocel é uma fibra regenerada obtida da celulose da polpa da madeira de árvores híbridas, produzidas geneticamente, com a polpa mais branca e de melhor qualidade, que possibilita um tecido/malha com melhor caimento e resistência. Quanto às suas características o liocel é muito macio e suave. Demonstra, no entanto, o inconveniente de fibrilar facilmente, exigindo processos de ultimização diferentes. A fibra de liocel é produzida de forma contínua e uniforme e morfológicamente apresenta uma estrutura cilíndrica composta por uma única camada. Os tecidos/malhas de liocel têm elevado isolamento térmico, sendo frescos no verão e quentes no inverno. No que respeita às propriedades mecânicas é uma fibra excecionalmente resistente tanto à abrasão como à rotura, em ambos estados seco e molhado, possuindo também elevada elasticidade. Relativamente às propriedades químicas, fixa prontamente os corantes, apresenta elevada capacidade de absorção de humidade, reduzidos valores de encolhimento, tendo ainda a vantagem de ser completamente biodegradável. [6, 7, 8 e 9]

O poliéster ou polietilenoteraftalato, também conhecido como tergal é a fibra sintética mais usada no setor têxtil. A matéria-prima para a produção do polímero de PET é o politeraftalato de etilenoglicol. As fibras de poliéster caracterizam-se por serem muito cristalinas, possuir um aspeto vítreo e muito brilhante, e por desenrugarem facilmente, sendo muito usadas em misturas com outras fibras. Em microfibras, os artigos ficam com melhor toque, podendo promover maior absorção de humidade do que a fibra *standard*. Morfologicamente o poliéster, à semelhança do liocel, é produzido sob a forma de fibra contínua e uniforme, apresentando uma estrutura cilíndrica constituída por uma só camada. Quando se fala em propriedades térmicas, o poliéster apresenta um fraco isolamento térmico, propriedade que pode ser melhorada por processos de texturização. Relativamente às propriedades físicas apresenta elevada elasticidade e elevada resistência à rotura, no entanto, possui uma fraca resistência à abrasão e tem tendência à formação de borboto. Quanto às propriedades químicas, apresenta grandes dificuldades no tingimento e reduzido poder de absorção de humidade. Por outro lado, apresenta uma ótima estabilidade dimensional, o que se traduz em reduzidos valores de encolhimento. [6, 7, 8 e 9]

Em resumo, a fibra de algodão morfologicamente é muito diferente das fibras de liocel e poliéster, tanto na estrutura, como no comprimento e espessura. O liocel e poliéster são produzidos artificialmente sob requisitos específicos, sendo normalmente produzidos de forma contínua e uniforme, ao passo que o algodão por sua vez resulta da natureza e a sua morfologia é muito irregular comparada à de fibras artificiais e sintéticas. Na figura 1 podemos observar detalhes da morfologia destas fibras. Quanto à proteção térmica o liocel destaca-se por ser eficaz no isolamento térmico, ao contrário do algodão e do poliéster. Em termos de propriedades mecânicas as três fibras apresentam elevada resistência à rotura, enquanto que na resistência à abrasão o algodão e o liocel são muito mais resistentes que o poliéster. O poliéster é das três fibras a mais elástica, seguindo-se o liocel e depois o algodão, que praticamente não possui elasticidade. Por último, no que respeita a propriedades químicas o algodão e o liocel destacam-se, pois ao contrário do poliéster, têm elevada facilidade de tingimento e absorvem muito bem a humidade. No entanto, e como seria de esperar devido à sua natureza, o algodão apresenta baixa estabilidade dimensional comparado com as outras fibras, resultando em elevados valores de encolhimento.

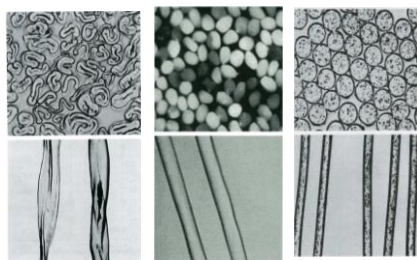


Figura 1 - Corte transversal e visão longitudinal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente, observadas com uma ampliação de 500x. [10]

Quando surge a necessidade de fios, tecidos ou malhas com propriedades não encontradas numa única fibra fazem-se combinações de duas ou mais fibras, de tal modo que as propriedades desejáveis se conjuguem, minimizando as propriedades indesejáveis. [8]

A mais antiga mistura surgiu na Inglaterra, constituindo-se, geralmente, de 55% de linho e de 45% de algodão, esta mistura é também conhecida por meio-linho. O meio-linho oferece tanto a suavidade do algodão, como a beleza autêntica do linho, é um tecido nobre, resistente e muito confortável. [11 e 12]

As misturas com a fibra de liocel também são muito frequentes, pois esta fibra pode ser misturada com outras fibras com o intuito de melhorar as características dos fios e tecidos em termos de desempenho e estética. Uma das misturas mais comuns é a mistura íntima de 67% liocel e 33% de algodão. Esta mistura resulta em fios com um toque muito macio e suave com excelentes propriedades mecânicas e químicas, sendo extraordinariamente resistente e com elevados poderes de absorção. [8]

As misturas com fibras sintéticas, como o poliéster, a poliamida, o modal, a viscose, o elastano, entre outras, são das mais comuns. É muito frequente encontrar misturas com elastano. Esta fibra é capaz de esticar 600% sem romper e é usada, principalmente, em misturas com fibras naturais, para conferir às malhas elasticidade, leveza e flexibilidade, sem atrapalhar o movimento. No entanto, a durabilidade desta fibra é menor que a das restantes fibras. [8 e 13]

2.2 Fiação

A fiação compreende um conjunto de operações mecânicas necessárias à transformação das fibras em fios, que na maioria dos casos se apresentam de forma desordenada, entrelaçadas, em fios de secção o mais circular possível. [14]

Existem dois princípios fundamentais de fiação: o convencional e o não convencional, ilustrados na figura 2. O primeiro é conhecido por fiação de anel, que pode produzir, simultaneamente, até um máximo de 1100 bobinas, sendo cada unidade de fiação conhecida por fuso. O segundo é exemplificado pela fiação a rotor, conhecida como fiação *Open End*, que ao contrário do processo de anel, produz cerca de 300 bobinas em simultâneo, mas a velocidades muito superiores. [15]

2.2.1 Fiação convencional

A fiação dos fios fiados, também designada por fiação convencional ou fiação de anel, dá origem a diversos tipos de fios, de acordo com o sistema de fiação utilizado, nomeadamente, sistema de fiação de fibras curtas, algodoeiro, ou sistema de fiação de fibras longas, laneiro. [14]

Quando se pretende transformar um aglomerado de fibras de comprimento limitado num fio, é necessário efetuar um conjunto de operações que podem variar de acordo com a fibra a tratar, o produto a obter e o processo de fiação utilizado. Assim, dentro do sistema algodoeiro,

podemos dar origem a fios cardados e fios penteados, e dentro do sistema laneiro a fios cardados, fios semipenteados e fios penteados. ^[14 e 15]

Na fiação em anel, podem produzir-se fios com uma menor quantidade de pelos. Para isto recorre-se a fiação por compactação. Esta tecnologia faz com que as pontas das fibras fiquem mais próximas do corpo do fio, exigindo uma menor torção, resultando em fios com mais resistência, elasticidade e brilho. ^[16]

2.2.2 Fiação não convencional ^[16]

Existem vários métodos de fiação não convencionais, como por exemplo, o método rotor (*Open End*) e o jato de ar e fricção. No entanto o mais utilizado e com grande sucesso comercial é o método de fiação por rotor (*Open End*). Um das razões está relacionada com a melhor performance que apresenta para fibras curtas.

O processo *Open End* possui este nome por fundamentar-se na produção de fios de fibras descontínuas por um método no qual a ponta da fita, ou da mecha, é aberta e separada, individualizando as fibras que a compõem, sendo depois reconstituída no dispositivo de fiação, com o fim de formar o fio. A fiação a rotor consiste na produção do fio diretamente do feixe de fibras alimentado. Uma das maiores vantagens da fiação por rotor é o facto da torção efetuar-se em separado do enrolamento do fio, o que permite aplicar elevadas velocidades no mecanismo de torção, enquanto o enrolamento acontece a uma velocidade muito mais baixa, agredindo menos as fibras que o compõem o fio. No entanto, uma desvantagem deste sistema é que, quanto maior for o número de fibras na alimentação, pior será a qualidade do fio resultante.

O processo de fiação a jato de ar (*Jet Spinner*) baseia-se num processo inicial de estiramento do feixe de fibras, antes de formar o fio, o que irá “afinar” a massa de fibras. Uma das grandes vantagens desta tecnologia em relação às já mencionadas é a alta velocidade de produção, que chega a ser duas vezes superior à velocidade conseguida na fiação a rotor e vinte vezes superior à da fiação de anel. Porém, esta tecnologia apresenta algumas limitações, sendo de destacar não ser possível produzir fios muito grossos. Os fios obtidos apresentam um toque áspero e existe cerca de 5% de perdas de fibras durante a etapa de fiação.

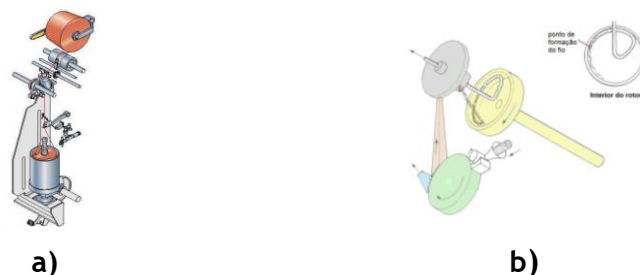


Figura 2 - a) Representação esquemática da fiação em anel, fiação convencional ^[15]. b) Representação esquemática da fiação a rotor, fiação não convencional. ^[15]

2.3 Fios Têxteis

Entende-se por fio têxtil o produto final da etapa de fiação, ou seja, toda estrutura de densidade linear constante, sob controlo, denominada título, que tenha propriedades específicas para uso têxtil, como: tecidos planos, tecidos de malhas, tecidos técnicos e fios para uso geral. ^[16 e 18]

2.3.1 Tipos de fios têxteis

Os fios têxteis estão classificados, essencialmente, em dois tipos, fios fiados e filamentos contínuos. Todos os outros resultam de um destes, diferenciando-se por características particulares. ^[18]

O fio fiado trata-se de um fio construído a partir de fibras cortadas e descontínuas, de comprimento previamente definido, que são classificadas de fibra curta ou fibra longa, dependendo do seu comprimento. Estas fibras são alinhadas paralelamente e torcidas entre si com o fim de garantir uniformidade, toque, volume e resistência. ^[18]

Um dos tipos de fios mais comum é o fio singelo. O fio singelo consiste num fio fiado constituído por um único cabo que apresenta uma vasta variedade de formas. Os mais comuns são o fio anel, também conhecido por fio convencional, em que anel é alusivo à fiação em anel, fio *Open End*, fio obtido pelo processo de fiação *Open End* e fio Vortex, fio obtido pelo processo de fiação a jato de ar. O fio Vortex é mais uniforme que os fios Open End e Anel. As fibras no núcleo do fio Vortex estão dispostas em paralelo e sem torção, proporcionando ao fio maior flexibilidade, menor tendência à formação de borboto e mais rapidez na absorção/dessorção de água. ^[19] O fio cardado é obtido pelo processo mais curto da fiação, na qual são eliminadas somente as fibras e as impurezas prejudiciais ao processo e à sua utilização. O fio penteado é obtido a partir do sistema algodoeiro ou do sistema laneiro, é produzido com fibras mais compridas, uma vez que há possibilidade das fibras mais curtas serem eliminadas durante o processo. Na produção deste fio as fibras são selecionadas de acordo com a utilização final do fio, resultando num produto de maior valor agregado. O fio retorcido resulta da junção de dois ou mais fios singelos, conhecidos também por cabos, por meio da torção, a fim de garantir um novo fio, mais uniforme. Para além dos fios retorcidos numa só operação, é também possível obter fios com mais que um processo de torção. Estes podem ser lisos ou feitos de fios com diferentes cores e volumes. ^[13 e 17]

Tabela 1 - Propriedades e características das superfícies dos diferentes tipos de fios. ^[17]

Aspeto	Fio Fiado			Multifilamento			Monofilamento
	Anel (convencional)	Rotor (Open End)	Vortex (ar)	Liso	Texturizado	Tangleado	
Volume	+	±	+	-	+	±	+
Toque	+	±	+	-	+	±	-
Pilosidade/ Fibrilação	-	±	+	+	+	+	+
Brilho	+	±	±	+	-	±	+
Tenacidade	+	±	-	+	+	±	+

2.3.2 Particularidades dos fios têxteis

Nesta secção, serão tratadas algumas terminologias usadas para os fios, como título, torção, texturização, *intermingle* e fios especiais.

O título é o nome adotado para definir a densidade linear, ou seja, a relação entre massa e comprimento de um produto da fiação, usado geralmente para definir a sua espessura. Seguindo padrões internacionais, são adotados dois sistemas de titulação para a definição de um fio têxtil, sendo eles: sistema direto e sistema indireto. ^[17]

O sistema direto é usado na maioria das vezes para definir a densidade linear de um fio ou fibra, em que o título é diretamente proporcional ao peso, ou seja, quanto maior a massa, maior o título e, conseqüentemente, mais grosso será o fio/fibra. A relação utilizada é massa por comprimento. A fórmula matemática para a obtenção do título é

$$K P = C n T \quad (1)$$

em que K é uma constante que depende do título, P é o peso em gramas, C o comprimento em metro, n é o valor numérico do título e T é o título do fio/fibra. ^[15,17 e 18]

O sistema indireto é usado para definir a densidade linear de um fio fiado, em que o título é inversamente proporcional ao peso, ou seja, quanto maior a massa, menor o título e, conseqüentemente, mais fino será o fio. A relação utilizada é comprimento por massa. A fórmula matemática para a obtenção do título, segundo este sistema é

$$C K = P n N \quad (2)$$

em que C é o comprimento em metros, K é uma constante que depende do título, P é o peso em gramas, n é o valor numérico do título e N é o título do fio/fibra. ^[15,17 e 18]

No anexo A podemos encontrar a nomenclatura usada para os títulos de fios ou fibras segundo o sistema direto e sistema indireto.

Na atribuição do título dos fios, para além do valor numérico do título, é necessário também indicar o número de fios singelos, ou cabos que constituem o fio. O número de cabos é apresentado a seguir ao valor numérico do título do fio separado por uma barra oblíqua.

A torção é o ato de girar um feixe de fibras paralelas ou dois ou mais fios em torno do próprio eixo a fim de garantir resistência e uniformidade, controlando o toque e o volume do fio. Assim a resistência do fio pode aumentar ou diminuir, dependendo da quantidade de torção aplicada. A uniformidade é responsável pela aparência do fio, que resultará na qualidade de acabamento do artigo final. O toque é responsável pela maciez do produto fabricado com o fio e o volume é um dos aspetos físicos responsáveis pelo fator de cobertura, ou seja, pela proximidade (“aperto”) dos fios na construção do produto têxtil. A torção é definida pelo seu sentido, S (esquerda) ou Z (direita) - Figura 3, e pelo número de voltas aplicadas. ^[15 e 17]



Figura 3 - Direções da torção Z e S. ^[20]

A texturização é um processo físico, de preparação para o tingimento, que permite aos fios aumentar de volume, elasticidade e diminuição do seu brilho. Existem vários processos de texturização de fios e os mais importantes são a texturização por falsa torção ou a discos e a texturização por jato de ar. ^[17]

O *intermingle* consiste em criar, através de jatos de ar, pontos equidistantes nos fios, com o fim de facilitar e garantir a união dos mesmos nos processos de tecelagem e malharia. ^[17]

Os fios especiais são produtos têxteis aos quais são adicionados efeitos intermitentes em termos de torção, espessura (título), textura e cor. A finalidade é conferir aos fios características diferenciadas dos restantes fios. Os fios especiais mais comuns são o fio almado, também conhecido como *Core Yarn*, fio recoberto, fio regular e fio fantasia. ^[14 e 17]

2.4 Malhas

Na indústria têxtil existem, essencialmente, três estruturas base, os tecidos, as malhas e os tecidos não tecidos (TNT). Destes três tipos resultam todas as outras formas de produção de têxteis. ^[21]

Os tecidos e as malhas são essencialmente aplicados na indústria de vestuário e de têxtil lar, enquanto os não tecidos são muito utilizados na indústria automóvel, em medicina, como descartáveis, em revestimento de cabos elétricos, em têxteis para a construção civil, entre outros. ^[21 e 22] As malhas diferenciam-se dos tecidos, principalmente na estrutura, pois no caso

dos tecidos os fios que as constituem mantêm-se esticados e cruzam-se formando uma estrutura rígida, que resulta num produto final muito resistente, ao passo que nas malhas são estruturas produzidas através do entrelaçamento de fios utilizando técnicas de formação laçadas. Existem duas famílias de malhas, as malhas em trama e as malhas em teia. As malhas em trama são produzidas a partir de um ou mais fios de trama que são transformados em malhas, formando uma linha horizontal de laçadas, sendo possível desfiá-los. As malhas em teia são produzidas a partir dos fios provenientes de uma ou mais teias que são transformadas em malha formando uma linha vertical, não sendo possível, geralmente, de desfiar. Na figura 4, estão ilustradas as estruturas de malhas em trama e de malhas em teia. [23 e 24]

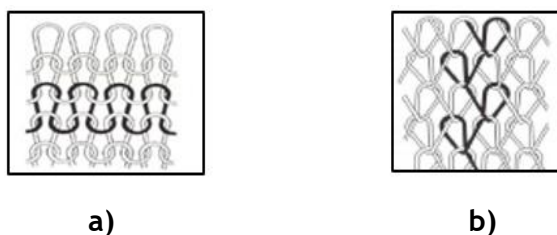


Figura 4 - a) Representação esquemática da malha em trama. [24] b) Representação esquemática da malha em teia. [24]

A laçada é o elemento base das malhas e resulta da deflexão a que um fio é sujeito pelos elementos tricotadores. Existem três tipos de laçadas, a laçada normal onde trabalham todas as agulhas, a laçada carregada onde a agulha junta dois fios numa só laçada e laçada flutuante onde a agulha não trabalha. Em malharia é também importante o conceito de fileiras e colunas. Fileira refere-se à linha horizontal e coluna refere-se a linha vertical, formada pelas laçadas. [23]

As malhas possuem várias vantagens, quando comparadas com os tecidos e não tecidos. Possuem bastante elasticidade e flexibilidade o que possibilita a sua adaptação ao movimento do corpo. São estruturas bastante porosas, uma vez que, os espaços formados entre as laçadas absorvem o suor e facilitam a transpiração, por outro lado, retêm o calor no seu interior, atuando como isolante térmico. De modo geral, as malhas têm um processo de produção mais simples que os tecidos e os não tecidos, e muitas vezes com pequenas alterações na construção da estrutura conseguem-se obter artigos com características diferenciadoras para diversas aplicações. No entanto, também apresentam algumas desvantagens, sendo as mais comuns a deformação e o enrolamento. A deformação ocorre quando a elasticidade e a flexibilidade são mal controladas, provocando encolhimentos ou alargamentos na estrutura, devido à sua baixa estabilidade dimensional. Uma das formas de minimizar este inconveniente é a adição de uma fibra elástica, por exemplo elastano, na construção da malha, visando o retorno do tecido à sua posição original, uma vez cessada a tensão. O enrolamento é uma tendência que algumas

malhas possuem, devido à sua estrutura, a enrolar-se nas margens. Este fenómeno é prejudicial para os processos de confeção. ^[21 e 25]

2.4.1 Estruturas fundamentais das malhas

As estruturas fundamentais de malhas de trama são três o *Jersey*, o *Rib 1x1* e o ponto esquerdo - Figura 5. Todas as outras estruturas são derivadas destas três. ^[24]

O *Jersey*, também conhecido por ponto de meia, caracteriza-se pelo avesso e o direito apresentarem aspetos diferentes. Esta estrutura é caracterizada por ser versátil e de fácil fabrico, sendo possível com pequenas alterações, no modo de fabrico, criar padrões e listrados muito diferentes. Não é uma estrutura rígida e adapta-se facilmente ao corpo, proporcionando conforto ao consumidor. É, por isso, muito usada em “tecidos” *jersey*, produção de meias de senhora, *t-shirts*, roupa interior e confeções “*fully fashion*”. No entanto, possui baixa extensibilidade e tende a enrolar nas pontas. De entre os derivados de *Jersey*, os mais comuns são *Piquet Lacoste*, felpa italiana, felpa americana e felpa peluche. ^[23 e 24]

No *Rib*, o avesso e o direito têm aspetos iguais e esta estrutura é muito usada em extremidades de roupa (punhos, golas, cintos). Esta estrutura possui grande extensibilidade e elasticidade no sentido da largura o que permite criar bolsas de ar no seu interior para reter o calor. A cada *Rib* está associada uma nomenclatura constituída por dois números, o *Rib 1x1* é a estrutura mais comum. O primeiro número designa o número de colunas formadas na frente da malha e o segundo número designa o número de colunas formadas no avesso. Estes números são determinados pelo agulhamento do tear ou por seleção de agulhas. Um dos derivados mais frequentes do *Rib* é o *Interlock*, que consiste em dois *Rib 1x1*, a meio jogo, com laçadas cruzadas, originando uma estrutura equilibrada, macia e estável. ^[23 e 24]

As malhas de ponto esquerdo têm na sua formação laçadas em sentidos opostos na direção das fileiras. Este tipo de malhas é produzido com agulhas de duas cabeças. No ponto esquerdo também há uma nomenclatura formada por dois números, em que o primeiro número designa o número de fileiras consecutivas formadas no direito e o segundo o número de fileiras consecutivas formadas no avesso. A estrutura mais simples é o 1x1, em que há repetição de laçadas normais em fileiras alternativas no direito e no avesso da malha. Esta estrutura é muito usada em camisolas exteriores e roupas de bebé, pois simula artigos feitos a mão. ^[20 e 24]

Nas malhas podemos obter vários efeitos através da variação da estrutura, alterando fatores como a combinação de pontos, o relevo, os rendados entres outros. Pode também jogar-se com a variação de cor, através de riscas (verticais ou horizontais), quadrados em xadrez, vanissados, intarsias e *Jacquards*, sendo possível também a combinação das duas. ^[20,23,24,25 e 26]

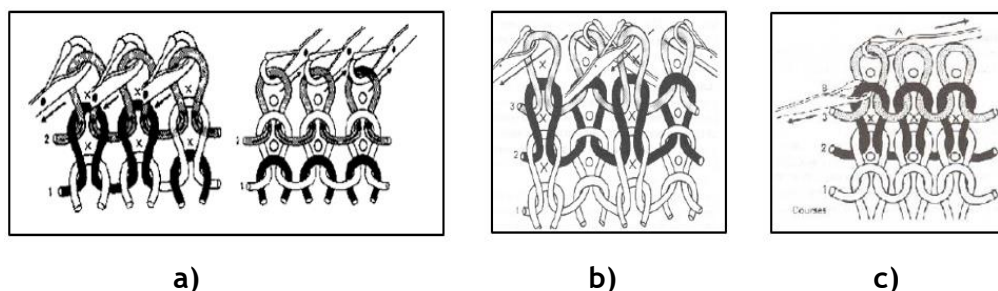


Figura 5 - a) Direito e avesso, respetivamente, da malha Jersey. ^[24] b) Malha Rib 1x1. ^[24] c) Malha de ponto esquerdo 1x1. ^[24]

2.4.2 Propriedades fundamentais das malhas ^[24]

As principais propriedades das malhas estão relacionadas com parâmetros técnicos e características de qualidade. As propriedades, normalmente, mais controladas são a gramagem, largura, aspeto, toque, elasticidade, estabilidade dimensional, espiralidade, resistência à formação de borboto, resistência ao rebitamento e solidez das cores. Estas propriedades são influenciadas pelo título, a composição, a qualidade e cor dos fios, o comprimento da laçada, a estrutura da malha, a densidade estrutural (número colunas por cm ou número fileiras por cm), o processo produtivo e o processo de enobrecimento.

2.4.3 Tecnologias usadas em malharia

Em tricotagem, para cada tipo de malha que se deseja produzir, existe um tipo de máquina específico e cada grupo de máquinas está relacionado com um processo de tricotagem diferente, ou seja, com a forma como se entrelaçam os fios para formar a malha.

As máquinas de tricotar, ou teares, separam-se em dois grandes grupos, os teares de produção de malha a metro e os teares para fabricação de peças, de acordo com a forma como a malha é depois entregue à confeção. Os primeiros caracterizam-se por produzir malha ininterruptamente, com largura constante, sendo o comprimento apenas limitado pela conceção do mecanismo de enrolamento da malha, se o houver. Regra geral são utilizados os teares circulares de grande diâmetro, devido à sua elevada capacidade de produção. O segundo tipo de tear, destinado à fabricação de peças, é caracterizado por dispor de dispositivos especiais para coordenar a ação de tricotagem durante a produção sequencial de peças, de forma a aumentar ou diminuir a largura da peça, conforme os requisitos pretendidos. ^[25 e 27]

Considerando a produção de malha a metro, existem de acordo com a sua conceção e arranjo dos sistemas de cones, dois tipos de teares: os teares retos e os teares circulares, podendo este último ser classificado de grande, médio e pequeno diâmetro. ^[25 e 27]

Os teares retos são as máquinas de tricotar mais versáteis dos teares de trama, permitindo produzir quase todos os tipos de estrutura. Existem quatro tipos fundamentais: os teares em V,

teares de ponto esquerdo, teares com uma bancada e os teares unidireccionais com multicarros, sendo o mais frequente o tear em V. Estes teares são equipados com entre dois a quatro sistemas de cames, um por bancada, estes sistemas são concebidos simetricamente, de maneira a realizarem as mesmas operações de tricotagem nos dois sentidos do movimento. Devido à natureza do seu movimento, intermitente, a produtividade dos teares retos não é muito elevada. Por outro lado, a produção é limitada pela largura do tear, a disposição dos guia-fios, o percurso do fio e acomodação dos cones. No entanto, a possibilidade de alterações nos sistemas de cames oferece uma grande versatilidade, como, por exemplo, *intarsias*, *ajours* e *arans*, principalmente após a sua automatização. [23 e 27]

Os teares circulares caracterizam-se por ter os sistemas de agulhas dispostos de forma circular, em cilindro ou em discos. Estes teares utilizam qualquer tipo de agulha e são capazes de produzir uma gama muito grande de estruturas. A vantagem destes teares é a produção de estruturas pouco vulgares e de alta qualidade, embora de baixa produtividade. O tear circular de cilindro rotativo e agulhas de lingueta é muito comum na produção de malha a metro, devido, principalmente, à sua elevada produtividade. Existem dois tipos destes teares: o tear de topo aberto - *Jersey* e o tear de disco e cilindro. No primeiro caso, as agulhas encontram-se alojadas no cilindro e no segundo caso, estas encontram-se no cilindro e no disco. Os teares de topo aberto permitem a produção de todas as estruturas *Jersey*, a figura 6 mostra uma representação esquemática deste tear e os teares de disco e cilindro permitem produzir as estruturas *Rib*, *Interlock* e ainda algumas estruturas especiais. [27]

Quando se pretende produzir malhas em teia os teares mais frequentes para a sua produção são o tear *Kettenstuhl* e tear *Raschel*. [25]

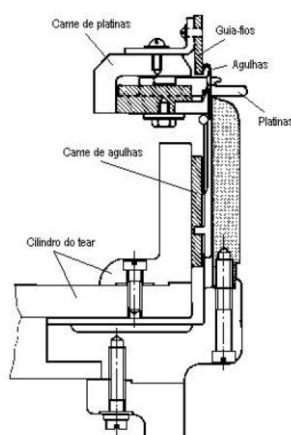


Figura 6 - Corte transversal de um tear circular de topo aberto - *Jersey*. [25]

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

- Fios

Neste estudo foram usados diferentes tipos de fios. Numa primeira parte, em que o estudo foi focado nas fibras de algodão, foram usados fios convencionais de algodão provenientes de malhas circulares. Sendo que a diferença entre os fios se encontrava no título e na estrutura e composição da malha de onde provinham. Na segunda parte do estudo, foram utilizados fios convencionais de diferentes fibras com título 30/1 Ne. Foram utilizados três diferentes fios sendo que cada um deles continha 100% de cada uma das fibras em estudo na sua constituição. Assim sendo, foi utilizado um fio de 100% algodão, um fio de 100 % liocel e um fio 100 % poliéster.

- Malhas

As malhas utilizadas para este estudo tinham duas diferentes estruturas, nomeadamente, *Jersey* e *Piquet Lacoste*, tendo sido estudada a estrutura *Jersey* na sua forma original e complementada com fibras de elastano.

Numa primeira parte deste trabalho, onde o estudo se focou na fibra de algodão, foram utilizadas sete malhas circulares com estrutura *Jersey*, três malhas circulares com estrutura *Piquet Lacoste* e duas malhas circulares com estrutura *Jersey-Elastano*. Estas malhas distinguiam-se, não só pela estrutura, mas também pelo título do fio que as constituía. Na segunda parte deste trabalho, foram utilizadas no total nove malhas, uma vez que foram estudadas as propriedades das fibras de algodão, liocel e poliéster em cada uma das estruturas acima mencionadas.

3.2 Métodos

- Sistema de estudo da morfologia das fibras

No estudo da morfologia das fibras foi utilizado um microscópio ótico *Leica*, mais propriamente, *DM1000 LED*. Este equipamento, representado na figura 7-a), possuía quatro lentes ampliadoras com uma ampliação de quatro, dez, vinte e quarenta vezes. O *software Mesdan Video Analyser* permitiu seguir em direto no ecrã do computador a imagem ou vídeo do que estava a ser captado pelo equipamento.

Este estudo foi dividido em duas etapas. A primeira etapa focou-se na fibra de algodão, tendo sido utilizadas um total de doze malhas e foram estudadas duas amostras por malha. Na segunda etapa, onde foram estudadas três fibras diferentes, foram estudadas seis amostras de cada fibra.

O procedimento experimental foi semelhante em ambas as etapas, sendo que para cada amostra foi estudada a morfologia externa e interna das fibras. Para o estudo da morfologia externa foram preparados vários provetes, tendo sido necessário desfilar os fios, para poder obter um aglomerado de fibras soltas. De seguida, as fibras foram colocadas sobre uma lamela de vidro junto com uma gota de líquido impregnante. Seguidamente, foi feito o espalhamento das fibras sobre a lamela. No final do espalhamento foi colocada uma lâmina de vidro mais fina sobre as fibras, e o resultado foi analisado ao microscópio. Para o estudo da morfologia interna foi necessário cortar transversalmente as fibras. Assim, foi necessário utilizar a placa metálica da figura 7-b), que apresentava as mesmas dimensões de uma lâmina de vidro. A particularidade desta placa é que apresentava três perfurações de diferentes diâmetros - assinalados na figura 7-b). O procedimento experimental consistiu em desfilar uma amostra de fibras e fazê-la passar por uma das perfurações, de modo a que a perfuração ficasse totalmente preenchida. De seguida, com uma lâmina afiada, foi removido o excesso de fibras. De forma, que a amostra a analisar tivesse a mesma espessura da placa. Por último, a placa metálica foi colocada sobre uma placa de vidro e as fibras cortadas foram observadas no microscópio.



a)



b)

Figura 7 - a) Microscópio ótico usado neste estudo. **b)** Placa metálica usada no estudo dos cortes transversais.

- **Determinação da massa por unidade de superfície de malhas**

A determinação da massa por unidade de superfície das malhas, conhecido por teste de gramagem, foi feita segundo a norma NP EN 12127 (1999) - Determinação da massa por unidade de superfície em amostras de pequenas dimensões. Este teste foi feito recorrendo a um

dispositivo de corte, chamado gramador - figura 8. As amostras obtidas eram de forma circular e com uma área de 1 dm². Posteriormente foi medida a massa das amostras numa balança digital. Seguindo a norma foram cortadas e pesadas, individualmente, cinco amostras por ensaio, rejeitando amostras com desvios de massa significativos.

O teste de massa por unidade de superfície é um teste importante no controlo de qualidade das malhas. Este teste pode ser feito em diferentes etapas do processo de acabamento das malhas. E os seus resultados podem ser úteis na compreensão de como os diferentes processos afetam a massa por unidade de superfície da malha. Permitindo, sempre que necessário, a realização de ajustes nos processos, de forma a assegurar que a gramagem do produto final se encontra dentro da gama de valores pretendidos.



Figura 8 - Dispositivo de corte, gramador, usado nos testes de massa por unidade de superfície.

- **Estabilidade dimensional e Espiralidade**

Os testes de estabilidade dimensional e espiralidade são testes de controlo de qualidade das malhas. São feitos, geralmente, para controlar o encolhimento e a torção das malhas, simulando uma lavagem e secagem doméstica. Estes testes são muito importantes em controlo de qualidade de malhas, pois permitem prever a estabilidade dimensional do produto final construído com a malha, no seu uso quotidiano.

A norma seguida para marcação e medição dos testes de estabilidade dimensional e espiralidade foi a NP EN ISO 5077 (2008) - Determinação das variações dimensionais na lavagem e secagem. O processo experimental consistiu em cortar uma amostra de malha e marcá-la, com o esquadro da figura 9 - a), cujas dimensões e distância entre as marcas são as estabelecidas pela norma. De seguida foi cortado o excesso de malha e foram costurados três dos lados marcados, formando um “saco”. Posteriormente os “sacos” foram lavados em tambor a 40°C e secados em corda. Usando a régua da figura 9 - b) foi medido o encolhimento e torção das amostras. Esta régua foi construída de maneira a que da sua leitura se retirem os valores percentuais de encolhimento e torção.



Figura 9 - a) Esquadro usado para fazer as marcações dos testes de estabilidade dimensional e espiralidade. **b)** Régua usada para medir os valores de encolhimento e torção das malhas.

- **Sistema de estudo da resistência à formação de borboto**

Os testes de resistência das malhas à formação de borboto são testes de qualidade, que se realizam para determinar a formação de aglomerados de fibras sob a ação da fricção. E permitem quantificar a resistência e a propensão das malhas à formação de borboto, permitindo o seu controlo e otimização.

Neste trabalho a formação de borboto foi estudada usando o método de *Martindale* e *Pilling Box*. As normas utilizadas foram a NP EN ISO 12945 - 1 (2004) e NP EN ISO 12945 - 2 (2004). Determinação da propensão dos tecidos ao aparecimento de pelo na superfície, borboto. Parte I: Método de *Pilling Box* e Parte II: Método de *Martindale*.

O método de *Pilling Box* consiste em submeter quatro amostras de malha iguais, devidamente colocadas nos provetes a ciclos rotativos, dentro de uma caixa do dispositivo, promovendo a fricção com as paredes do dispositivo e entre as quatro amostras. O procedimento experimental para este método consistiu em marcar, com o auxílio de um esquadro, quatro amostras por malha. Seguidamente, as amostras foram costuradas, individualmente, tendo em atenção a posição das fileiras das malhas. Sendo que duas amostras foram costuradas com as fileiras horizontais à costura e duas com as fileiras verticais à costura. Uma vez costuradas, cada amostra foi colocada num porta-amostras, com a costura para o lado de dentro e as bordas foram coladas assegurando que as amostras se mantinham no porta-amostras durante o teste. Finalmente, foram colocadas as quatro amostras de cada malha, numa caixa do equipamento de *Pilling Box* - figura 10 e uma vez carregadas as caixa, foram submetidas a 11000 ciclos de rotação das caixas.

O método de *Martindale* permite friccionar duas amostras de malha iguais entre si para um determinado número de ciclos rotativos. Para o método de *Martindale* foram feitos dois ensaios por malha. Os ensaios foram cortados usando um dispositivo do equipamento *Martindale* - figura 11, que cortou amostras circulares com a área específica para colocar no equipamento. Este

equipamento permitiu a fricção de duas amostras da mesma malha durante 2000 ciclos. Os resultados foram avaliados recorrendo a uma escala de borbotos- figura E.1 do anexo E, que classifica de um a cinco, de modo decrescente o borbotó formado à superfície da amostra de malha.



Figura 10 - Equipamento utilizado no método de *Pilling Box*.



Figura 11 - Equipamento *Martindale* preparado para o teste de formação de borbotó.

- **Sistema de estudo da resistência à abrasão**

O teste de resistência à abrasão é um teste de qualidade em que é realizado e avaliado o desgaste das malhas por fricção contra um tecido abrasivo. Neste projeto, foi estudada a resistência à abrasão pelo método de *Martindale* - tecido contra tecido, seguindo a norma NP EN ISO 12947 - 2 (2012): Determinação da resistência de tecidos à abrasão pelo método de *Martindale*. Parte 2: Determinação da deterioração do provete.

O procedimento experimental consistiu em cortar duas amostras por malha, recorrendo a um dispositivo do equipamento *Martindale* em modo abrasão - figura 12. As amostras obtidas eram de forma circular e a sua área era a específica para introduzir no equipamento. De seguida, as amostras e os tecidos abrasivos foram colocados no equipamento e foram submetidos a 8000 ciclos rotativos. Os resultados foram avaliados recorrendo à escala de borbotos que foi usada no teste de resistência à formação de borbotó, este método de avaliação da resistência à abrasão é um método interno.



Figura 12 - Equipamento *Martindale* preparado para o teste de abrasão.

- **Sistema de estudo da resistência ao rompimento**

O teste de resistência ao rebentamento é um teste de qualidade que mede a força necessária ao rompimento da malha. Neste estudo, foram medidas a pressão pneumática e a distensão na rotura. O equipamento utilizado para a realização deste teste foi o eclatómetro de membrana com acionamento pneumático. A norma utilizada foi a NP EN ISO 13938-2 (2001): Propriedades de rebentamento de tecidos. Parte 2: Método pneumático para a determinação da resistência ao rebentamento e da distensão no rebentamento.

O procedimento experimental consistiu em cortar uma amostra de cada malha e recorrendo ao eclatómetro de membrana - figura 13, foram provocados três rebentamentos, em três zonas afastadas da amostra. O ensaio de rebentamento apenas era válido se o rebentamento tivesse ocorrido entre os 15 e os 25 segundos. As medições de pressão de rebentamento e distensão na rotura foram medidas, automaticamente, pelo equipamento.



Figura 13 - Eclatómetro de membrana pneumática utilizado para o estudo da resistência ao rompimento.

4 Resultados e Discussão

Nesta secção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através das técnicas previamente descritas. Assim sendo, os resultados e a respetiva discussão foram organizados em duas partes. Uma vez que o algodão é uma das matérias-primas mais frequentes nas produções e criações da TINTEX-TEXTILES S.A., na primeira parte é apresentado o estudo realizado para diferentes fibras de algodão provenientes de malhas circulares em cru desta empresa, às quais se fizeram diferentes testes de qualidade. Na segunda parte deste trabalho, apresentam-se os resultados do estudo de três fibras diferentes (o algodão, o liocel e o poliéster), assim como os resultados obtidos dos testes de qualidade feitos a malhas construídas com as fibras mencionadas em diferentes estruturas, sendo que algumas das malhas continham 7% de elastano na sua constituição. Este segundo estudo torna-se importante, pois permite comparar características e propriedades das fibras, assim como das malhas com elas construídas. Este conhecimento pode ser uma mais-valia na previsão e otimização das características e propriedades das malhas.

4.1 Caracterização de fibras de algodão e a sua correlação com as propriedades físico-químicas de malhas circulares

4.1.1 Morfologia das fibras de algodão

Através de análise microscópica, foi possível fazer um estudo da morfologia das fibras de algodão, mais concretamente, foi analisada a vista longitudinal e corte transversal das fibras. Recorrendo ao *software* MVA foi possível o cálculo dos diâmetros externos de várias fibras. Na figura 14 podemos observar imagens captadas de algumas fibras de algodão, na sua vista longitudinal. Neste caso, foram usadas duas lentes ampliadoras, com um aumento de vinte e quarenta vezes.

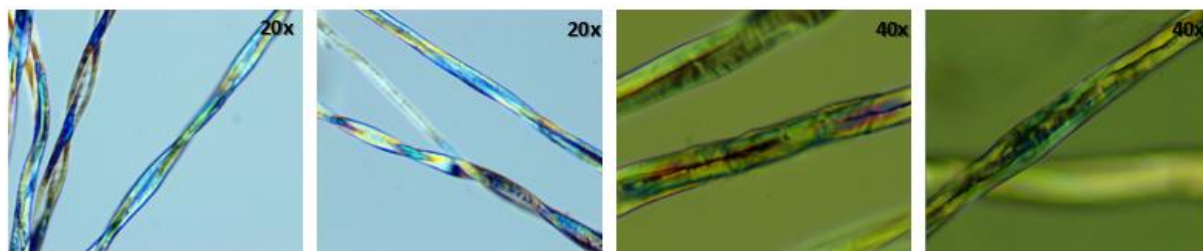


Figura 14 - Vista longitudinal da fibra de algodão.

Nas imagens apresentadas, é possível observar vários detalhes da morfologia da fibra. Das várias características morfológicas que caracterizam o algodão, destacam-se a sua forma irregular, com alguma concavidade ao longo do comprimento, a espiralidade e a espessura variável ao longo do comprimento e de fibra para fibra.

Na figura 15 estão apresentadas duas capturas das imagens obtidas para o corte transversal das fibras de algodão. Estas imagens foram obtidas com uma ampliação de vinte e de quarenta vezes, respetivamente.

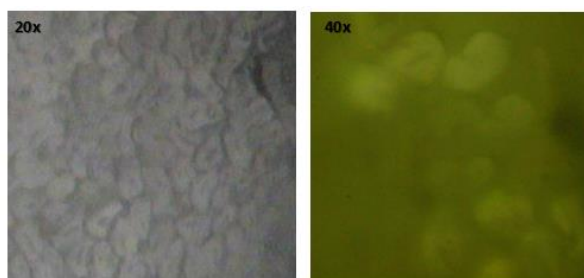


Figura 15 - Vista do corte transversal da fibra de algodão.

A espiralidade e a concavidade são intrínsecas às características morfológicas do algodão. A concavidade das fibras e sobretudo a espessura estão intimamente relacionadas com o grau de maturidade da fibra do algodão. Quanto mais madura estiver a fibra de algodão, menor será o seu lúmen e maior será o diâmetro da parede secundária, fazendo com que a fibra tenda a torcer sobre o seu eixo longitudinal, criando concavidade. Por outro lado, a espessura aumenta com o grau de maturação das fibras, pois o aumento da parede secundária provoca a dilatação da parede primária, ou seja, o aumento da espessura. [28]

Na figura 15 é possível observar a morfologia interna da fibra de algodão, distinguindo-se com facilidade o lúmen e a parede secundária. É também possível, estimar o grau de maturação das fibras, que parecem estar num grau de maturação intermédio, pois o lúmen ainda é demasiado evidente para se considerarem fibras maduras.

Do estudo realizado com imagens semelhantes às das figuras 14 e 15, que se encontram no anexo B, foram feitas várias medições da espessura das fibras. Na tabela 2, estão os resultados médios dos valores de espessura, $\bar{e}$, em μm , de cada fio e de cada amostra de fibras analisada, assim como os respetivos desvios padrão.

Tabela 2 - Resultados obtidos para a medição das espessuras das fibras de algodão de diferentes malhas.

		Título do Fio						
		13,3/1 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Fio	$\bar{e}$ (μm)	486 $\pm$ 5	1802 $\pm$ 5	1059 $\pm$ 5	852 $\pm$ 5	316 $\pm$ 5	470 $\pm$ 5	293 $\pm$ 5
<i>Jersey</i> 100% CO	$\bar{e}$ (μm)	16,68 $\pm$ 2,50	15,74 $\pm$ 4,58	15,96 $\pm$ 2,54	16,18 $\pm$ 1,70	15,53 $\pm$ 2,86	14,25 $\pm$ 3,28	15,09 $\pm$ 1,85
<i>Jersey</i> % CO + % EL	$\bar{e}$ (μm)	-	-	-	-	-	15,43 $\pm$ 2,81	14,52 $\pm$ 1,60
<i>Piquet</i> 100% CO	$\bar{e}$ (μm)	15,55 $\pm$ 1,71	-	-	-	14,07 $\pm$ 0,60	-	15,02 $\pm$ 1,91

Analisando a tabela 2 e comparando os valores médios de espessura, dos diferentes fios, é possível perceber que os valores obtidos são muito similares. Pelo que se deduz que as fibras de algodão das diferentes amostras, deverão ter origens idênticas. No entanto, é possível constatar ainda elevados valores de desvio padrão. A elevada magnitude destes valores está relacionada com o facto de as espessuras diferirem muito de fibra para fibra, sendo que quanto mais madura for a fibra, maior será a sua espessura. Por outro lado, uma mesma fibra pode ter espessuras diferentes, ao longo do seu comprimento, sendo que espessuras tomam valores mais baixos quanto mais próximas estiverem dos pontos de convolação. ^[29] Como foram medidas várias espessuras para uma mesma fibra, e várias fibras por cada amostra, seria de esperar grandes desvios ao valor médio das medições. No anexo C encontram-se os resultados obtidos para a espessura média de cada um dos ensaios realizados por amostra, assim como a análise estatística inerente a cada um dos ensaios.

A fibra de algodão, devido a múltiplos fatores, principalmente à proveniência da planta que lhe deu origem, pode apresentar diferentes comprimentos e cores. Para as fibras estudadas nesta secção, não foi possível fazer medições do seu comprimento, uma vez que as fibras foram retiradas de fios, que por sua vez foram retirados de malhas. Em consequência disso, as fibras estudadas já tinham passado por vários processos mecânicos de fiação e tricotagem, não sendo possível analisá-las por inteiro. No entanto, foi possível observar que todas eram fibras longas, possivelmente de origem egípcia, geralmente encontradas na marca registada de algodão *Supima*. ^[30 e 31]

4.1.2 Determinação da massa por unidade de superfície das malhas circulares

Os resultados da determinação da massa por unidade de superfície das malhas, conhecido por teste de gramagem, são apresentados na tabela 3. Onde μ é a massa média das amostras, em $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$, junto com o respetivo desvio padrão. No anexo D são apresentados de forma mais detalhada os resultados obtidos para cada ensaio.

Tabela 3 - Resultados obtidos para os testes de massa por unidade de superfície.

			Título do Fio						
			13,3/1 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Estrutura e composição da Malha	Jersey 100% CO	$\mu \text{ (g} \cdot \text{dm}^{-2})$	2,04 ± 0,01	3,75 ± 0,01	2,78 ± 0,01	2,31 ± 0,01	1,77 ± 0,01	1,26 ± 0,01	0,71 ± 0,01
	Jersey % CO + % EL	$\mu \text{ (g} \cdot \text{dm}^{-2})$	-	-	-	-	-	2,28 ± 0,01	1,65 ± 0,01
	Piquet 100% CO	$\mu \text{ (g} \cdot \text{dm}^{-2})$	2,08 ± 0,01	-	-	-	2,45 ± 0,01	-	1,91 ± 0,01

Observando a tabela 3 verificamos, como era esperado, que quanto maior o título do fio menor é massa por unidade de superfície da malha, independentemente da estrutura. Pois quanto mais fino for o fio, menor é a sua massa e por consequência menor a massa da malha.

Analisando os resultados obtidos para as duas estruturas *Jersey* e *Jersey Elastano*, em malhas com títulos comuns, verificamos que a estrutura *Jersey Elastano* possui maior massa por unidade de superfície. Na construção da malha *Jersey Elastano*, os fios de algodão são acompanhados de elastano na formação das laçadas. Assim sendo, quando se introduz elastano a massa por unidade de superfície aumenta, pois esta estrutura contém um componente extra em relação à estrutura *Jersey* simples. É, no entanto, importante mencionar que na construção de malhas com elastano, o ponto de malha no fio principal, por norma, é mais aberto, em relação aos fios de malhas sem elastano, para poder compensar o alongamento/recuperação e a respirabilidade da malha. Assim sendo, se for retirado o elastano às malhas e de seguida se for medir a sua massa por unidade de superfície, esta será inferior à massa por unidade de superfície de uma malha *Jersey* simples, devido à abertura dos pontos de malha. Por outro lado, o elastano exerce força sobre as colunas e as fileiras das malhas, tornando-as mais fechadas em relação a estruturas sem elastano. Assim sendo, numa mesma área de malha, será de esperar, que a estrutura *Jersey Elastano* possua maior número de fileiras e colunas que a estrutura *Jersey* simples, implicando um aumento da sua massa por unidade de superfície.

Comparando as estruturas *Piquet Lacoste* e *Jersey* simples, a estrutura *Piquet* apresenta maior massa por unidade de superfície. Este resultado era esperado, uma vez que as laçadas que formam a estrutura *Piquet* estão mais apertadas, proporcionando rigidez à malha, quando comparada com malhas *Jersey*. Isto implica uma menor distância entre fileiras e colunas, e portanto o número de colunas e fileiras, para a mesma área, é maior na estrutura *Piquet*. Por este motivo esta estrutura possui valores mais elevados de massa por unidade de superfície quando comparada com estrutura *Jersey*.

4.1.3 Resistência das malhas circulares à formação de borboto

Neste projeto, a resistência à formação de borboto foi estudada através de dois métodos, o método de *Pilling Box* e o método de *Martindale*. Na tabela 4 estão apresentados os resultados da avaliação da resistência à formação do borboto das diferentes malhas.

Tabela 4 - Resultados obtidos para os testes de resistência à formação de borboto.

	Título do fio	Fio 13,3/1 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
Jersey 100% CO	Pilling Box	4	3-4	3-4	4	4	4	4
	Martindale	2-3	2-3	2-3	3	3-4	3-4	4
Jersey % CO + % EL	Pilling Box	-	-	-	-	-	3-4	4
	Martindale	-	-	-	-	-	3-4	3-4
Piquet 100% CO	Pilling Box	4	-	-	-	4	3-4	-
	Martindale	4	-	-	-	3-4	3-4	-

As malhas circulares quando submetidas a fricção malha contra malha tendem a formar pelo na sua superfície, propriedade, geralmente, conhecida por borboto. O borboto nada mais é que um aglomerado de fibras curtas à superfície das malhas como resultado da fricção a que estas são submetidas. ^[32]

Analizando os resultados da tabela 4, concretamente os resultados para as malhas *Jersey* simples, verifica-se que quanto maior o título do fio maior é a resistência da malha à formação do borboto, isto é, menos borboto se forma na superfície da malha. Como se sabe, quanto menor o título do fio, mais grosso o fio é, ou seja, mais quantidade de fibras tem na sua composição. Durante o processo de fabrico de fios, as fibras sofrem diversos processos mecânicos, um deles consiste em pentear as fibras de modo a eliminar as fibras mais curtas, no entanto, este processo não é totalmente eficaz. Assim quanto mais grosso for o fio, maior é o aglomerado de fibras e por consequência mais o índice de fibras curtas, o que se traduz nas malhas por uma maior propensão à formação de borboto. Comparando os resultados obtidos para as diferentes estruturas de malhas, mas com fios de título idêntico, os resultados não divergem demasiado. Sendo que a presença de elastano na estrutura *Jersey*, torna a malha ligeiramente mais propensa à formação de borboto no teste de *Martindale*. Sendo o elastano uma fibra sintética e sendo as fibras sintéticas, geralmente, menos resistentes à formação de borboto que as fibras naturais, era esperado que a presença de elastano torna-se as malhas ligeiramente menos resistentes à formação de borboto.^[8] As malhas com estrutura *Piquet Lacoste* são, de modo geral, mais resistentes à formação de borboto que as malhas *Jersey*. Pois as laçadas nesta estrutura são mais apertadas, formando uma estrutura mais rígida e com mais resistência. Em termos de controlo de qualidade das malhas apenas passariam o controlo de qualidade malhas com resistência ao borboto superior ao nível três.

Quando comparados, os resultados obtidos para os dois métodos, é verificável que o método de *Pilling Box* apresenta na maioria das malhas melhores resultados que o método de *Martindale*. Assim sendo, podemos concluir que o método de *Martindale* provoca maior desgaste nas malhas. Este facto era previsto, uma vez que no método de *Pilling Box* as amostras tem mais liberdade de movimento que no *Martindale*. Visto que, neste método as amostras apenas são introduzidas dentro da caixa e é a caixa quem efetua os movimentos rotativos. No método de *Martindale* duas amostras são colocadas em contacto, nos dispositivos rotativos do equipamento, e obrigadas a friccionar uma contra a outra durante todo o teste.

De modo geral, os resultados estão de acordo com o seria previsto obter para malhas em cru, As malhas em cru são malhas sem qualquer tipo de tratamento. Estas malhas são mais propícias à formação de borboto que as malhas tratadas pelos diferentes processos de acabamento, onde, geralmente, estão incluídos processos químicos para aumentar a resistência à formação de borboto. No entanto, o estudo das malhas em cru torna-se importante para entender o comportamento das diferentes estruturas, dos fios e até das fibras nas malhas. Permitindo prever que processos de acabamento seriam mais adequados a cada malha e otimizando o processo geral de acabamento.

No anexo E encontram-se figuras com os resultados obtidos, onde é possível observar uma maior quantidade de borboto na superfície das malhas quanto maior é o título do fio.

4.1.4 Resistência das malhas circulares à abrasão

A resistência das malhas ao rompimento, ou resistência das malhas à abrasão, avalia o desgaste da malha por fricção contra um tecido abrasivo. ^[32] Neste trabalho foi usado o método de *Martindale* - tecido contra tecido. E foi avaliada a resistência por alteração do aspeto da malha, neste caso foi utilizada a escala de borbotos para quantificar o desgaste. Na tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos para as diferentes malhas.

Tabela 5 - Resultados obtidos para os testes de resistência à abrasão.

	Título do fio						
	Fio 13,3/1 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
Jersey 100 %CO	3-4	2-3	2-3	4	3-4	3-4	3-4
Jersey %CO + % EL		-	-	-		3-4	3-4
Piquet %CO	3-4	-	-	-	4	3-4	-

Os testes de resistência à abrasão permitem avaliar a resistência da malha ao rompimento, neste projeto todas as amostras foram submetidas a 8000 ciclos, pois em de controlo de qualidade na TINTEX-TEXTILES S.A. considera-se que a malha é apta se não romper durante este intervalo de ciclos. Este teste em malhas cruas, à semelhança do teste de resistência à formação de borboto, permite prever o comportamento das malhas tratadas no produto final, e fazer um controlo mais eficiente dos processos de acabamento.

Na tabela 5 podemos observar que, de modo geral, a resistência à abrasão é maior para malhas com fios de títulos mais elevados, independentemente da estrutura e da presença de elastano. Estes resultados eram de esperar, pois a abrasão vai incidir e desgastar mais rapidamente fibras curtas que fibras longas. Assim sendo, e como já foi mencionado, o índice de fibras curtas presentes em fios aumenta com a grossura do fio, por este motivo, a resistência a abrasão em fios grossos é menor. Os resultados para fios com o mesmo título mas diferente número de cabos são idênticos, pelo que se verifica que fios retorcidos não aumentam a resistência das malhas a abrasão. No anexo F estão expostos em figuras os resultados obtidos nos testes de resistência à abrasão das diferentes malhas.

4.1.5 Resistência das malhas circulares ao rebentamento

A resistência da malha ao rebentamento mede a força, neste caso pneumática, que é necessário exercer para que a malha rebente, num curto período de tempo. Neste teste é também medida a distensão na rotura, que se trata do alongamento máximo que a malha alcança até ao momento em que rompe. ^[32] Neste projeto foi feita a medição da resistência ao rebentamento das malhas recorrendo a um eclatómetro de membrana pneumática. No entanto, em algumas malhas a pressão exercida pela membrana pneumática do equipamento não foi suficiente para romper a malha. Nas figuras 16 e 17, estão representados, em forma de histograma, os resultados obtidos para as malhas que rebentaram. No Anexo G estão apresentados todos os resultados obtidos, assim como uma análise estatística associada aos valores médios das medições.

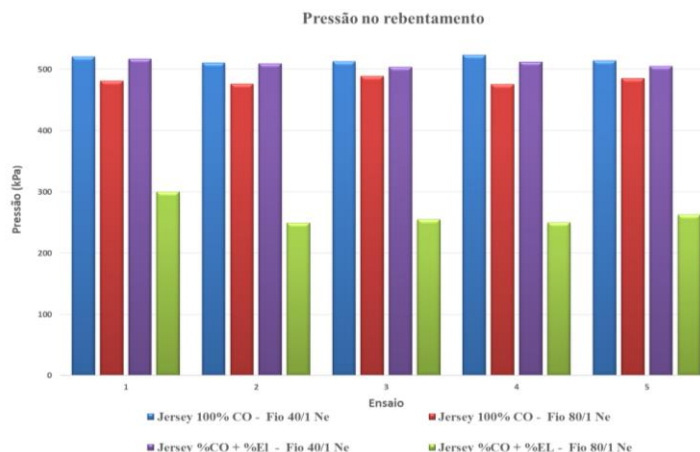


Figura 16 - Pressão máxima, em kPa, atingida pelas malhas até ao rebentamento.

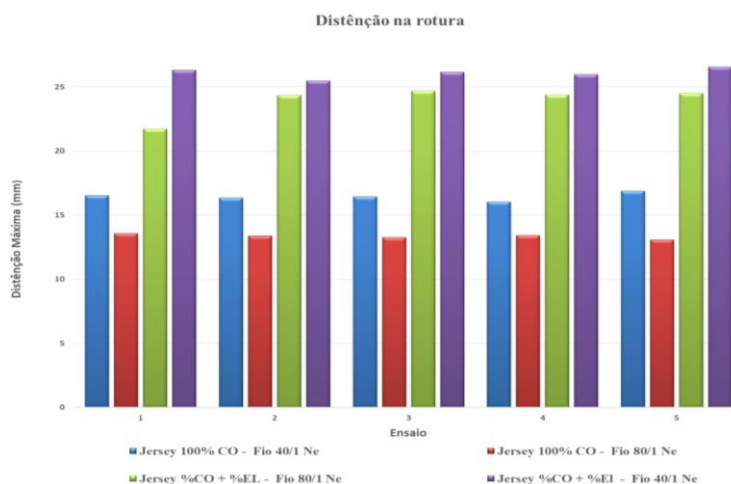


Figura 17 - Distensão máxima, em mm, atingida pelas malhas até ao rebentamento.

A resistência ao rebentamento foi avaliada pela pressão no rebentamento, e normalmente, para passar o controlo de qualidade o valor da pressão no rebentamento deve estar num intervalo pré-definido. Este intervalo tem em conta a natureza da malha, a sua estrutura e grossura. Assim sendo, era esperado, como se verifica na figura 16, que quanto mais grossa fosse a malha, menor o título dos fios, maior fosse a pressão no rebentamento e menor fosse a distensão máxima da malha, como mostra a figura 17. Isto porque, quanto mais grossos forem os fios, mais força eles exercem sobre a membrana do eclatómetro, obrigando-o a aumentar a pressão para fazê-la rebentar. Por outro lado, o facto de os fios serem mais grossos, torna-os mais rígidos e com menor capacidade de estiramento, por isso os valores de distensão na rotura são menores quanto menor o título do fio.

Analisando os resultados obtidos verifica-se que a presença de elastano nas malhas faz com que percam resistência ao rebentamento. Uma vez que os valores de pressão no rebentamento diminuem e os de distensão na rotura aumentam, quando comparados com os valores obtidos

para malhas idênticas mas sem elastano. Como já foi referido o elastano é uma fibra sintética introduzida na estrutura das malhas para lhes conferir elasticidade. Por este motivo seria de esperar que a distensão na rotura das malhas aumentasse devido à presença desta fibra, uma vez que confere às malhas mais elasticidade. Quanto aos valores de pressão no rebentamento, era esperado que fossem mais baixos. Pois quanto mais elástica for a malha, mais fácil será aumentar a distância entre as suas colunas e fileiras, quando sobre ela for exercida uma força de tração, facilitando o rebentamento.

Relativamente às diferentes estruturas, não foi possível obter resultados numéricos para as malhas com estrutura *Piquet Lacoste*, assim como para as malhas mais grossas de estrutura *Jersey* simples. No entanto, atendendo à formação das laçadas nestas duas estruturas seria de esperar que as malhas *Piquet Lacoste* apresentassem maior resistência ao rebentamento. Apresentando valores mais baixos de distensão máxima e valores mais elevados de pressão no rebentamento em comparação às malhas *Jersey* simples com fios idênticos. Este fenómeno deve-se, e como já foi mencionado, ao facto de as laçadas nas malhas de estrutura *Piquet Lacoste* serem mais fechadas, tornando a estrutura mais rígida em comparação com estrutura *Jersey* simples.

Numa apreciação geral do estudo da resistência ao rebentamento em malhas em cru, os resultados obtidos tornam-se importantes para efeitos comparativos do comportamento de diferentes malhas. Sendo possível analisar como varia a resistência ao rebentamento quanto integramos fibras sintéticas na estrutura da malha e sobretudo quando comparamos a grossura dos fios.

4.2 Caracterização comparativa de fibras de algodão, liocel e poliéster e a sua correlação com as propriedades físico-químicas de malhas circulares

4.2.1 Morfologia das diferentes fibras

Para o estudo da morfologia das fibras de algodão, liocel e poliéster foi feita uma análise microscópica, com foco na morfologia interna e externa das fibras. Recorrendo ao *software* MVA foi possível calcular a espessura das diferentes fibras em estudo.

Na figura 18 estão apresentadas imagens captadas para as fibras de algodão, liocel e poliéster na sua vista longitudinal. As imagens apresentadas foram obtidas usando uma ampliação de vinte e quarenta vezes.

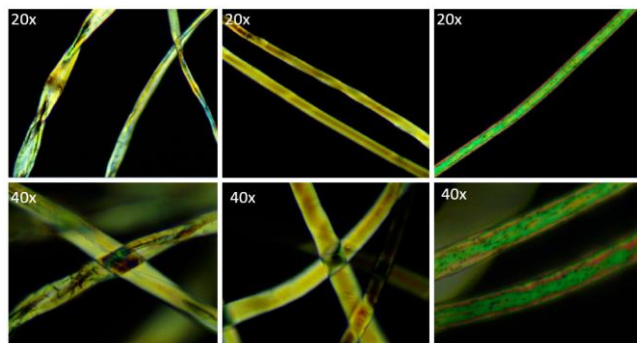


Figura 18 - Vista longitudinal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente.

Na figura 18 é possível observar vários detalhes da morfologia das fibras. Das três fibras analisadas, é, sem dúvida, o algodão a fibra que apresenta uma estrutura mais irregular. Quanto ao liocel e ao poliéster, observamos que os dois apresentam uma estrutura cilíndrica bastante regular. No entanto o liocel apresenta uma aspeto ligeiramente mais irregular que o poliéster, tanto de fibra para fibra, como ao longo do comprimento numa mesma fibra.

Na figura 19 estão apresentadas imagens obtidas para o corte transversal das três fibras em estudo, para duas diferentes ampliações.

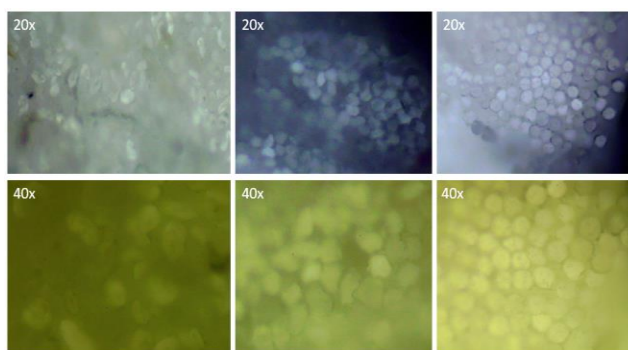


Figura 19 - Vista do corte transversal das fibras de algodão, liocel e poliéster, respetivamente.

Na figura 19 é possível observar a morfologia interna das diferentes fibras, sendo a mais distintiva a do algodão, por ter diferentes componentes. Atendendo à morfologia interna do liocel e do poliéster, observamos que o seu corte transversal é aproximadamente circular e que possuem apenas um componente.

Do estudo feito com imagens semelhantes às das figuras 18 e 19, que se encontram no anexo B, foram feitas várias medições da espessura das três fibras estudadas. Na tabela 6 são apresentados os resultados médios dos valores de espessura, $\bar{e}$, em μm , de cada amostra de fibras, provenientes de fios com o título de 30/1 Ne. Está também representado o desvio padrão associado a cada valor médio de espessura.

Tabela 6 - Resultados obtidos para a medição das espessuras das diferentes fibras.

			Algodão	Liocel	Poliéster
Longitudinal	20x	$\bar{e}$ (μm)	13,5 $\pm$ 15,5	11,0 $\pm$ 1,9	10,6 $\pm$ 1,5
	40 x	$\bar{e}$ (μm)	14,2 $\pm$ 6,5	10,5 $\pm$ 1,6	10,8 $\pm$ 1,0
Transversal	20 x	$\bar{e}$ (μm)	13,6 $\pm$ 4,9	12,6 $\pm$ 1,3	13,0 $\pm$ 1,3
	40 x	$\bar{e}$ (μm)	13,4 $\pm$ 4,2	12,2 $\pm$ 1,5	12,9 $\pm$ 1,2

Quando observamos a tabela 6 verificamos que a fibra com maior espessura é a fibra de algodão. No entanto são os resultados associados a esta fibra que apresentam valores mais elevados de desvio padrão. Tendo em conta a morfologia da fibra de algodão e sabendo que a sua espessura é muito variável devido aos fatores mencionados anteriormente, eram esperados grandes desvios do valor médio. Para as fibras de liocel e poliéster verificamos que o valor médio de espessura é semelhante, e que se encontra num intervalo entre os [11;13] μm . Os desvios padrão associados à espessura média para estas duas fibras tomam valores muito inferiores quando comparados com a fibra de algodão. No entanto, a fibra de liocel apresenta um desvio padrão ligeiramente maior que o da fibra de poliéster. Sabendo que tanto o liocel como o poliéster são produzidos na forma de filamentos contínuos, seria de esperar que a sua espessura não apresentasse grandes variações ao longo do comprimento. Remetendo à natureza das fibras de liocel e poliéster, o liocel é uma fibra regenerada e o seu núcleo é de origem natural enquanto o poliéster é uma fibra sintética. Sendo o poliéster uma fibra totalmente artificial é plausível que a espessura seja mais uniforme em relação à da fibra de liocel. Ainda nas fibras de liocel e poliéster verificamos, na tabela 6, que com uma ampliação maior, as espessuras aumentam em cerca de 1 μm . É importante salientar que em ampliações maiores mais difícil se tornou a focagem das fibras. Por este motivo, o desvio padrão dos resultados obtidos associados a maiores ampliações apresentam valores mais elevados. Comparando os valores médios de espessura obtidos com valores encontrados na literatura, onde a espessura de algodão maduro toma um valor médio de 17 μm ^[30], o liocel toma um valor médio de 10,6 μm ^[33] e o poliéster, em condições normais, deverá ter a sua espessura compreendida num intervalo entre os 10 e 12 μm ^[34], é possível concluir que resultados obtidos para os valores médios de espessura das fibras estudadas, são concordantes com os resultados obtidos por outros autores. No entanto, a espessura média obtida para a fibra de algodão é inferior à mencionada na literatura para o algodão maduro, concluindo que o algodão estudado não se encontrava totalmente maduro.

Para a fibra de algodão, foi medido ainda o comprimento da fibra. Nesta etapa, foram medidas três fibras, recorrendo a um aristo, e os resultados estão expostos na figura 20.



Figura 20 - Fibras usadas para determinar o comprimento das fibras de algodão estudadas.

O comprimento medido para a fibra 1 foi de 37 mm, para a fibra 2 foi de 32 mm e para a fibra 3 de 33 mm. É importante referir que as fibras têm naturalmente diferentes comprimentos dependendo das suas origens e que as medições tinham grandes erros associados, tais como a pouco visibilidade da fibra a olho nu e a dificuldade em manter as fibras estendidas. No entanto, tendo em conta que os resultados estão contidos num intervalo entre [30; 40] mm, pode ser considerado que estas fibras são longas e que podem ter origens egípcias, geralmente usadas pela marca *Supima*.^[30 e 31] Não foram feitos estudos para o comprimento das fibras de liocel e de poliéster porque as fibras estudadas provinham de filamentos contínuos.

4.2.2 Determinação da massa por unidade de superfície das malhas circulares

Os resultados da determinação da massa por unidade de superfície das malhas construídas com as diferentes fibras, em estruturas de malhas semelhantes, são apresentados na tabela 7. Onde μ é a massa média das amostras, em $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$, junto com o respetivo desvio padrão. No anexo D são apresentados de forma mais detalhada os resultados obtidos para cada ensaio.

Tabela 7 - Resultados obtidos para os testes de massa por unidade de superfície.

		Algodão	Liocel	Poliéster
<i>Jersey Simples</i>	$\mu (\text{g}\cdot\text{dm}^{-2})$	$1,60 \pm 0,01$	$1,39 \pm 0,01$	$1,48 \pm 0,01$
<i>Jersey Elastano</i>	$\mu (\text{g}\cdot\text{dm}^{-2})$	$2,58 \pm 0,01$	$2,37 \pm 0,01$	$2,24 \pm 0,01$
<i>Piquet Lacoste</i>	$\mu (\text{g}\cdot\text{dm}^{-2})$	$1,75 \pm 0,01$	$1,48 \pm 0,01$	$1,63 \pm 0,01$

Na tabela 7 verificamos, independentemente da estrutura das malhas, que as malhas construídas com fibras de algodão são as que apresentam maior massa por unidade de superfície, seguidas pelas malhas de poliéster e finalmente as de liocel. Relacionando a massa das fibras com a sua espessura seria de esperar que as fibras com maior espessura possuam maior massa por unidade de superfície que as fibras com menor espessura. Assim sendo, os resultados obtidos na tabela 6, corroboram os resultados dos testes de massa por unidade de superfície das malhas com fibras de algodão. Pois as malhas constituídas por fibras de algodão são as que apresentam maior massa por unidade de superfície e por sua vez a fibra de algodão é a que apresenta maior espessura. Relativamente às fibras de liocel e poliéster, os resultados dos testes de massa por unidade de superfície são muito próximos, assim como os resultados de espessura destas duas fibras. No entanto, era esperado que o liocel obtivesse resultados mais elevados de massa por unidade de superfície que o poliéster, pois a fibra de liocel apresenta resultados de espessura ligeiramente maiores que o poliéster. Assim sendo, verificamos que não é apenas a espessura da fibra que determina a sua massa por unidade de superfície. Outras características das fibras tais como a elasticidade e a tenacidade influenciam este tipo de resultados. Sabendo que a fibra de poliéster comparada com a fibra de liocel é bastante mais elástica, os fios contruídos com poliéster são também mais elásticos. Assim na construção de malhas com fios de poliéster é de esperar que as laçadas sejam mais apertadas que as laçadas com fios de liocel, pois a força exercida por estes fios é maior. Resultando em valores de massa por unidade de superfície superiores em malhas de poliéster comparativamente a malhas de liocel.

Analisando os resultados obtidos para as diferentes estruturas, verificamos que as conclusões são semelhantes às obtidas para os resultados da tabela 3. Uma vez mais, a estrutura *Jersey Elastano* é a que possui maior massa por unidade de superfície das três estruturas estudadas, seguindo-se a estrutura *Piquet Lacoste* e por último a estrutura *Jersey simples*.

4.2.3 Resistência das malhas circulares à formação de borboto

A resistência à formação de borboto foi estudada através de dois métodos, o método de *Pilling Box* e o método de *Martindale*. Na tabela 8 estão apresentados os resultados da avaliação da resistência à formação do borboto das diferentes malhas.

Tabela 8 - Resultados obtidos para os testes de resistência à formação de borboto.

		Algodão	Liocel	Poliéster
Pilling Box	<i>Jersey</i>	4	3-4	3-4
	<i>Jersey Elastano</i>	3-4	2-3	3-4
	<i>Piquet Lacoste</i>	4	3-4	3-4
Martindale	<i>Jersey</i>	3-4	3-4	3-4
	<i>Jersey Elastano</i>	3	2-3	3
	<i>Piquet Lacoste</i>	3-4	3	3-4

Os resultados apresentados na tabela 8 foram obtidos por comparação da degradação dos provetes com a escala de borbotos da figura E.1 do Anexo E.

Numa primeira análise aos resultados obtidos é possível verificar que as malhas mais resistentes à formação de borboto são as malhas compostas por fibras de algodão, seguindo-se as malhas de poliéster e por último as *malhas* de liocel. Verifica-se também que os resultados dos testes de *Pilling Box* apresentam melhores resultados que os testes de *Martindale*.

Os fios de liocel possuem uma grande tendência a fibrilar, isto é, uma tendência a acumular fibrilações muito finas ou pelos na superfície externa dos fios. ^[35] Sendo a fibrilação uma característica comum nos fios de liocel e sabendo que o borboto são acumulações de fibras curtas à superfície das malhas, pode relacionar-se estas duas propriedades. Tendo os fios de liocel tendência a formação de pelo naturalmente, então quando sujeitos a fricção malha contra malha era esperado a formação de grandes aglomerados de pelo na superfície, isto é, um aparecimento elevado de borboto.

Quanto às fibras de poliéster devido à sua natureza totalmente sintética possuem uma fraca resistência à formação de borboto. Apesar de não possuir tendência a criar fibrilações na superfície dos fios, o polímero PET apresenta fraca resistência ao desgaste durante processos de fricção malha contra malha. Assim sendo, de modo geral, as fibras sintéticas quando comparadas com fibras naturais são menos resistentes à formação de borboto. Os resultados obtidos verificam que a fibra natural estudada, o algodão, mostra uma resistência à formação de borboto superior ao poliéster.

Comparando os resultados obtidos para as diferentes estruturas de malhas a estrutura *Jersey Elastano*, mostra-se mais propensa à formação de borboto. Sendo o elastano uma fibra sintética apresenta pouca resistência à formação de borboto, resultado em perda da resistência à formação de borboto em malhas com presença de elastano. Os resultados obtidos para as estruturas *Jersey* simples e *Piquet Lacoste* são muito semelhantes, excetuando o resultado para as malhas de liocel em que a estrutura *Jersey* simples se mostrou ligeiramente mais resistente. Com já foi referido as laçadas na estrutura *Piquet Lacoste* são mais apertadas que as laçadas na estrutura *Jersey* simples. Sendo por isso esperado que a estrutura *Piquet Lacoste*,

independentemente da natureza das fibras da malha, apresentasse maior resistência à formação de borboto.

No anexo E encontram-se figuras com os resultados obtidos, onde é possível observar os aglomerados de fibras na superfície das malhas.

4.2.4 Resistência das malhas circulares à abrasão

A resistência à abrasão foi estudada usando o método de *Martindale* - tecido contra tecido. A avaliação foi feita por alteração do aspeto da malha comparando os provetes com a escala de borbotos da figura E.1 presente no anexo E. Na tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos para as malhas e para as três fibras estudadas.

Tabela 9 - Resultados obtidos para os testes de resistência à abrasão.

	Algodão	Liocel	Poliéster
<i>Jersey</i>	4	4	2-3
<i>Jersey Elastano</i>	3-4	4	3
<i>Piquet Lacoste</i>	4	3-4	3

Os resultados obtidos resultam da avaliação dos provetes após terem sido submetidos a 8000 ciclos de rotação, onde a amostra de malha foi friccionada contra um tecido abrasivo.

Na tabela 9 podemos observar que as malhas mais resistentes à abrasão foram as malhas de liocel e de algodão, sendo que as malhas de poliéster são as que apresentam os piores resultados. Ao tratar-se de uma fibra sintética, o poliéster apresenta uma fraca resistência à abrasão quando comparado a fibras regeneradas ou naturais. O polímero de PET é um polímero cristalino que durante o processo de fabrico das fibras de poliéster é sujeito a altas temperaturas, o que provoca a rotação das cadeias de carbono, fazendo com que o polímero perca cristalinidade. Esta etapa enfraquece a dureza do polímero e torna-o menos resistente. [35] Assim sendo, era esperado que as malhas de poliéster apresentassem menor resistência à abrasão que as malhas de algodão e liocel. Os resultados obtidos para as malhas de algodão e liocel são muito similares uma vez que estas duas fibras são celulósicas. As fibras celulósicas, de forma geral, são polímeros lineares de cadeia extremamente longa. A resistência das fibras celulósicas é influenciada pelo seu arranjo molecular e pelo seu grau de polimerização, isto é, pelo comprimento do polímero. Quanto maior o grau de polimerização, maior é a resistência apresentada pela fibra. [8]

Analisando os resultados obtidos para as diferentes estruturas verifica-se que para malhas com a mesma natureza os resultados são muito semelhantes independentemente da estrutura. No entanto, como as laçadas na estrutura *Piquet Lacoste* são mais apertadas que as laçadas na

estrutura *Jersey* simples, era esperado que esta estrutura apresentasse maior resistência à abrasão.

No anexo F estão expostos em figuras os provetes utilizados para avaliar a resistência à abrasão para as malhas das diferentes fibras.

4.2.5 Resistência das malhas ao rebentamento

Os resultados obtidos para a resistência das malhas estudadas ao rebentamento estão apresentados nas figuras 21 e 22. Não foi possível obter resultados para as malhas constituídas por fios de poliéster, uma vez que a pressão exercida pela membrana pneumática do eclatómetro não foi suficiente para provocar o rebentamento. No Anexo G estão apresentados todos os resultados obtidos, assim como uma análise estatística associada aos valores médios das medições.

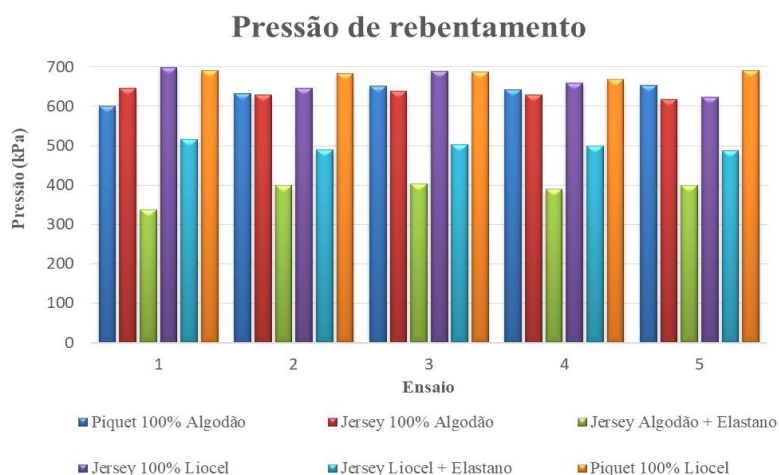


Figura 21 - Pressão máxima, em kPa, atingida pelas malhas até ao rebentamento.

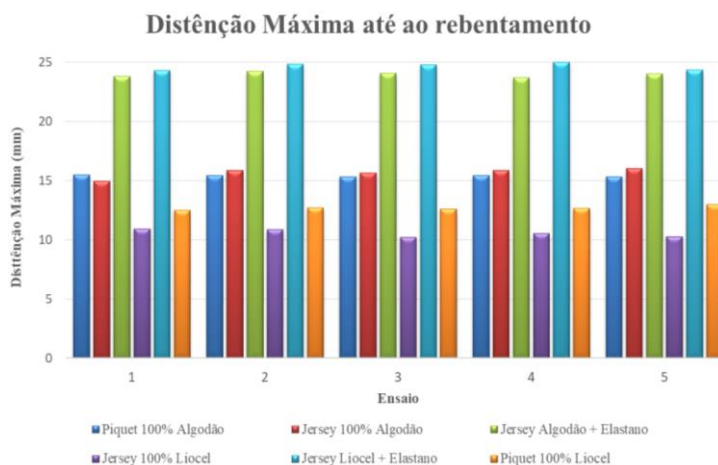


Figura 22 - Distensão máxima, em mm, atingida pelas malhas até ao rebentamento.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se, independentemente da estrutura da malha, que as malhas de liocel são mais resistentes ao rebentamento que as malhas de algodão. Como se pode observar, na figura 21, a pressão de rebentamento é maior para as malhas constituída com fibras de liocel. Relativamente aos resultados obtidos para a distensão na rotura são as malhas de algodão as que apresentam maiores valores de distensão máxima, como mostra a figura 22. No entanto, os resultados obtidos tanto de resistência ao rebentamento como de distensão na rotura são muito próximos numericamente. Sabendo que os fios de algodão se tratam de fios fiados, uma vez que, o algodão é uma fibra natural cujo comprimento varia de fibra para fibra, e que o liocel se trata de um filamento contínuo, pode relacionar-se o tipo de fio com a resistência à rotura. Assim sendo, seria de esperar que fios fiados apresentassem menor resistência ao rebentamento, pois o fio fiado é constituído por fibras curtas comparadas com filamentos contínuos como a fibra de liocel. Isto porque em fios fiados com fibras cortadas de filamentos contínuos, as fibras cortadas são, normalmente longas, para melhorar as características dos fios. Uma dessas características é a resistência ao rebentamento, pois para rebentar estes fios é necessário primeiro rebentar os filamentos que ao serem mais longos e uniformes oferecem mais resistência a forças de tração. ^[20] Por este mesmo motivo as fibras de algodão apresentam valores mais elevados de distensão na rotura, porque ao exercer pressão sobre o fio, as fibras curtas tendem a separar-se umas das outras. Assim sendo, a distensão na rotura é maior comparativamente aos filamentos contínuos que sendo do mesmo tamanho, apenas distendem até atingir a sua elasticidade máxima. Relativamente à estrutura das malhas, as laçadas formadas por fios fiados de algodão oferecem menor resistência a forças de pressão, pois, como já foi mencionado, as fibras de algodão ao serem mais curtas separam-se e a distância entre fileiras e colunas aumenta, resultando em valores de distensão na rotura mais elevados.

Para a fibra de poliéster não foi possível obter resultados de resistência ao rebentamento. Das três fibras estudadas o poliéster é a fibra mais elástica e mais resistente ao rebentamento. Ao tratar-se de uma fibra sintética as suas características são otimizadas no seu processo de fabrico e por isso apresenta uma resistência ao rebentamento bastante superior ao liocel e ao algodão. Seria por isso de esperar que o poliéster apresentasse elevados valores de pressão no rebentamento e de distensão na rotura comparativamente às outras duas fibras estudadas.

Analisando os resultados obtidos verifica-se, uma vez mais, que a presença de elastano na estrutura das malhas faz com que a resistência ao rebentamento diminua e a distensão na rotura aumente. A estrutura *Piquet Lacoste* apresenta maior resistência ao rebentamento que a estrutura *Jersey simples*. As conclusões retiradas destes resultados são semelhantes as obtidas na secção 4.1.4.

4.2.6 Estabilidade dimensional e espiralidade das malhas circulares

Os resultados obtidos no estudo da estabilidade dimensional são apresentados pela medição do encolhimento ou alargamento do comprimento e da largura, relativamente às marcações das amostras em percentagem com um erro absoluto de 0,05%. Para as malhas estudadas verificou-se que em todas ocorreu encolhimento. Os resultados de espiralidade da malha são os desvios, em centímetros, entre a costura da amostra e a sua perpendicularidade com um erro absoluto de 0,05 cm. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados obtidos para os testes de estabilidade dimensional e espiralidade.

	Algodão			Liocel			Poliéster		
	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
Largura (%)	10,0	23,0	13,5	13,5	23,5	13,5	3,0	10,5	6,5
Comprimento (%)	19,0	3,0	27,0	21,5	14,0	30,0	9,0	17,0	1,5
Torção (cm)	0,0	8,0	0,0	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	7,5

A estabilidade dimensional nas malhas é uma propriedade das malhas associada ao seu encolhimento ou alargamento após lavagem e secagem dos artigos de vestuário. Quanto maior for o encolhimento ou alargamento da malha após ter sofrido um processo de lavagem e secagem, menor será a sua estabilidade dimensional.

Durante os processos de acabamento das malhas é na râmula que se controla a estabilidade dimensional, sendo esta uma função da largura e da gramagem pretendidas para a malha acabada. Assim sendo, na râmula a malha é alargada ou encolhida de modo a obter a gramagem e largura pretendidas. Posteriormente a malha passa por um processo de termofixação a elevadas temperaturas, que garante entre outras propriedades, os valores de estabilidade dimensional que não podem ser superiores a 5 % para malhas acabadas.

As malhas estudadas eram malhas em cru, isto é, não foram submetidas a nenhum processo de acabamento, por isso era já esperado elevados valores de encolhimentos. Como se pode verificar, na tabela 10, são as malhas de liocel que apresentam valores mais elevados de encolhimentos, seguindo-se as malhas de algodão e finalmente as malhas de poliéster. A natureza das fibras é um fator que condiciona muito a estabilidade dimensional das malhas. Como foi mencionado tanto o liocel como o algodão têm uma elevada capacidade de absorção/dessorção de água, pelo contrário o poliéster não possui essas capacidades. Assim sendo, os valores de estabilidade dimensional das malhas de poliéster apresentam valores muito mais baixos de encolhimentos porque a malha não tem elevado poder de absorção/dessorção

de água. As malhas de liocel e poliéster absorvem uma elevada quantidade de água durante o processo de lavagem. Durante o processo de secagem ocorre a dessorção da água, provocando elevados valores de encolhimento, pois as fibras sofrem uma alteração dimensional devido à secagem.

Comparando os resultados obtidos para as diferentes estruturas, verifica-se que é a estrutura *Jersey* simples a que apresenta valores mais elevados no teste de estabilidade dimensional, seguindo-se a estrutura *Jersey Elastano* e por último a estrutura *Piquet Lacoste*. Como já foi referido a abertura das laçadas é maior em estruturas *Jersey* simples que em estruturas *Piquet Lacoste*, esta propriedade facilita a absorção de água, o que leva a resultados mais elevados de encolhimentos para a estrutura *Jersey* simples. O elastano é uma fibra sintética e à semelhança do poliéster tem pouco poder de absorção/dessorção de água por isso a estrutura *Jersey Elastano* comparativamente à estrutura *Jersey* simples possui menores valores de encolhimento, pois a presença de elastano condiciona a capacidade de absorção de humidade.

Nas malhas, a espiralidade ou torção, é uma propriedade relacionada com a deslocação angular que os fios de teia ou as colunas sofrem em relação a uma linha perpendicular à orela ou extremidade lateral da malha. Esta propriedade é também definida como a rotação, normalmente lateral, entre diferentes painéis de uma peça de vestuário, resultante do relaxamento de tensões latentes durante a lavagem do vestuário em tecido ou malha. ^[36 e 37]

Os valores de torção são condicionados pela torção dos fios que constituem as malhas. A natureza das fibras, assim como a estrutura das malhas são fatores pouco condicionantes nos resultados de torção. Na produção das malhas é importante existir um equilíbrio entre a torção dos fios que são usados, isto é, deve utilizar-se uma quantidade definida de fios com torção Z e de fios com torção S, de modo a obter os valores espiralidade pretendidos. ^[32] O processo de termofixação na râmula também condiciona estes valores pois ao definir valores de estabilidade dimensional, fixa-se também o grau de torção das malhas. Por isso, é natural que malhas em cru possuam valores muito mais elevados de torção que as malhas acabadas. As medições de torção, neste estudo, foram feitas, do lado direito, isto é no sentido Z de torção. A conclusão retirada dos resultados obtidos é que quando maior for o valor de torção, maior será a diferença entre quantidade de fios com torção Z e S presentes na malha, verificando-se, nos casos em que ocorreu torção, que o excedente era de fios com torção Z, pois todos os valores de torção são maiores ou iguais a zero.

5 Conclusões

A presente tese surgiu da necessidade de conhecer as propriedades intrínsecas das fibras e correlacioná-las com as propriedades das malhas circulares. Este conhecimento permite prever as características das malhas e otimizá-las em função das características desejadas.

A primeira etapa deste estudo focou-se nas fibras de algodão, onde foi estudada a morfologia do algodão e malhas com fios de algodão de diferentes títulos em diferentes estruturas. Do estudo feito à morfologia do algodão observou-se que é uma fibra com espessura variável ao longo do comprimento e de fibra para fibra. Possui uma morfologia irregular e apresenta concavidade e espiralidade ao longo do seu comprimento. Foi possível também prever o grau de maturação das fibras e conclui-se que estariam num grau de maturação intermédio.

Relativamente às suas características, as malhas foram submetidas a diferentes testes de controlo de qualidade. Da análise feita aos resultados do teste de massa por unidade de superfície concluiu-se que quanto maior o título do fio, menor seria a massa por unidade de superfície. A estrutura *Jersey Elastano* era a que possuía maior valor de massa por unidade de superfície quando comparada com a estrutura *Jersey simples* e *Piquet Lacoste*, sendo a estrutura *Jersey simples* a que possuía menor massa por unidade de superfície. Os resultados obtidos para os testes de resistência à formação de borboto e abrasão revelaram que quanto maior o título dos fios da malha maior seria a sua resistência. A estrutura *Piquet Lacoste* foi a que demonstrou mais resistência tanto na formação de borboto como na abrasão e a presença de elastano na estrutura *Jersey* resultou em ligeiras perdas de resistência nesta estrutura. Foi também possível observar, que o teste de *Martindale* provocou maior deterioração dos provetes que o teste de *Pilling Box*, no estudo da resistência à formação de borboto. Por último, nesta etapa foi estudada a resistência ao rebentamento. As malhas com menor título e estrutura *Piquet Lacoste* foram as que mostraram maior resistência, não tendo sido possível provocar o seu rebentamento. Nos provetes que rebentaram foi possível concluir que quanto maior a pressão no rebentamento, de modo geral, menor a distensão na rotura. A estrutura de malha menos resistente foi a *Jersey Elastano* com elevados valores de distensão na rotura.

Na segunda etapa deste projeto foram estudadas e comparadas três fibras: o algodão (fibra natural), o liocel (fibra regenerada) e o poliéster (fibra sintética) e diferentes estruturas de malha com títulos dos fios 30/1 Ne em comum, por fibra em estudo. Em termos morfológicos o algodão era a fibra com morfologia mais irregular. Sendo o liocel e o poliéster fibras com uma estrutura cilíndrica e uniforme e com espessura pouco variável. Os resultados obtidos para os valores de espessura revelaram que a fibra mais espessa era o algodão, seguindo-se o liocel e por último o poliéster. Relativamente ao comprimento das fibras o algodão estudado tratava-se de uma fibra longa e os resultados para o seu comprimento são característicos das fibras

utilizadas pela marca registrada *Supima*. O liocel e o poliéster provinham de filamentos contínuos e o seu comprimento não foi por isso estudado. Foram também feitos testes de qualidade a malhas construídas com as três diferentes fibras em diferentes estruturas. Os resultados para os testes de massa por unidade de superfície, revelaram que, independentemente da estrutura da malha, as malhas de algodão eram as que apresentavam valores mais elevados, seguindo-se o poliéster e depois o liocel. No que respeita à resistência à formação de borboto, em ambos métodos, as malhas de algodão demonstraram ser as mais resistentes e as de liocel as menos resistentes. As malhas de algodão demonstraram também ser mais resistentes à abrasão, porém a resistência das malhas de liocel à abrasão foi maior que a das malhas de poliéster. As malhas de poliéster demonstraram ser as mais resistentes ao rebentamento, não tendo sido possível provocar o seu rebentamento, seguindo-se as malhas de liocel e por último as malhas de algodão. Nesta etapa foi também estudada a estabilidade dimensional das malhas e concluiu-se que as malhas em cru de poliéster foram as que apresentaram melhores resultados de estabilidade dimensional. Estando esta propriedade diretamente relacionada com a absorção/dessorção de água, foram as malhas em cru de algodão as que apresentaram piores resultados. A espiralidade das malhas em cru também foi estudada e conclui-se que esta propriedade está relacionada com a torção dos fios. Pode concluir-se que a natureza das fibras, bem como a estrutura das malhas não eram fatores relevantes para os resultados de espiralidade. Os resultados obtidos revelam que nos provetes no qual ocorreu espiralidade, esta ocorreu sempre no sentido de torção Z (direito), concluindo-se que nestes provetes existia um maior número de fios com torção Z comparativamente aos fios com torção S.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

Neste projeto foram estudadas três fibras têxteis e foi feita a correlação das propriedades das fibras têxteis com as propriedades das malhas nas quais estavam inseridas. Foram feitos estudos morfológicos às fibras de algodão, liocel e poliéster. Deste estudo foi possível fazer uma caracterização morfológica das fibras, obter valores médios de espessura das fibras e no caso do algodão foi possível analisar o seu estado de maturação e obter resultados para o comprimento das fibras. Foram também realizados diferentes testes de controlo de qualidade a malhas com diferentes estruturas e compostas pelas fibras estudadas. Estes testes permitiram relacionar a composição das malhas com a natureza das fibras e com as características dos fios presentes na sua composição.

Tendo em conta os resultados apresentados nesta dissertação pode relacionar-se os resultados obtidos para as malhas em cru com as malhas acabadas e proceder a eventuais afinações e otimizações nos processos de acabamento.

6.2 Outros Trabalhos Realizados

A par deste projeto houve a possibilidade de um contacto direto com os laboratórios de cor, *coating* e qualidade. No laboratório de cor foram proporcionados conhecimentos acerca de como se preparam as receitas de cor e como se avalia a cor das malhas. Foram também desempenhadas algumas funções técnicas como preparação dos provetes para ensaios de cor e manuseamento dos equipamentos de tingimento. No laboratório de qualidade existiu a oportunidade de realizar todos os testes de qualidade feitos às malhas na TINTEX-TEXTILES S.A. e proceder a avaliação dos provetes testados. No laboratório de *coating* existiu a oportunidade de ver como se elaboravam receitas de *coating* a nível laboratorial, assim como ver e compreender como funcionava o equipamento industrial de *coating* da TINTEX-TEXTILES S.A..

6.3 Limitações e Trabalho Futuro

A principal limitação deste trabalho deu-se no laboratório de qualidade, que devido ao excesso de malhas internas por testar, provocou algum atraso nos testes realizados às malhas deste projeto. Uma outra limitação foi a inexistência de algumas das malhas com as características

necessárias para este estudo, levando a que tivessem de ser tricotadas propositadamente para a sua realização.

O estudo da morfologia das fibras foi efetuado com algumas limitações, isto porque, a ampliação máxima do microscópio utilizado não era suficiente para permitir um estudo rigoroso e detalhado, sobretudo da morfologia interna das fibras.

Futuramente pode ampliar-se este estudo, podendo estudar-se outras fibras ou misturas de fibras. Pode complementar-se este estudo com outros testes de qualidade, como testes de fricção, de pH, entre outros. Pode também realizar-se testes a outras estruturas de malhas e/ou malhas com fios de diferentes títulos dos estudados neste projeto. Existe também a possibilidade de realizar testes de controlo de qualidade comparativos entre malhas em cru e malhas acabadas, com o intuito de compreender como afetam os processos de acabamento as propriedades das malhas.

6.4 Apreciação final

O trabalho desenvolvido permite à empresa um conhecimento documentado da relação entre as propriedades das fibras e as das malhas. Foram testadas e avaliadas, com sucesso, três diferentes fibras e diferentes estruturas de malhas.

A nível pessoal realço que o estágio na empresa TINTEX-TEXTILES S.A. permitiu ter noção de todos os passos entre um ensaio laboratorial e um processo industrial, e para além de isso conhecer a indústria têxtil, que se revelou ser um sector fascinante. Foi-me proporcionado um ótimo ambiente de trabalho e foi-me dada confiança e autonomia para realizar todas as tarefas inerentes a este projeto. Além disso, foi possível a discussão de resultados e de métodos com profissionais com muita experiência, o que foi bastante enriquecedor. Não posso deixar de referir que fui a primeira estudante do Mestrado Integrado de Engenharia Química a realizar a dissertação de mestrado na TINTEX-TEXTILES S.A. e espero ter sido uma alavanca para a empresa receber e acolher novos alunos nos próximos anos. Acredito que seja enriquecedor tanto para a empresa como para os alunos.

7 Referências

- [1] Carvalho, M.J., “Tramas que o Design Tece: Têxteis do novo milénio - Têxteis técnicos e inteligentes”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [2] Oğlakcioğlu, N. and A. Marmarali, *Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2007. 15(5-6): p. 64-65.
- [3] Gersak, J., *Wearing Comfort Using Body Motion analysis. Anthropometry, Apparel Sizing and Design*, 2014.
- [4] Sinclair, R., *Textiles and Fashion - Materials, Design and Technology Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology - Woodhead Publishing*, Cambridge, 2015: p. 3-27.
- [5] Hari, P.K., *Woven Textiles - Principles, Technologies and Applications*. 2012, Elsevier.
- [6] Abreu, M., “Fibras Têxteis”, Academia CITEVE - Documento Interno.
- [7] Rodrigues, L., “Introdução aos materiais e fibras têxteis”, Tecnologia Têxtil - TINTEX, CITEVE, Março 2015 - Documento Interno.
- [8] Kuasne, A., Fibras Têxteis, Curso Têxtil em Malharia e Confeção, 2º Módulo, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Araranguá, 2008.
- [9] Pereira, G.S., Materiais e Processos Têxteis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Santa Catarina, 2009.
- [10] Pires, C., Fibras Têxteis, Manual Técnico - Têxtil e Vestuário, Escola SENAI “Francisco Matarazzo”, SENAI. Acedido a 15 de Outubro de 2018 em: https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual1_fibras/1?ff&e=13219499/11203700
- [11] Meio Linho, *La Redoute*. Acedido a 15 de Outubro de 2018 em: <https://www.laredoute.pt/materia-ideal-para-a-cama.aspx>
- [12] Os tipos de têxteis e os seus cuidados, *Miele*. Acedido a 15 de Outubro de 2018 em: <https://www.miele.pt/domestico/os-tipos-de-texteis-e-os-seus-cuidados-434.htm>
- [13] Elastano, Portal Virtuhab, Universidade Federal de Santa Catarina. Acedido a 15 de outubro de 2018 em: <http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/elastano/>
- [14] Abreu, M., “Nomenclatura dos Fios”, Academia CITEVE - Documento Interno.
- [15] Rodrigues, F., “Fios”, Tecnologia Têxtil - TINTEX, CITEVE, Março 2015 - Documento Interno.

- [16] Pereira, G.S, Introdução à Tecnologia Têxtil, Curso Têxtil em Malharia e Confeção, 2º Módulo, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Araranguá, 2008.
- [17] Pires, C., Fios Têxteis, Manual Técnico - Têxtil e Vestuário, Escola SENAI “Francisco Matarazzo”, SENAI. Acedido a 17 de Outubro de 2018 em: https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual2_fios/1?ff&e=13219499/34555524
- [18] Abreu, M., Numeração do Fio, Academia CITEVE - Documento Interno.
- [19] António, M.L., Processo e *Marketing* Têxtil, Textília, edição 76, Maio 2010. Acedido a 17 de Outubro de 2018 em: <http://processotextil.blogspot.com/2010/05/nova-tecnologia-revoluciona-sistema-air.html>
- [20] Gomes, P., Manual do Formando - Módulo 1: Tecnologia de Confeção, 2005. Acedido a 17 de Outubro de 2018 em: http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/49826/mod_resource/content/0/25614_ManualFormandoNivBasicoTecnologiaConfeccaoModulo1.pdf.
- [21] Dias, C.M., “*Design* de Estruturas Fibrosas Híbridas para Aplicação Técnica”, Escola de Engenharia - Universidade do Minho, Julho 2009.
- [22] Guimarães, B.M., “Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de *Malvaceae*”, Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo, 2014.
- [23] Abreu, M., “Malhas”, Academia CITEVE - Documento Interno.
- [24] Bonifácio, G., “Malhas”, Tecnologia Têxtil - TINTEX, CITEVE, Março 2015 - Documento Interno.
- [25] Pires, C., Malharia, Manual Técnico - Têxtil e Vestuário, Escola SENAI “Francisco Matarazzo”, SENAI. Acedido a 22 de Outubro de 2018 em: https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual03_malharia/1?ff&e=13219499/15063033
- [26] Pereira, G.S, Materiais e Processos Têxteis, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Araranguá, 2009.
- [27] Catarino, A.P., Dinâmica da Tricotagem: Estudo da Dinâmica da Tensão de Entrada do Fio e a sua Aplicação em Controlo de Qualidade, Departamento de Engenharia Têxtil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Julho de 1998.

- [28] Neves, J.S., A Finura do Algodão e outras Fibras Têxteis - Métodos para a sua Determinação, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1971. 1(1.2): p. 13-15.
- [29] Câmara, N.T., Avaliação das Propriedade das Fibras de Algodões Coloridos Naturalmente e Ecologicamente Corretas Cultivados nos Assentamentos do Município de Guamaré/RN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Setembro de 2014. p.29
- [30] Bezerra, C.M, Fibras Celulósicas, Curso de Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia de Produção e Têxtil, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Novembro de 2003. 2(2.4): p.14-15.
- [31] Spoerry 1866, *Soul of Fine Textiles, Cottons, Chart*. Acedido a 4 de Janeiro de 2019 em: <https://spoerry1866textiles.ch/index.php/portfolio/cotton-chart/>
- [32] Almeida, L., Controlo da Qualidade Têxtil, Curso de Especialização Tecnológica em Processos de Coloração e Acabamentos Têxteis, CITEVE, Março 2018 - Documento Interno.
- [33] Wu, Q. and Pan, D., *A New Cellulose Based Carbon Fiber from a Lyocell Precursor. Textile Research Journal*, 2002. 72: p. 405-410. Acedido a 9 de Janeiro de 2019 em: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/004051750207200506>
- [34] Faria, R.M., Denominação dos Tecidos, Tecidos Têxteis, Junho 2013. Acedido a 9 de Janeiro de 2019 em: <http://robertomaiafariasskill.blogspot.com/2013/06/denominacao-dos-tecidos-medeiros-d.html>
- [35] Lyocell.info - Descubra o *Lyocell*, *Lyocell* uma fibra ambientalmente sustentável. Acedido a 22 de Janeiro de 2019 em: <http://www.lyocell.info/pt/>
- [36] Norma Portuguesa, NP ISO 16322-2 (2007), Têxteis, Determinação da espiralidade após lavagem, Parte 2: Tecidos e Malhas - Documento Interno.
- [37] Norma Portuguesa, NP ISO 16322-3 (2007), Têxteis, Determinação da espiralidade após lavagem, Parte 3: Vestuário de tecido e malha - Documento Interno.

Anexo A - Nomenclatura nos sistemas de titulação dos fios ^[17]

A.1 Sistema Direto

O sistema direto de titulação apresenta quatro, possíveis, títulos para os fios ou fibras. Cada um deles tem uma constante, K , associada.

Na tabela A1.1 apresentam-se os títulos e a sua interpretação, de forma simplificada, assim como os valores de K , correspondentes a cada título.

Tabela A.1 - Títulos dados aos fios ou fibras segundo o sistema direto de titulação. ^[17]

Titulo (T)	Constante (K)	Significado
Ktex	1	1 Ktex = 1 grama de material em 1 metro 2 Ktex = 2 gramas de material em 1 metro n Ktex = n gramas de material em 1 metro
Tex	1000	1 Tex = 1 grama de material em 1000 metros 2 Tex = 2 gramas de material em 1000 metros n Tex = n gramas de material em 1000 metros
Dtex	10000	1 Dtex = 1 grama de material em 10000 metros 2 Dtex = 2 gramas de material em 10000 metros n Dtex = n gramas de material em 10000 metros
Den	9000	1 Den = 1 grama de material em 9000 metros 2 Den = 2 gramas de material em 9000 metros n Den = n gramas de material em 9000 metros

A.2 Sistema Indireto

O sistema indireto de titulação apresenta dois, possíveis sistemas de titulação, são eles o sistema métrico inglês (Ne) e o sistema métrico (Nm). De salientar que, para o título segundo o sistema métrico inglês, o valor da constante, K , varia dependendo de se o comprimento do fio ou fibra for medido em metros ou em jardas.

Na tabela A1.2 apresentam-se os títulos e a sua interpretação, assim como os respetivos valores da constante, K , que existem para o sistema de titulação indireto.

Tabela A.2 - Títulos dados aos fios ou fibras segundo o sistema indireto de titulação. ^[17]

Título (N)	Constante (K)	Significado
Ne	0,59	1 Ne = 1 metro de material pesa 0,59 gramas 2 Ne = 2 metros de material pesam 0,59 gramas n Ne = n metros de material pesam 0,59 gramas
	0,54	1 Ne = 1 jarda de material pesa 0,54 gramas 2 Ne = 2 jardas de material pesam 0,54 gramas n Ne = n jardas de material pesam 0,54 gramas
Nm	1	1 Nm = 1 metro de material pesa 1,00 gramas 2 Nm = 2 metros de material pesam 1,00 gramas n Nm = n metros de material pesam 1,00 gramas

Anexo B - Microscopia das diferentes fibras

Todas as figuras presentes neste anexo foram obtidas com o microscópio ótico, *DM1000 LED*, que permitia ampliações de 4x, 10x, 20x e 40x. As medições de espessura, em μm , das fibras foram obtidas recorrendo ao *software Mesdan Video Analyser*, alguns dos valores obtidos estão contidos nas respetivas figuras, de notar que estas medições só foram possíveis de realizar para as ampliações de 20x e 40x.

B.1 Morfologia das fibras de algodão

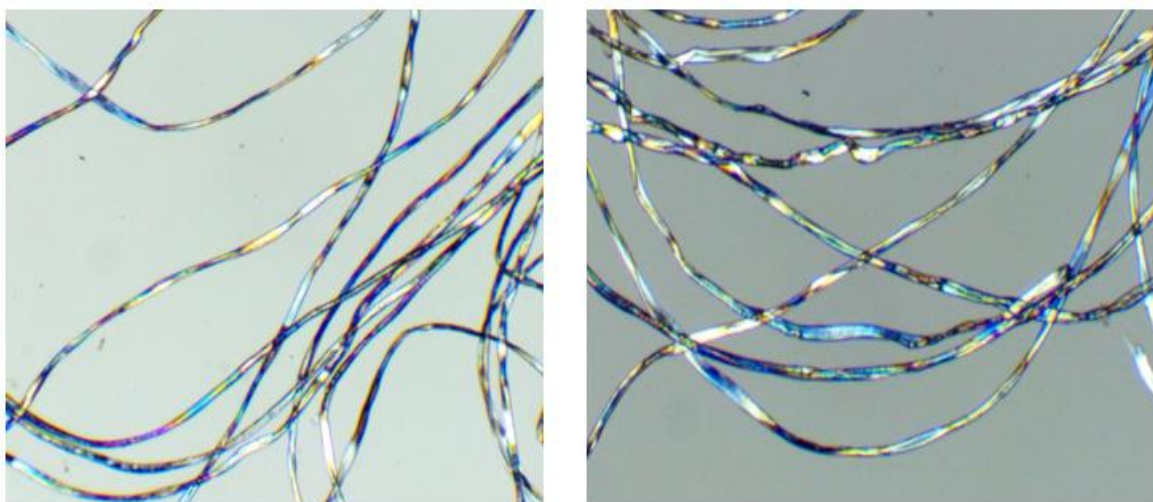


Figura B.1.1 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 4x.

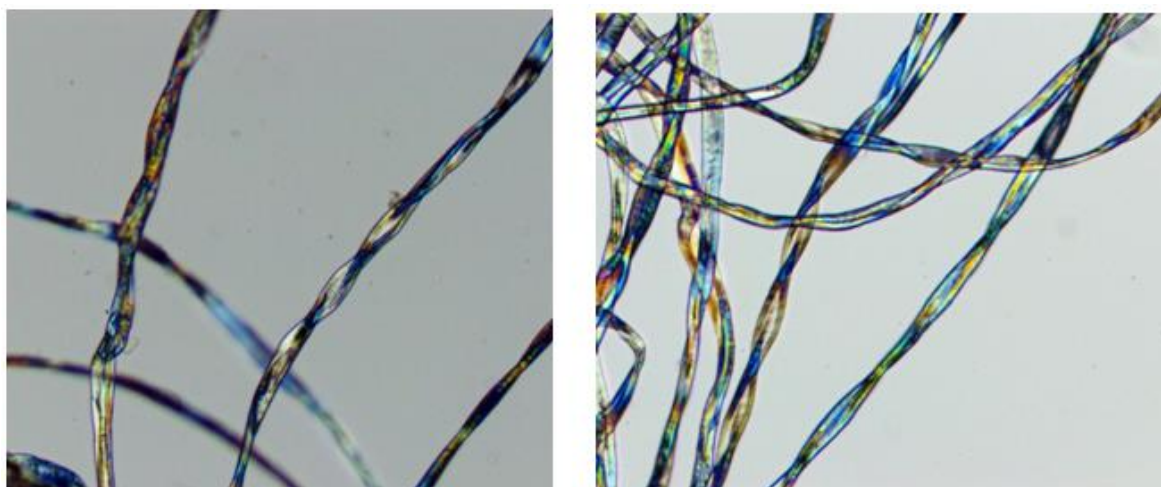


Figura B.1.2 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 10x.

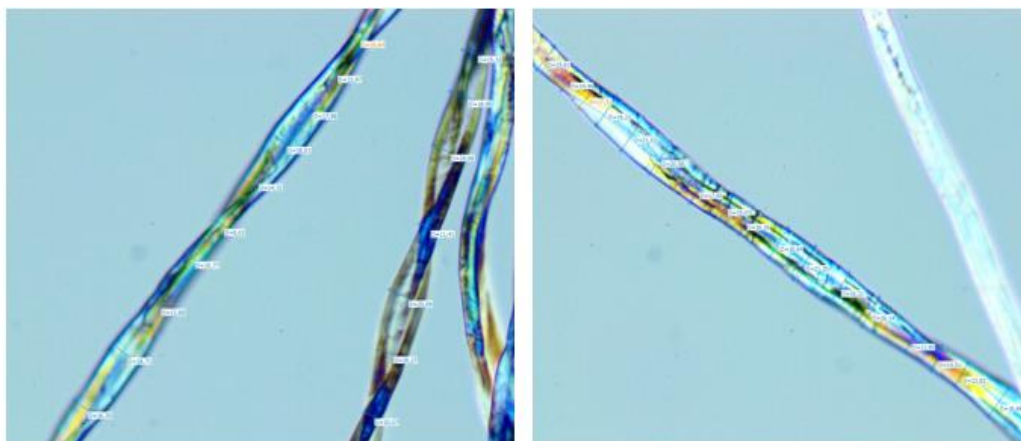


Figura B.1.3 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras das fibras em μm .

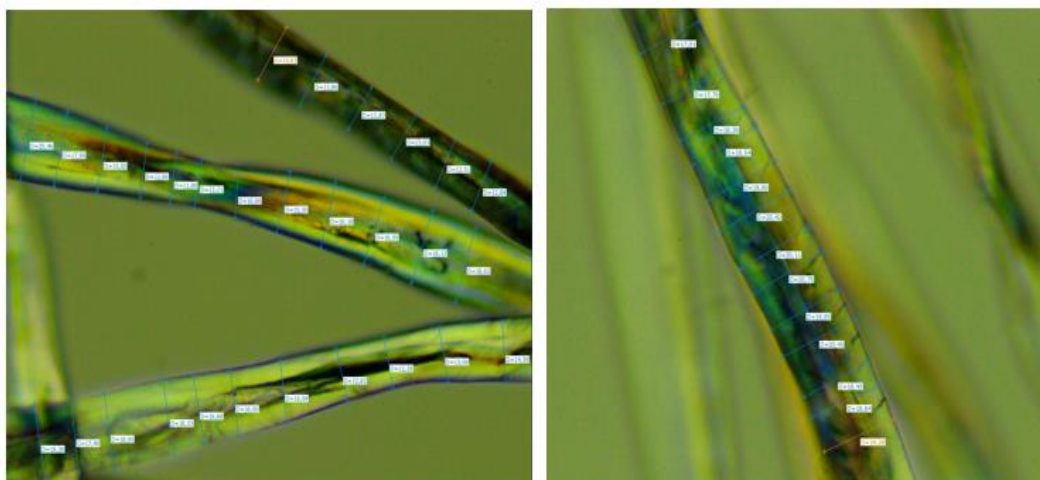


Figura B.1.4 - Visão longitudinal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 40x e as medições das espessuras das fibras em μm .

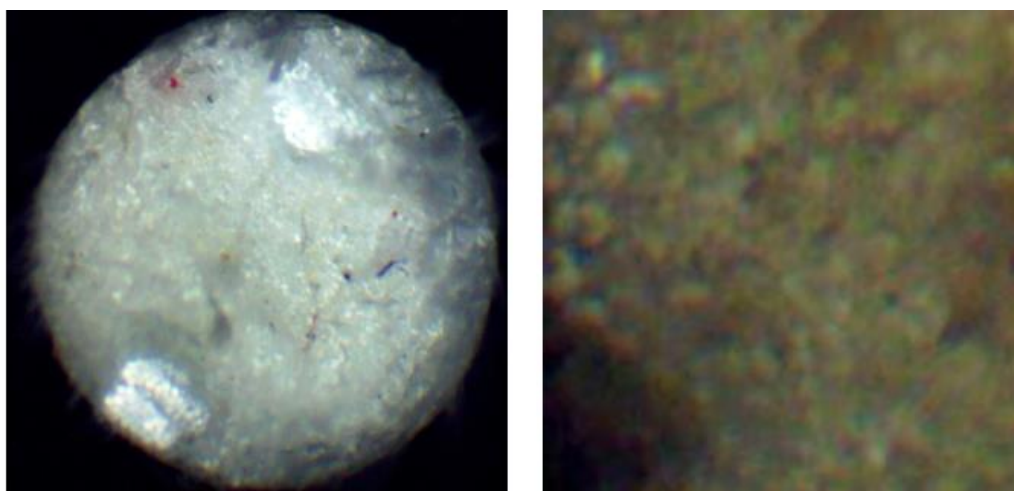


Figura B.1.5 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 4x.

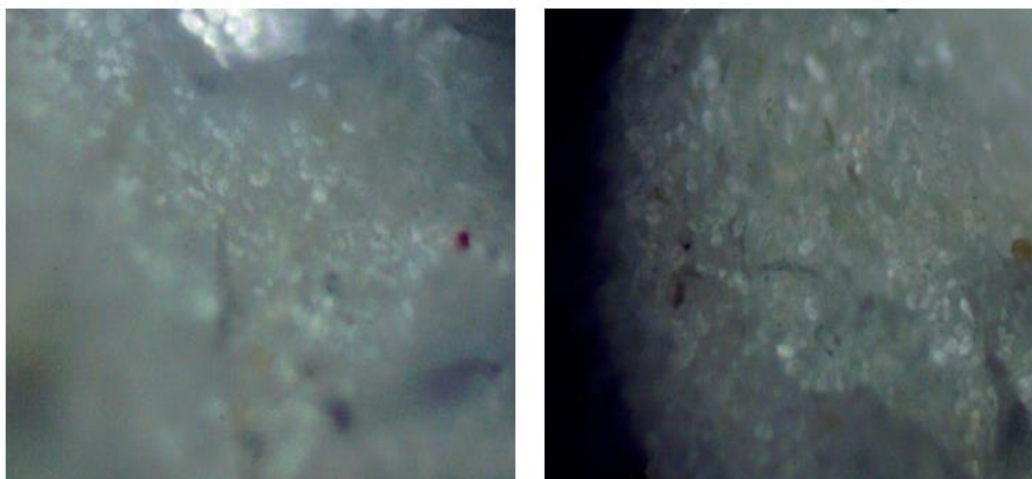


Figura B.1.6 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 10x.

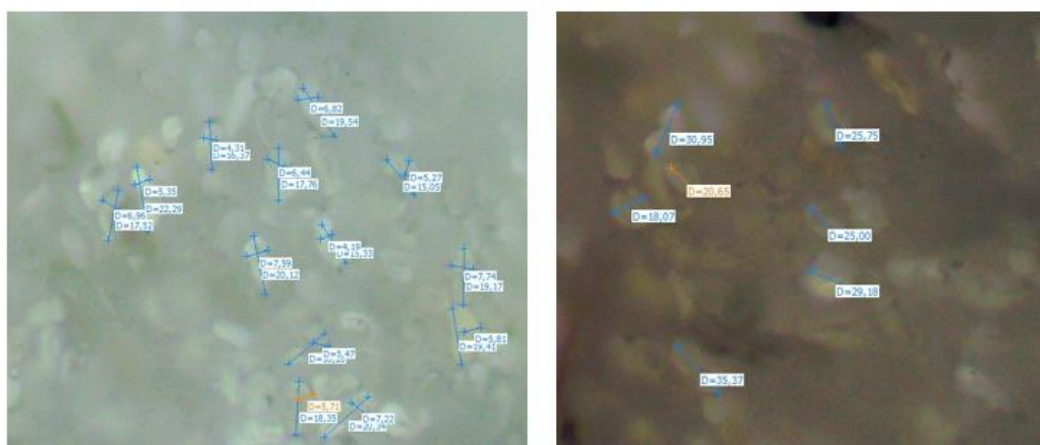


Figura B.1.7 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras das fibras em μm .

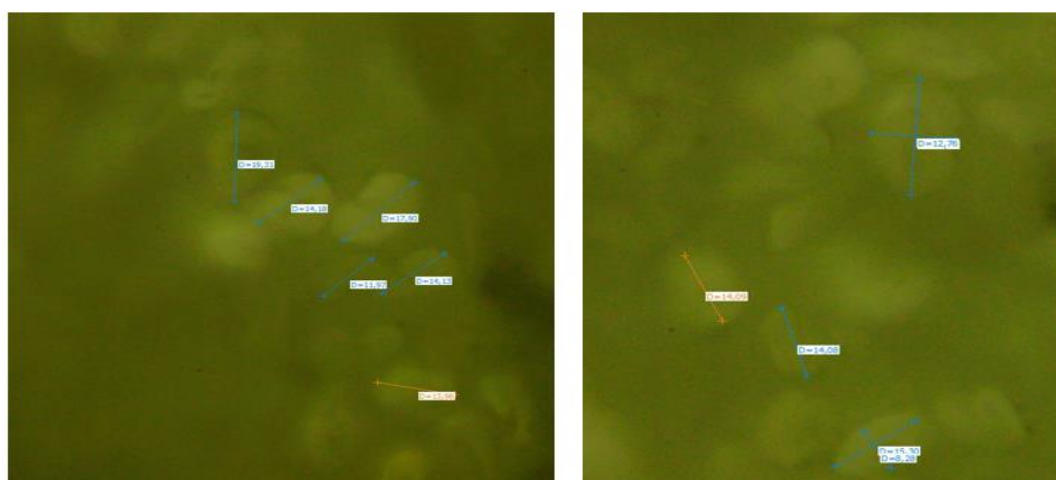


Figura B.1.8 - Corte transversal das fibras de algodão, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras das fibras em μm .

B.2 Morfologia das fibras de liocel

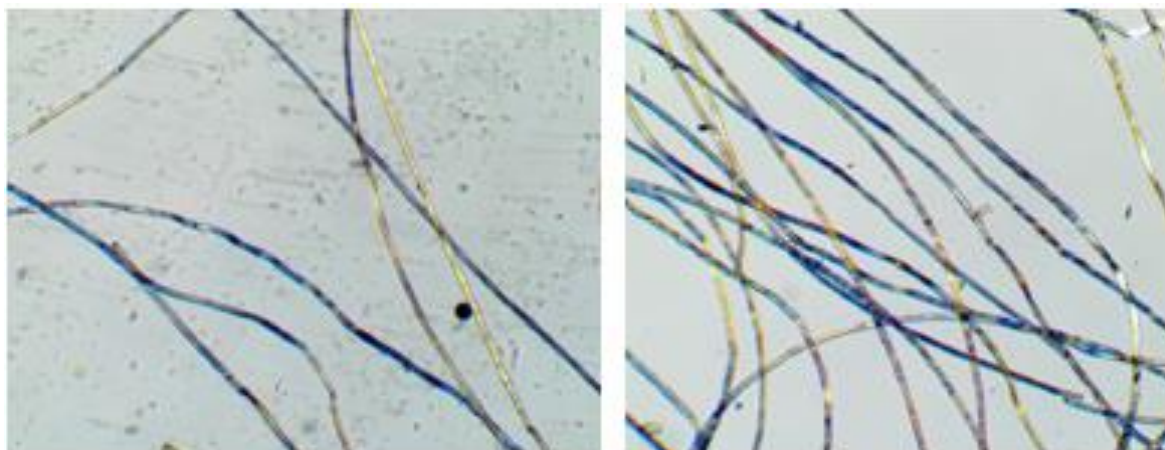


Figura B.2.1 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 4x.

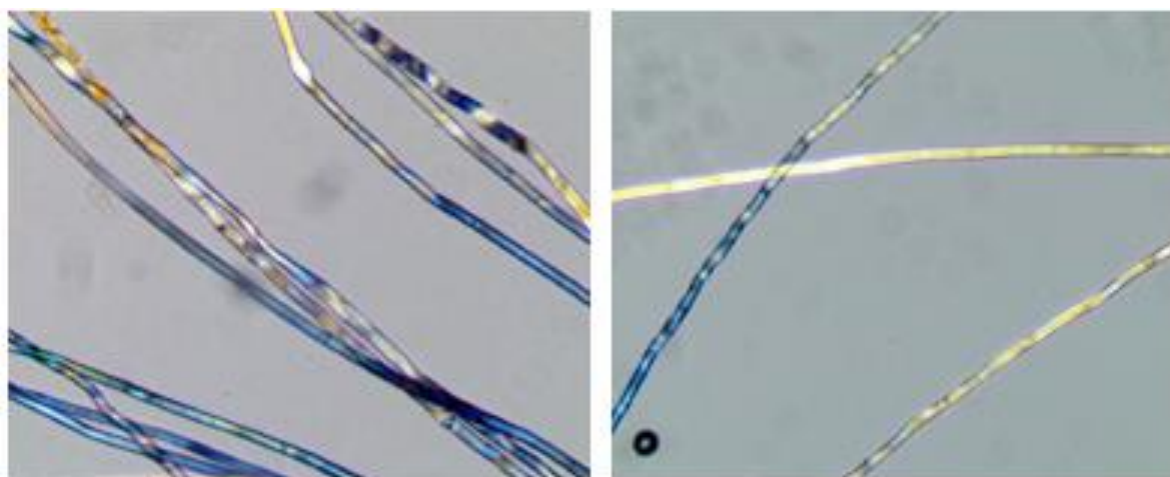


Figura B.2.2 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 10x.

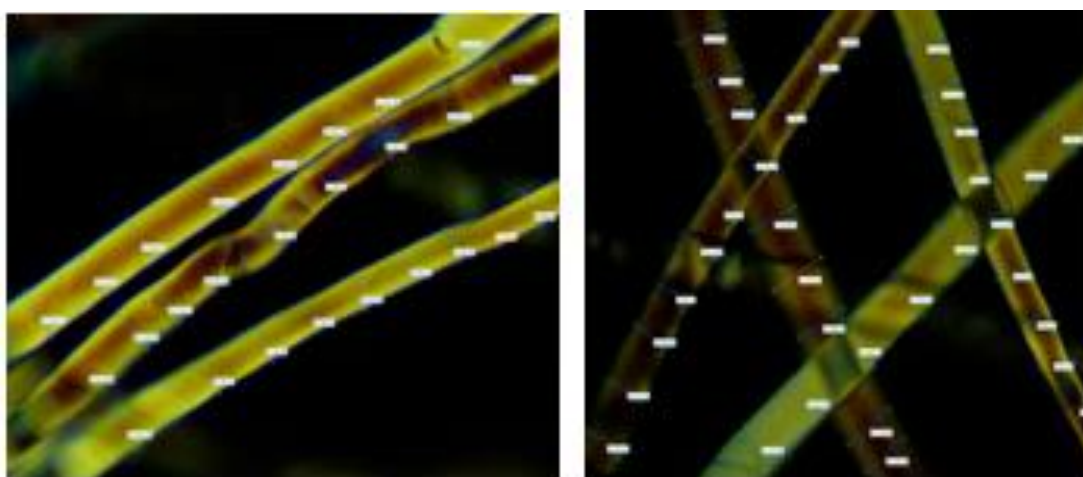


Figura B.2.3 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm .

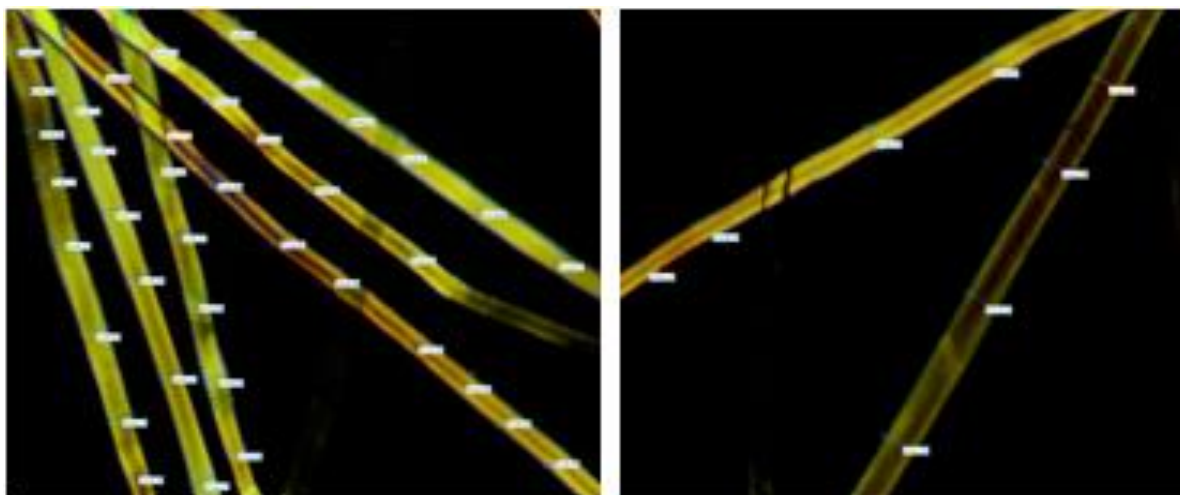


Figura B.2.4 - Visão longitudinal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm .

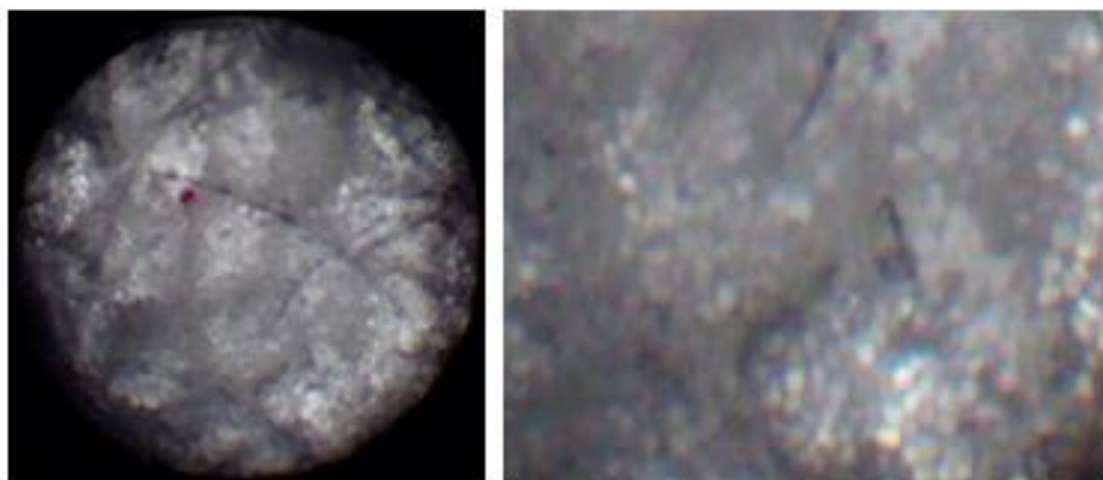


Figura B.2.5 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 4x.

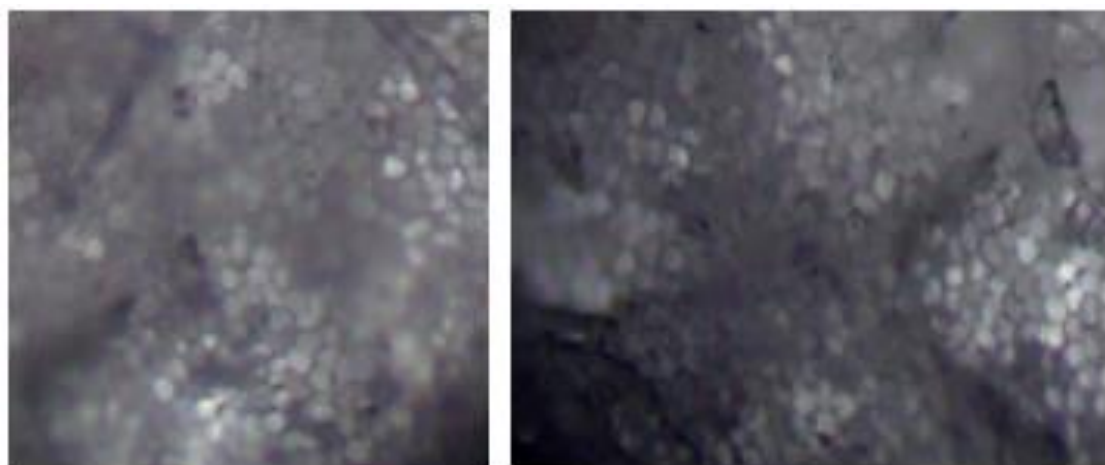


Figura B.2.6 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 10x

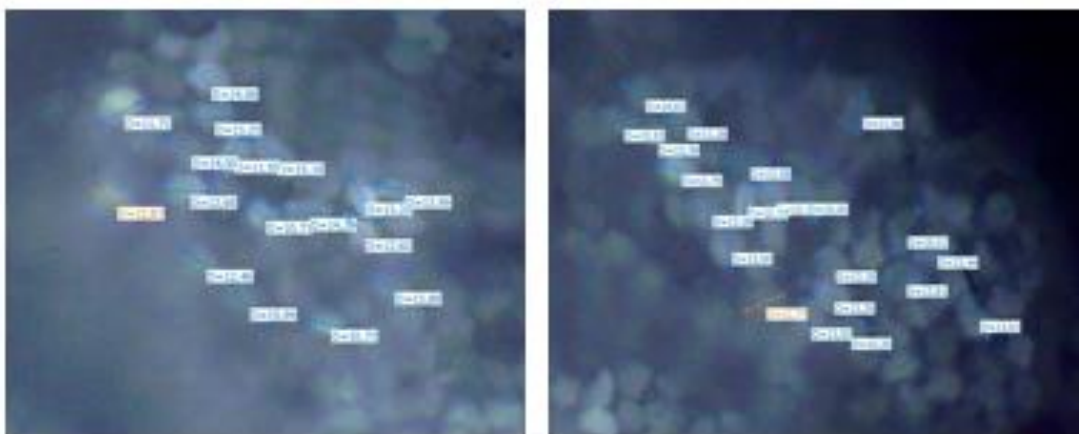


Figura B.2.7 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras, em μm , das fibras de algodão ilustradas.

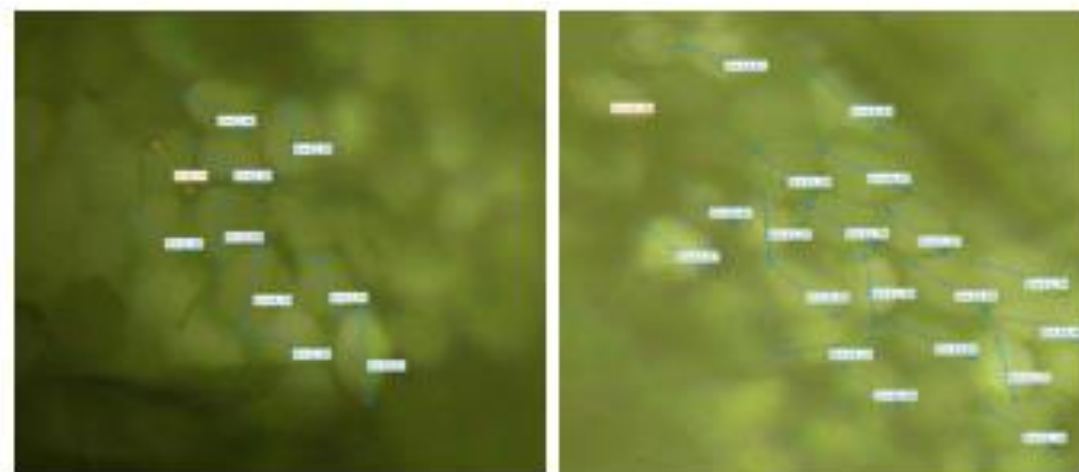


Figura B.2.8 - Corte transversal das fibras de liocel, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm .

B.3 Morfologia das fibras de poliéster

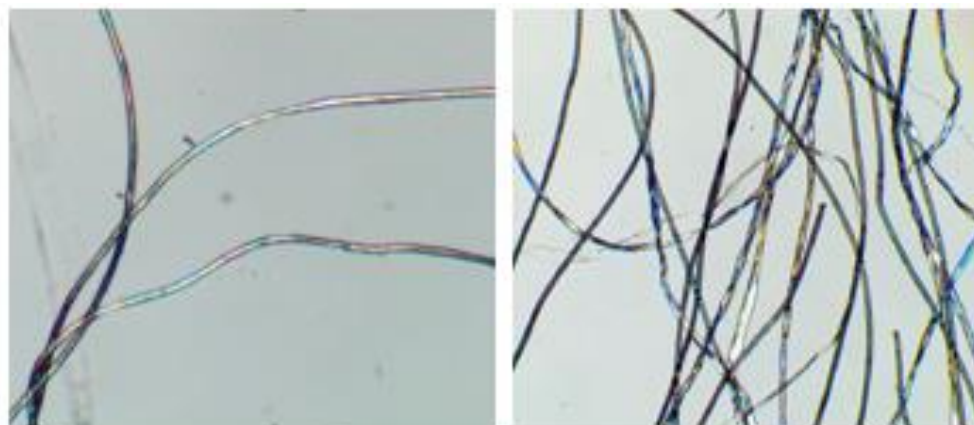


Figura B.3.1 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 4x.

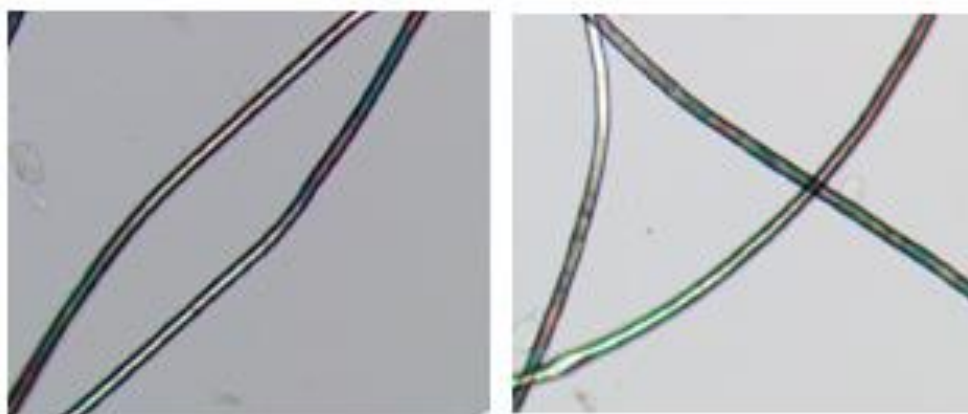


Figura B.3.2 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 10x.

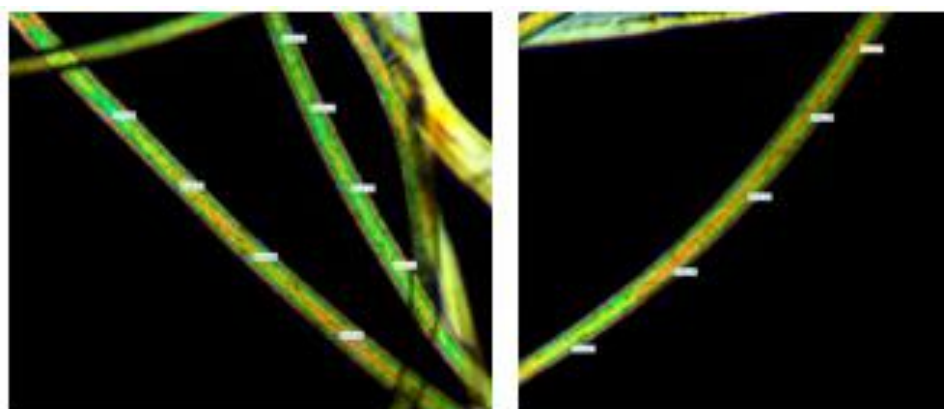


Figura B.3.3 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm .

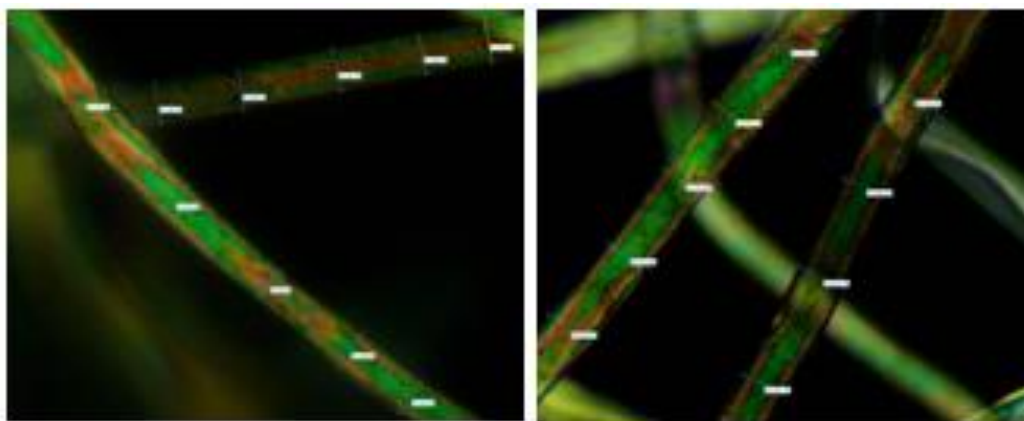


Figura B.3.4 - Visão longitudinal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm .

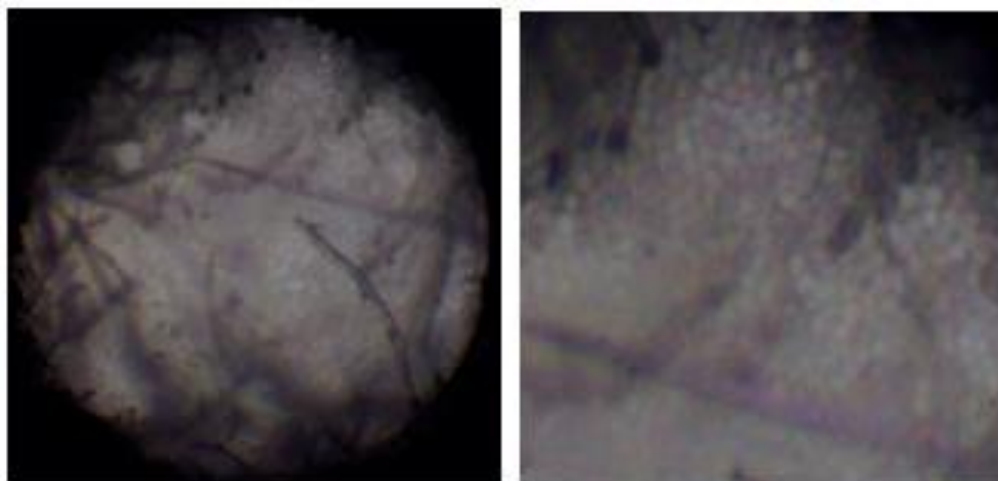


Figura B.3.5 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 4x.

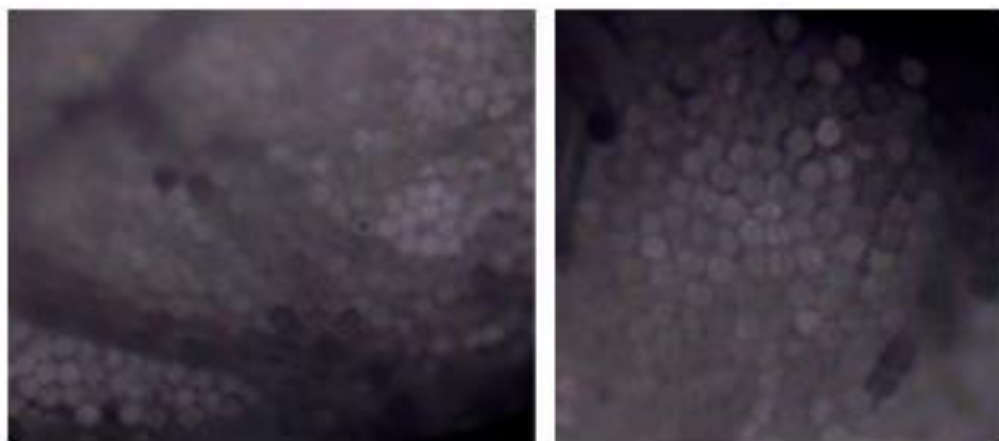


Figura B.3.6 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 10x

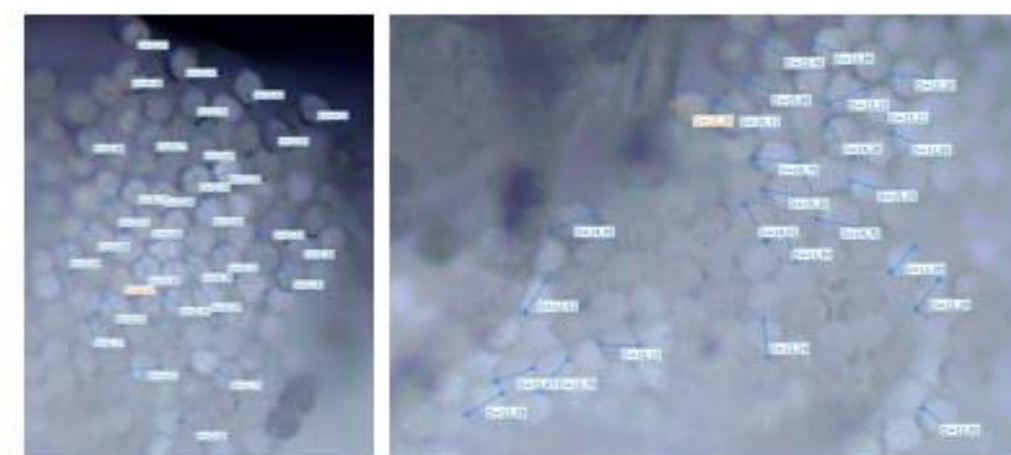


Figura B.3.7 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 20x e medições das espessuras em μm .

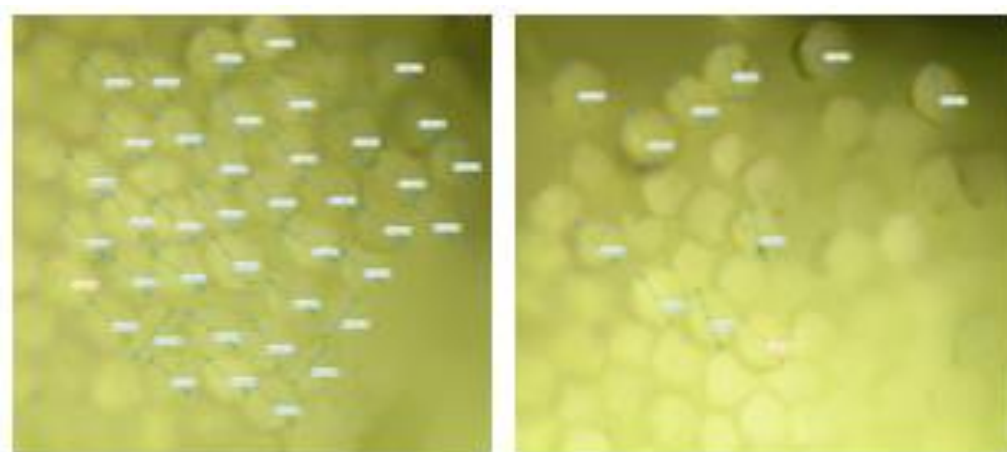


Figura B.3.8 - Corte transversal das fibras de poliéster, observadas com uma ampliação de 40x e medições das espessuras em μm .

Anexo C - Resultados obtidos para espessuras das fibras de algodão provenientes de diferentes fios

Neste anexo estão apresentadas todas as tabelas referentes aos resultados obtidos, para as espessuras das fibras de algodão de diferentes malhas. Foi feita, uma análise estatística referente a cada valor médio de espessura ($\bar{e}$) obtido. Os parâmetros estatísticos calculados foram, a população total de espessura medidas (Amostragem), o desvio padrão (σ_p), a variância (α_p^2), o valor de espessura máximo medido (Máximo), o valor de espessura mínimo medido (Mínimo) e o intervalo de confiança do valor de espessura médio a 98% ($IC_{\mu,98\%}$), os parâmetros estáticos calculados encontram-se nas respetivas tabelas. No anexo encontram-se as fórmulas matemáticas usadas no cálculo dos parâmetros estatísticos.

Para cada malha circular estudada, foram retiradas duas amostras de fibras, provenientes de fios diferentes retirados da estrutura da malha em estudo. Foram feitos estudos a imagens longitudinais e de cortes transversais da fibra. A unidade de espessura das fibras, assim como dos parâmetros estatísticos a ela associados, é o μm .

C.1 Resultados obtidos a partir das medições de espessuras através de vistas longitudinais

I) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Jersey* e constituídas apenas por fibras de algodão.

Tabela C.1.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x.

1 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	56	47	72	48	42	57	40
$\bar{e}$ (μm)	15,03	16,21	15,47	15,59	15,11	11,76	15,83
σ_p (μm)	3,62	5,25	4,86	4,32	2,62	2,23	4,34
σ_p^2 (μm)	13,12	27,26	23,58	18,69	6,85	4,97	18,87
Máximo (μm)	23,72	25,65	24,83	23,27	22,68	16,58	22,52
Mínimo (μm)	7,69	7,82	7,19	7,19	9,99	7,90	9,97
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[13,91; 16,16]	[14,43; 18,00]	[14,13; 16,80]	[14,13; 17,04]	[11,07; 12,45]	[11,07; 12,45]	[12,23; 17,43]
2 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	44	26	61	44	29	28	31
$\bar{e}$ (μm)	36,92	14,09	14,02	17,54	21,36	12,40	17,04
σ_p (μm)	2,73	2,81	2,66	4,15	4,17	3,28	3,08
σ_p^2 (μm)	7,46	7,88	7,09	17,23	17,38	10,76	9,46
Máximo (μm)	23,12	18,63	20,07	26,23	28,36	17,79	22,00
Mínimo (μm)	12,15	10,01	8,90	9,15	11,41	7,25	11,36
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[15,96;17,88]	[12,81; 15,38]	[13,23; 14,81]	[16,08; 19,00]	[19,56; 23,17]	[10,95; 13,84]	[15,75; 18,33]

Tabela C.1.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 40x.

1 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	35	55	55	46	28	31	22
$\bar{e}$ (μm)	16,85	11,66	13,46	12,98	18,50	12,96	16,65
σ_p (μm)	1,84	2,56	4,41	2,24	2,53	4,47	1,15
σ_p^2 (μm)	3,39	6,67	19,46	5,01	6,43	19,95	1,33
Máximo (μm)	19,07	18,75	21,17	19,06	22,11	23,22	15,59
Mínimo (μm)	12,18	8,41	8,08	9,16	12,03	7,74	14,03
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[16,13; 17,58]	[10,86; 12,47]	[12,08; 14,85]	[12,21; 13,74]	[17,39; 19,52]	[11,07; 12,45]	[16,08; 17,22]
2 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	28	33	43	36	28	33	33
$\bar{e}$ (μm)	17,18	16,25	14,02	16,45	17,97	15,53	11,25
σ_p (μm)	2,16	4,84	2,66	2,30	1,46	2,41	1,27
σ_p^2 (μm)	4,67	23,44	7,09	5,30	2,13	5,80	1,61
Máximo (μm)	20,15	24,64	20,07	20,13	17,30	19,95	12,73
Mínimo (μm)	12,65	8,71	8,90	11,95	12,21	10,86	8,07
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[16,22; 18,13]	[14,29; 18,21]	[13,23; 14,81]	[15,55; 17,34]	[134,33; 15,62]	[14,56; 16,51]	[10,73; 11,76]

II) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Jersey* e constituídas por fibras de algodão, maioritariamente, e de elastano.

Tabela C.1.3 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.

Título do Fio	Jersey % CO - % EL							
	Ampliação 20x				Ampliação 40x			
	1º Amostra		2º Amostra		1º Amostra		2º Amostra	
	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	25	50	47	37	28	28	22	45
$\bar{e}$ (μm)	14,90	13,52	18,87	15,48	14,53	14,53	13,83	13,47
σ_p (μm)	1,91	4,91	2,89	3,06	0,90	0,90	1,93	2,37
σ_p^2 (μm)	3,64	24,15	8,33	9,36	0,81	0,81	3,72	5,63
Máximo (μm)	19,45	23,04	23,51	21,58	16,60	16,60	16,02	18,46
Mínimo (μm)	11,27	6,43	11,99	8,76	12,86	12,86	10,33	10,13
IC _{$\bar{e}$,98%} (μm)	[14,01; 15,79]	[11,90; 15,14]	[17,89; 19,85]	[14,31; 16,65]	[14,14; 14,93]	[14,14; 14,93]	[12,87; 14,79]	[12,64; 14,30]

III) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Piqué Lacoste* e constituídas apenas por fibras de algodão.

Tabela C.1.4 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.

Título do Fio	Piqué 100% CO					
	Ampliação 20x					
	1º Amostra			2º Amostra		
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
Amostragem	40	42	21	20	50	40
$\bar{e}$ (μm)	14,78	13,25	14,99	18,31	12,90	12,38
σ_p (μm)	3,67	2,64	4,16	1,75	2,93	2,05
σ_p^2 (μm)	13,49	6,97	17,29	3,06	8,61	4,19
Máximo (μm)	22,27	20,06	23,48	22,05	18,19	16,42
Mínimo (μm)	7,91	6,21	7,67	15,38	1,50	7,67
IC _{$\bar{e}$,98%} (μm)	[13,43; 16,14]	[12,30; 14,20]	[12,88; 16,14]	[17,40; 19,22]	[11,93; 13,86]	[11,63; 19,22]
Título do Fio	Ampliação 40x					
	1º Amostra			2º Amostra		
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
Amostragem	23	25	49	28	24	28
$\bar{e}$ (μm)	14,56	16,20	13,13	17,70	13,68	14,85
σ_p (μm)	2,46	3,19	2,00	2,42	1,86	4,28
σ_p^2 (μm)	6,04	10,18	4,00	5,87	3,45	18,35
Máximo (μm)	20,11	20,07	18,17	20,75	17,68	22,13
Mínimo (μm)	11,09	10,86	10,51	11,38	10,58	9,08
IC _{$\bar{e}$,98%} (μm)	[13,67; 15,76]	[14,71; 17,69]	[12,46; 15,76]	[16,64; 18,77]	[12,78; 14,56]	[12,96; 18,77]

C.2 Resultados obtidos a partir das medições de espessuras através das vistas do corte transversal

I) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Jersey* e constituídas apenas por fibras de algodão.

Tabela C.2.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x.

1 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	19	16	11	19	17	11	18
$\bar{e}$ (μm)	22,48	15,21	21,60	15,53	14,90	18,30	14,14
σ_p (μm)	4,63	2,38	5,13	4,17	3,59	2,81	1,87
σ_p^2 (μm)	21,47	5,66	26,35	17,36	12,92	7,90	3,50
Máximo (μm)	29,47	20,03	29,33	22,55	20,69	23,76	17,84
Mínimo (μm)	14,62	9,78	13,29	8,99	9,02	14,35	10,44
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[20,00; 24,95]	[13,83; 16,60]	[18,00; 25,21]	[13,30; 17,76]	[12,87; 16,93]	[16,33; 20,28]	[13,12; 15,17]
2 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	28	20	32	17	16	27	23
$\bar{e}$ (μm)	14,79	14,64	18,29	18,00	13,49	13,68	13,91
σ_p (μm)	2,40	5,01	3,79	3,28	2,41	2,77	3,40
σ_p^2 (μm)	5,77	25,05	14,40	10,76	5,80	7,65	11,54
Máximo (μm)	18,49	24,00	25,76	23,60	17,31	18,90	19,05
Mínimo (μm)	10,61	7,74	10,49	11,67	10,55	8,21	6,58
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[13,74; 15,85]	[12,03; 17,25]	[16,72; 19,85]	[16,15; 19,86]	[12,09; 14,89]	[12,44; 14,92]	[12,26; 15,56]

Tabela C.2.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 40x.

1 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	14	16	18	17	20	22	13
$\bar{e}$ (μm)	13,56	11,01	15,76	18,46	11,52	9,39	16,97
σ_p (μm)	1,72	0,63	2,51	2,54	2,20	1,24	1,22
σ_p^2 (μm)	2,96	0,40	6,29	6,45	4,83	1,55	1,50
Máximo (μm)	16,10	11,77	20,38	22,77	14,84	11,15	18,96
Mínimo (μm)	10,51	9,70	11,58	14,45	7,84	6,95	13,95
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[12,49; 14,63]	[10,64; 11,38]	[14,39; 17,14]	[17,02; 19,89]	[10,37; 12,66]	[8,78; 10,01]	[16,17; 17,75]
2 ° Amostra							
Título do Fio	40/3 Ne	3/1 Ne	10/1 Ne	12/1 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	11	15	23	29	14	12	12
$\bar{e}$ (μm)	16,61	26,88	14,36	14,99	14,40	19,97	14,91
σ_p (μm)	2,17	1,73	1,61	2,58	4,15	1,45	1,02
σ_p^2 (μm)	4,73	2,99	2,60	6,63	17,22	2,10	1,05
Máximo (μm)	19,20	29,95	16,99	20,46	20,08	22,52	16,36
Mínimo (μm)	12,66	24,20	11,45	10,66	5,96	17,22	12,61
IC $\bar{e}$,98% (μm)	[15,09; 18,14]	[25,84; 27,92]	[13,48; 15,04]	[13,32; 16,04]	[11,82; 16,99]	[18,99; 20,94]	[14,22; 15,60]

II) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Jersey* e constituídas por fibras de algodão, maioritariamente, e de elastano.

Tabela C.2.3 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x

Título do Fio	Jersey % CO - % EL							
	Ampliação 20x				Ampliação 40x			
	1º Amostra		2º Amostra		1º Amostra		2º Amostra	
	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne	40/1 Ne	80/1 Ne
Amostragem	29	15	12	32	24	21	13	24
$\bar{e}$ (μm)	15,30	15,21	14,89	15,24	10,69	17,19	20,42	11,49
σ_p (μm)	2,40	3,17	2,09	4,35	3,03	2,36	2,46	1,11
σ_p^2 (μm)	5,76	10,05	2,09	4,35	9,17	5,55	6,05	1,23
Máximo (μm)	21,13	20,81	18,35	24,65	15,27	20,49	22,80	13,05
Mínimo (μm)	10,99	9,02	11,36	7,94	5,76	11,16	15,98	8,37
IC $\bar{e}_{98\%}$ (μm)	[14,26; 16,34]	[13,30; 17,12]	[13,48; 16,29]	[13,45; 17,04]	[9,25; 12,13]	[15,9; 18,39]	[18,83; 22,01]	[10,6; 12,01]

III) Resultados obtidos para as espessuras das fibras de algodão provenientes das malhas circulares com estrutura *Piquet Lacoste* e constituídas apenas por fibras de algodão.

Tabela C.2.4 - Resultados obtidos para as medições de espessura, usando a lente ampliadora de 20x e 40x.

Título do Fio	Piqué 100% CO					
	Ampliação 20x					
	1º Amostra			2º Amostra		
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
Amostragem	7	35	32	21	35	26
$\bar{e}$ (μm)	13,13	13,77	18,17	14,77	11,10	16,54
σ_p (μm)	2,18	3,14	3,46	2,82	2,90	3,32
σ_p^2 (μm)	4,75	9,84	11,99	7,98	8,40	11,02
Máximo (μm)	15,85	19,70	26,78	19,58	17,55	22,08
Mínimo (μm)	9,62	8,68	13,01	10,43	6,77	9,72
IC $\bar{e}_{98\%}$ (μm)	[11,21; 15,05]	[12,83; 15,01]	[16,75; 15,05]	[13,33; 16,21]	[9,95; 12,34]	[15,02; 16,21]
Título do Fio	Ampliação 40x					
	1º Amostra			2º Amostra		
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne	40/3 Ne	24/1 Ne	40/1 Ne
Amostragem	14	21	15	19	19	10
$\bar{e}$ (μm)	14,36	12,32	16,83	16,80	19,33	13,24
σ_p (μm)	1,46	2,60	3,32	2,17	3,93	1,13
σ_p^2 (μm)	2,14	6,77	11,04	4,72	15,48	1,28
Máximo (μm)	17,71	21,57	20,87	20,30	24,23	14,77
Mínimo (μm)	11,90	8,45	10,29	12,49	10,51	11,12
IC $\bar{e}_{98\%}$ (μm)	[13,45; 15,27]	[11,00; 13,65]	[14,83; 15,27]	[15,34; 17,96]	[17,23; 21,44]	[12,41; 17,96]

Anexo D - Resultados obtidos nos testes de determinação da massa por unidade de superfície em malhas circulares

Neste anexo estão apresentados todos os resultados medidos para os testes de gramagem deste projeto. Assim como o valor médio de gramagem (μ), a gramagem total das cinco amostras ($\text{Massa}_{\text{Total}}$) e a razão entre a gramagem total e a amostragem (μ_{Total}). É também apresentada uma análise estatística detalhada dos valores médios de gramagem obtidos em cada ensaio. Os parâmetros estatísticos foram: σ_p é o desvio padrão associado a μ ; α_p^2 que se refere ao valor de variância associado a μ ; Máximo que se refere ao valor mais elevado medido; Mínimo que se refere ao valor mais baixo medido; Amostragem que se refere à população total de amostras médias; $IC_{\mu,98\%}$ é o intervalo de confiança de μ a 98%. Os parâmetros estatísticos apresentam as mesmas unidades de μ , gramas por decímetro quadrado. No anexo I encontram-se as fórmulas matemáticas usadas no cálculo dos parâmetros estatísticos.

D.1 Resultados obtidos para os testes de gramagem realizados às malhas de algodão com fios de diferentes títulos

Tabela D.1.1 - Resultados obtidos para medições da gramagem nas diferentes malhas.

		Gramagem ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)							
Estrutura e composição da Malha	Jersey 100% CO	Título do fio	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
		1	2,05	3,75	2,78	2,29	1,77	1,26	0,71
		2	2,04	3,77	2,78	2,29	1,77	1,26	0,71
		3	2,04	3,75	2,77	2,3	1,78	1,28	0,73
		4	2,05	3,76	2,76	2,31	1,78	1,25	0,71
		5	2,04	3,75	2,76	2,29	1,77	1,26	0,73
		μ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	2,044	3,76	2,77	2,30	1,77	1,26	0,72
		$\text{Massa}_{\text{Total}}$ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	10,22	18,62	13,86	11,44	8,87	6,31	3,62
		μ_{Total} ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	2,044	3,77	2,77	2,29	1,77	1,26	0,72
	Jersey % CO + % EL	1	-	-	-	-	-	2,3	1,65
		2	-	-	-	-	-	2,28	1,65
		3	-	-	-	-	-	2,27	1,64
		4	-	-	-	-	-	2,28	1,66
		5	-	-	-	-	-	2,28	1,67
		μ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	-	-	-	-	-	2,28	1,65
	Piquet 100% CO	$\text{Massa}_{\text{Total}}$ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	-	-	-	-	-	12,21	9,48
		μ_{Total} ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	-	-	-	-	-	2,44	1,90
		1	2,08	-	-	-	2,44	1,91	-
		2	2,09	-	-	-	2,45	1,91	-
		3	2,07	-	-	-	2,46	1,89	-
		4	2,09	-	-	-	2,45	1,9	-
		5	2,08	-	-	-	2,46	1,89	-
		μ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	2,082	-	-	-	2,45	1,90	-
		$\text{Massa}_{\text{Total}}$ ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	10,33	-	-	-	12,21	9,48	-
		μ_{Total} ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$)	2,066	-	-	-	2,44	1,90	-

Tabela D.1.2 - Análise estatística aos resultados obtidos para os testes de gramagem.

		Título do fio	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
Estrutura e composição da Malha	Jersey 100% CO	Amostragem	5	5	5	5	5	5	5
		μ (g·dm ⁻²)	2,04	3,75	2,77	2,29	1,77	1,26	0,71
		σ_p (g·dm ⁻²)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		σ^2_p (g·dm ⁻²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Máximo (g·dm ⁻²)	2,05	3,77	2,78	2,31	1,78	1,28	0,73
		Mínimo (g·dm ⁻²)	2,04	3,75	2,76	2,29	1,77	1,25	0,71
		IC $\mu_{,98\%}$ (g·dm ⁻²)	[2,03; 2,05]	[3,74; 3,76]	[2,76; 2,78]	[2,28; 2,30]	[1,76; 1,78]	[1,25; 1,27]	[0,70; 0,72]
	Jersey % CO + % EL	Amostragem	-	-	-	-	-	5	5
		μ (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	2,28	1,65
		σ_p (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	0,01	0,01
		σ^2_p (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	0,00	0,00
		Máximo (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	2,30	1,67
		Mínimo (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	2,27	1,64
		IC $\mu_{,98\%}$ (g·dm ⁻²)	-	-	-	-	-	[2,27; 2,29]	[1,64; 1,66]
	Piquet 100% CO	Amostragem	5	-	-	-	5	5	-
		μ (g·dm ⁻²)	2,08	-	-	-	2,452	1,9	-
		σ_p (g·dm ⁻²)	0,01	-	-	-	0,01	0,01	-
		σ^2_p (g·dm ⁻²)	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-
		Máximo (g·dm ⁻²)	2,09	-	-	-	2,46	1,91	-
		Mínimo (g·dm ⁻²)	2,07	-	-	-	2,44	1,89	-
		IC $\mu_{,98\%}$ (g·dm ⁻²)	[2,07; 2,09]	-	-	-	[2,44; 2,46]	[1,89; 1,91]	-

D.2 Resultados obtidos para os testes de gramagem realizados às malhas das diferentes fibras

Tabela D.2.1 - Resultados obtidos para medições da gramagem das malhas para as diferentes fibras.

Algodão			
Ensaio	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
1	1,74	1,61	2,58
2	1,76	1,62	2,58
3	1,75	1,59	2,6
4	1,75	1,61	2,6
5	1,75	1,59	2,56
Massa_{Total} (g)	8,76	7,85	12,95
μ_{Total} (g·dm⁻²)	1,75	1,57	2,59
Liocel			
Ensaio	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
1	1,49	1,4	2,38
2	1,48	1,38	2,35
3	1,48	1,4	2,35
4	1,47	1,4	2,37
5	1,49	1,38	2,38
Massa_{Total} (g)	7,44	6,94	11,98
μ_{Total} (g·dm⁻²)	1,49	1,39	2,40
Poliéster			
Ensaio	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
1	1,62	1,49	2,24
2	1,63	1,49	2,26
3	1,63	1,47	2,24
4	1,62	1,49	2,23
5	1,63	1,48	2,22
Massa_{Total} (g)	8,15	7,32	11,19
μ_{Total} (g·dm⁻²)	1,63	1,46	2,24

Tabela D.2.2 - Análise estatística aos resultados obtidos para os testes de gramagem das malhas para as diferentes fibras.

	Algodão		
	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
Amostragem	5	5	5
μ (g·dm ⁻²)	2,53	2,16	2,13
σ_p (g·dm ⁻²)	2,04	2,09	2,10
σ^2_p (g·dm ⁻²)	4,14	4,39	4,43
Máximo (g·dm ⁻²)	5	5	5
Mínimo (g·dm ⁻²)	0,01496663	0,007483315	0,009797959
IC μ ,98% (g·dm ⁻²)	[1,74; 1,76]	[1,59; 1,62]	[2,56; 2,60]
	Liocel		
	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
Amostragem	5	5	5
μ (g·dm ⁻²)	1,48	1,39	2,37
σ_p (g·dm ⁻²)	0,01	0,01	0,01
σ^2_p (g·dm ⁻²)	0,00	0,00	0,00
Máximo (g·dm ⁻²)	1,49	1,4	2,38
Mínimo (g·dm ⁻²)	1,47	1,38	2,35
IC μ ,98% (g·dm ⁻²)	[1,47; 1,49]	[1,38; 1,40]	[2,35; 2,38]
	Poliéster		
	<i>Piquet Lacoste</i>	<i>Jersey Simples</i>	<i>Jersey Elastano</i>
Amostragem	5	5	5
μ (g·dm ⁻²)	1,63	1,48	2,24
σ_p (g·dm ⁻²)	0,00	0,01	0,01
σ^2_p (g·dm ⁻²)	0,00	0,00	0,00
Máximo (g·dm ⁻²)	1,63	1,49	2,26
Mínimo (g·dm ⁻²)	1,62	1,47	2,22
IC μ ,98% (g·dm ⁻²)	[1,62; 1,63]	[1,48; 1,49]	[2,22; 2,25]

Anexo E - Resultados obtidos nos testes de resistência à formação de borboto em malhas circulares

Neste projeto foram aplicados dois métodos para avaliar a resistência das malhas circulares à formação de borboto. Os métodos utilizados foram o método de *Martindale* e o método de *Pilling Box*.

Neste anexo estão expostas figuras que representam os resultados obtidos, com intuito de tornar mais fácil a percepção da quantidade de borboto formada na superfície das diferentes malhas para cada método.

Na Figura E.1 está apresentada a escala utilizada para avaliar e quantificar, em ambos os métodos, o borboto formado à superfície das diferentes malhas.

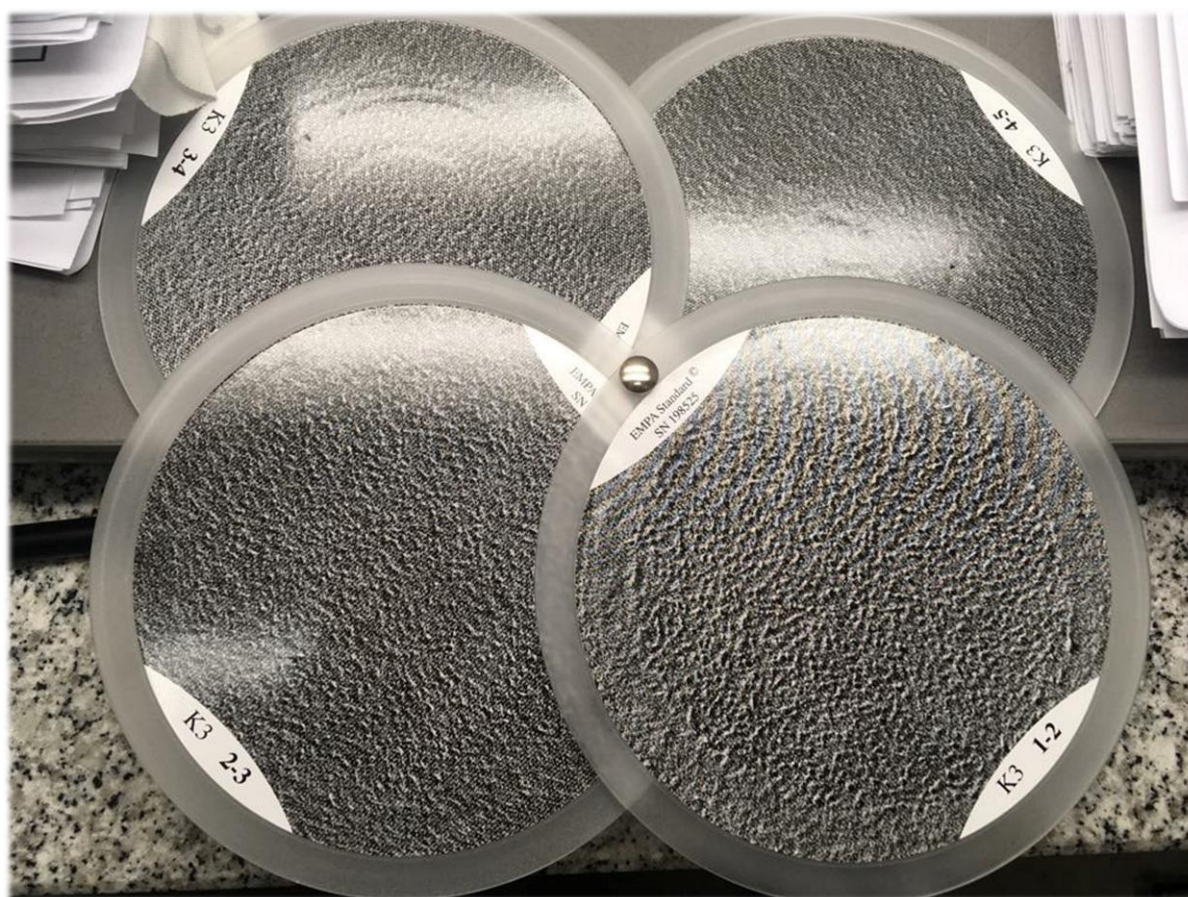


Figura E.1 - Escala usada para avaliar e quantificar o borboto formado à superfície das malhas como resultado dos testes de *Martindale* e *Pilling Box*.

E.1 Resultados obtidos com o método de *Martindale*



Figura E.1.1 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas *Jersey* 100% algodão com fios de diferentes títulos.

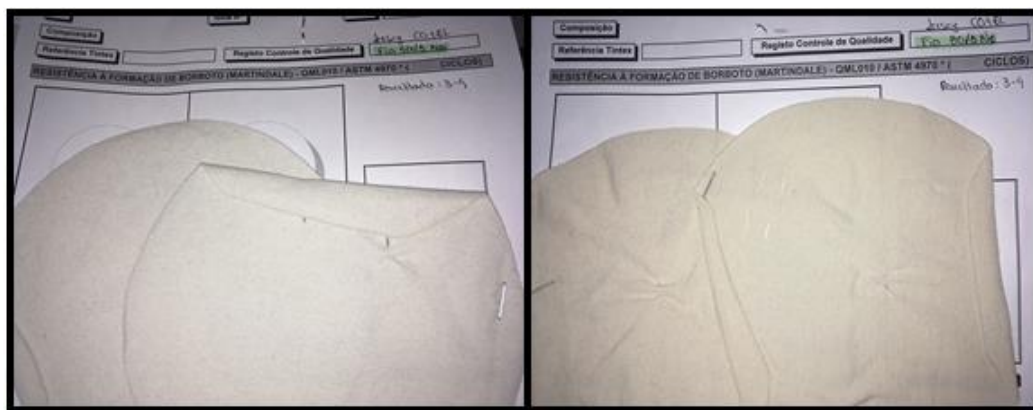


Figura E.1.2 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas *Jersey* com diferentes títulos e constituídas fibras de algodão e elastano.

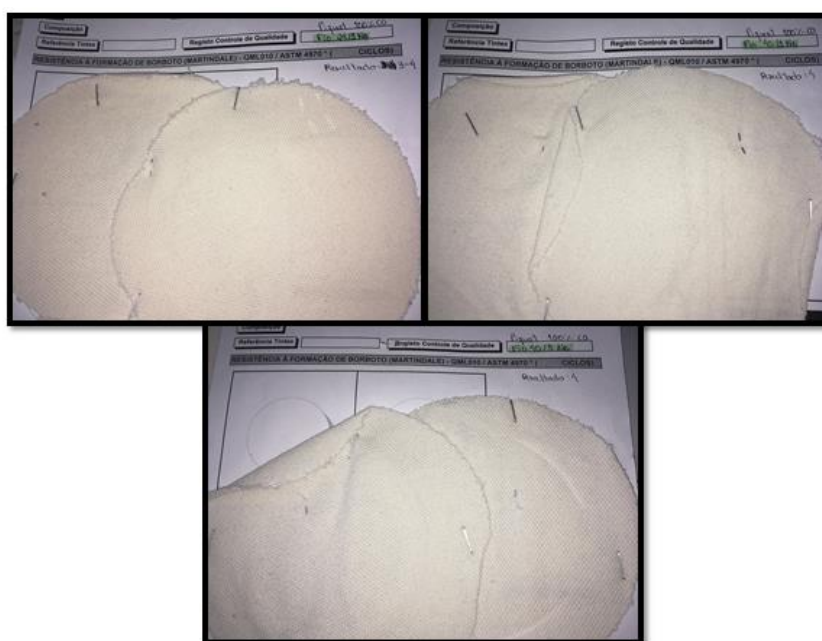


Figura E.1.3 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas *Piquet Lacoste* com diferentes títulos e constituídas apenas fibras de algodão.

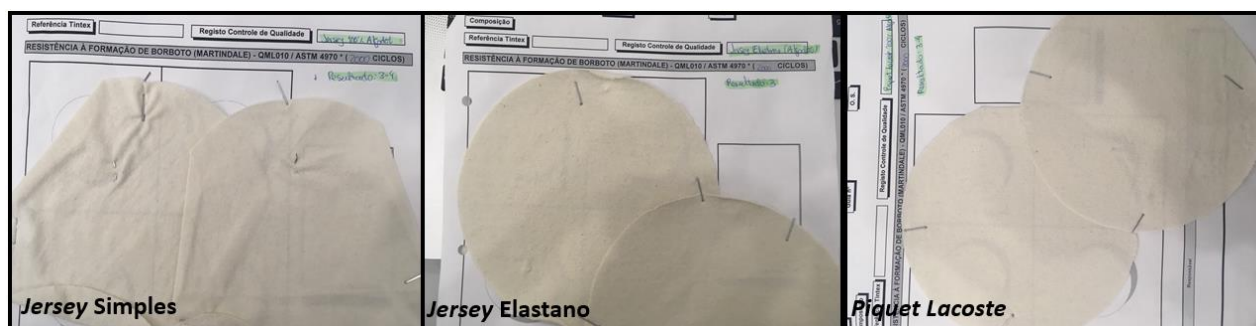


Figura E.1.4 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.

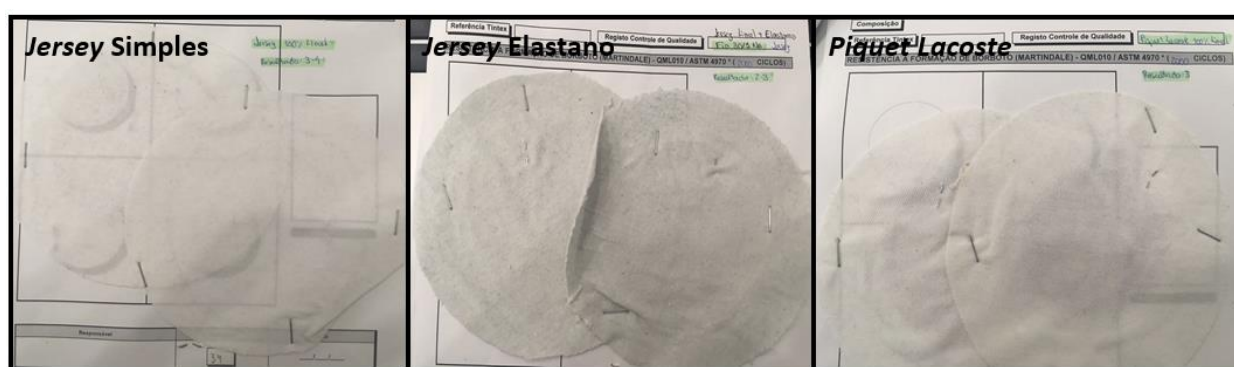


Figura E.1.5 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.

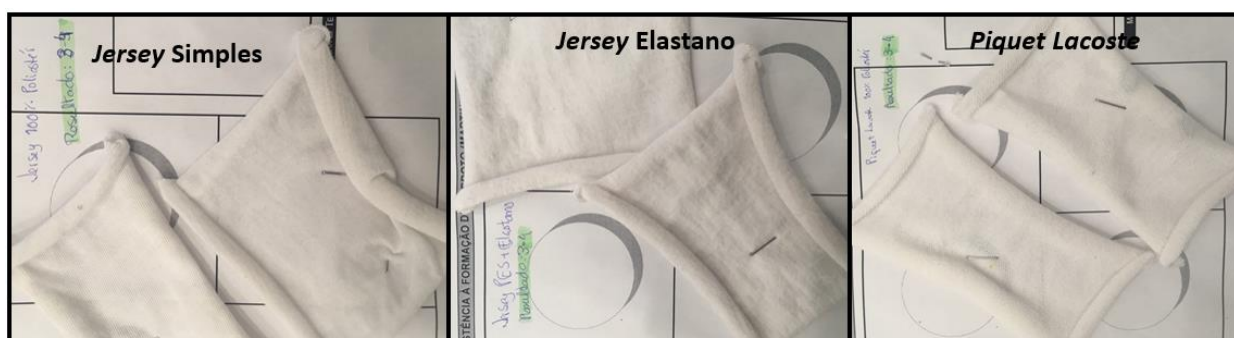


Figura E.1.6 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Martindale* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.

E.2 Resultados obtidos com o método de *Pilling Box*

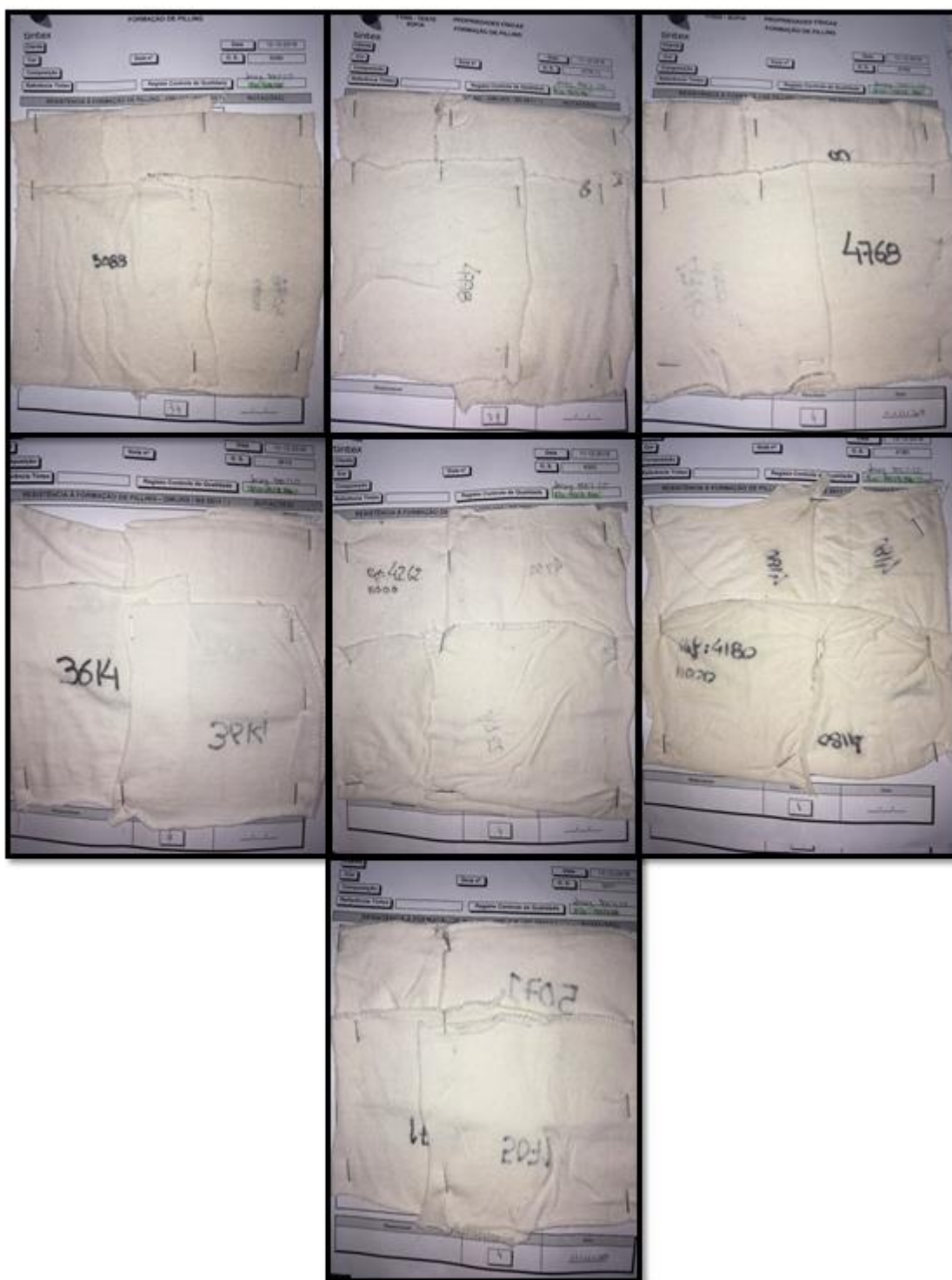


Figura E.2.1 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas Jersey 100% algodão.

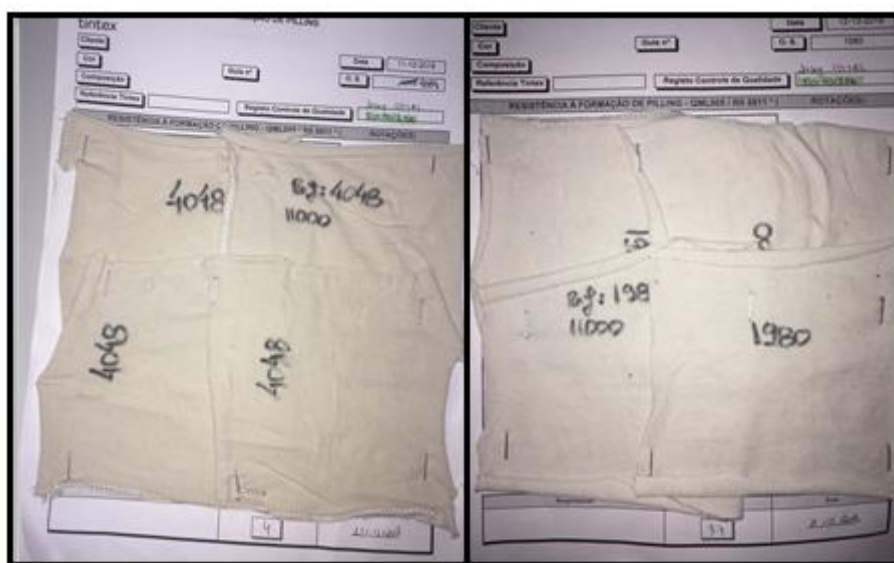


Figura E.2.2 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas *Jersey* com fibras de algodão e elastano.

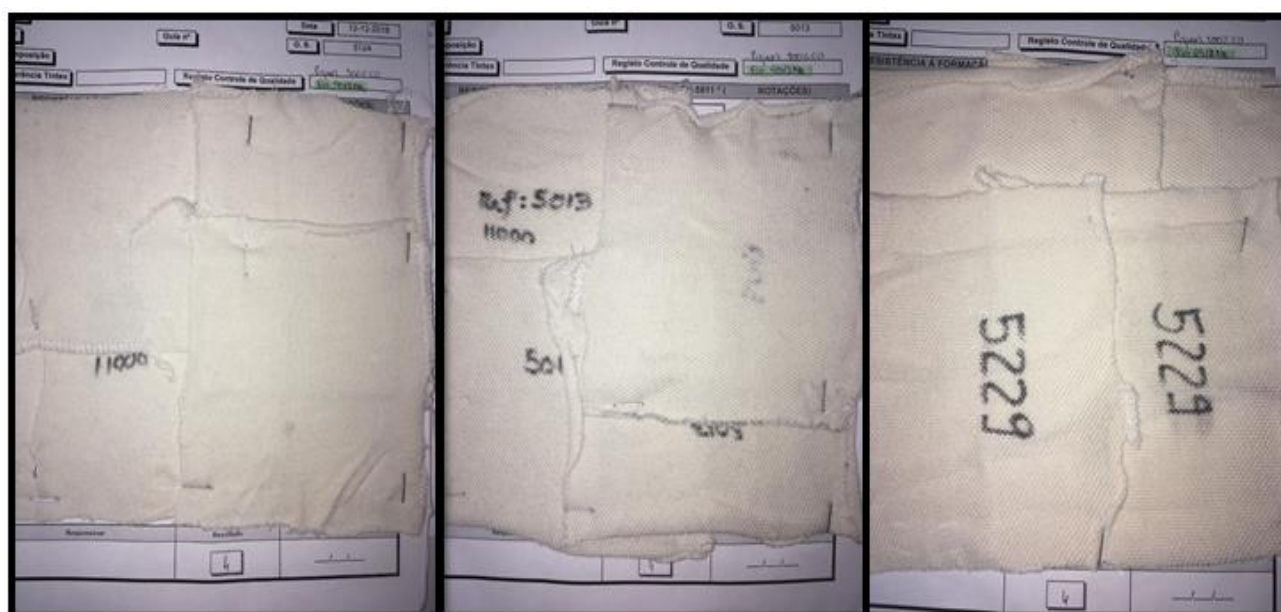


Figura E.2.3 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas *Piquet Lacoste* constituídas apenas fibras de algodão.

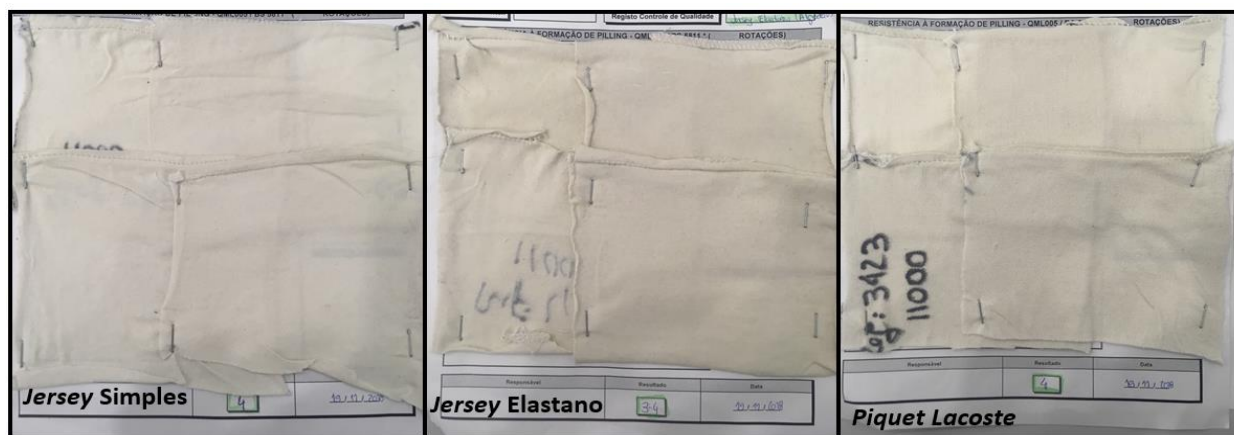


Figura E.2.4 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.

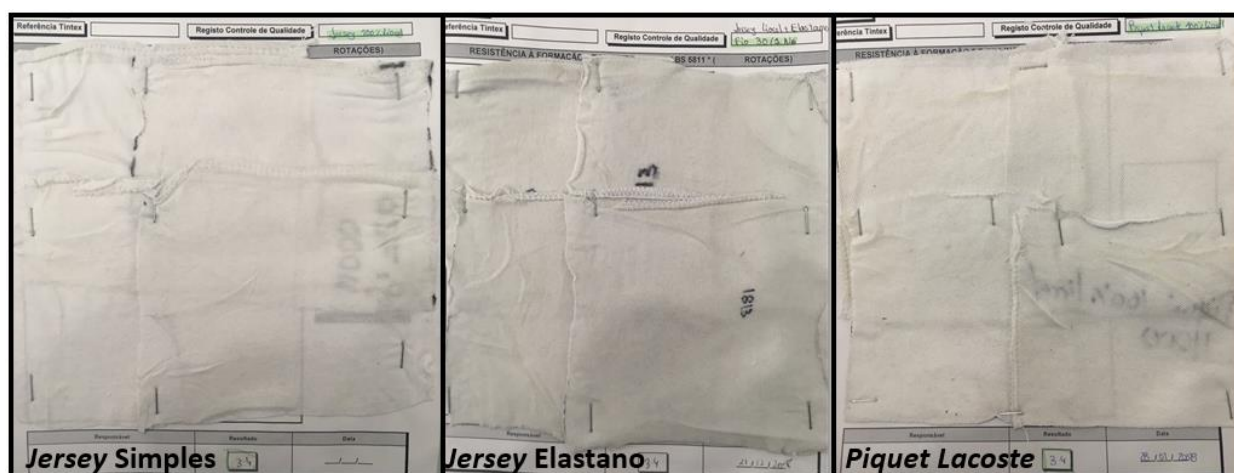


Figura E.2.5 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.

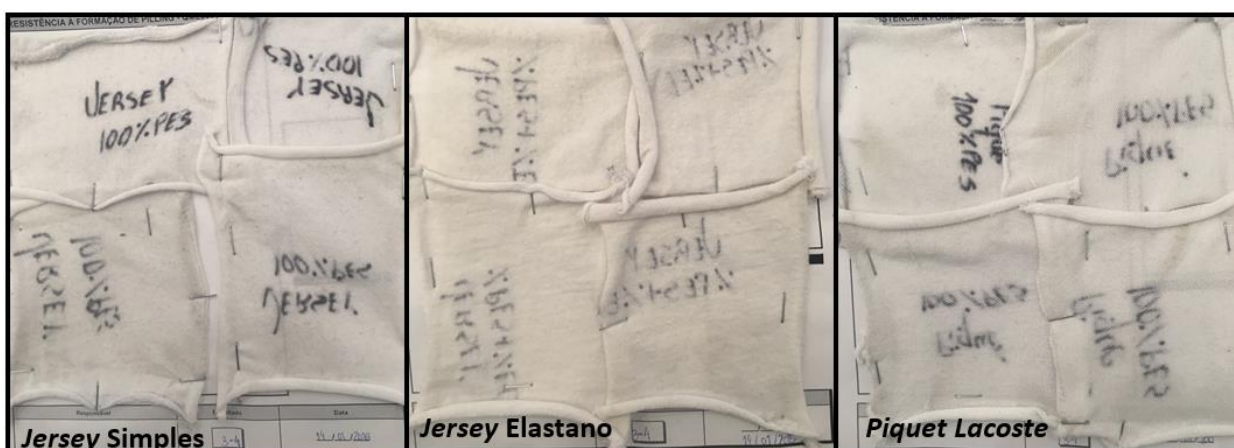


Figura E.2.6 - Resultados obtidos da aplicação no método de *Pilling Box* em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.

Anexo F - Resultados obtidos nos testes de resistências ao rompimento das malhas circulares

Neste projeto foi avaliada a resistência ao rompimento das malhas, ou resistência à abrasão, aplicando o método de *Martindale* - fricção tecido contra tecido. Este Método consistiu em submeter as amostras de malhas a fricção contra um tecido abrasivo durante 8000 ciclos rotativos, no equipamento de *Martindale*. No final do teste, as amostras que não romperam, foram avaliadas e qualificadas usando a escala de borbotos da figura E.1 presente no anexo E.

Neste anexo apresentam-se várias figuras que expõem os resultados obtidos da aplicação do teste de abrasão nas diferentes malhas.

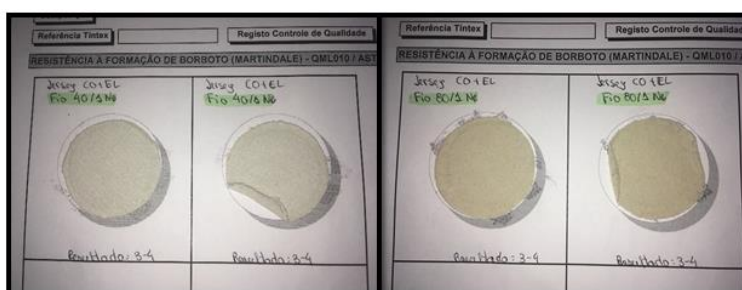


Figura F.1 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas *Jersey* constituídas por fibras de algodão, maioritariamente, e elastano.

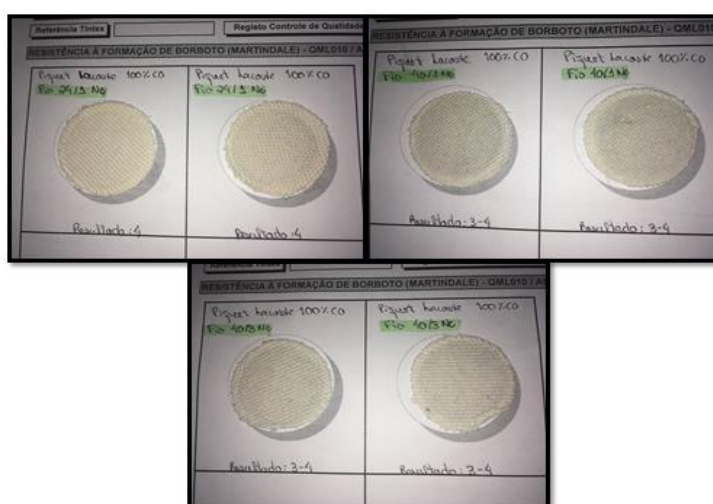


Figura F.2 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas *Piquet Lacoste* constituídas por apenas fibras de algodão.

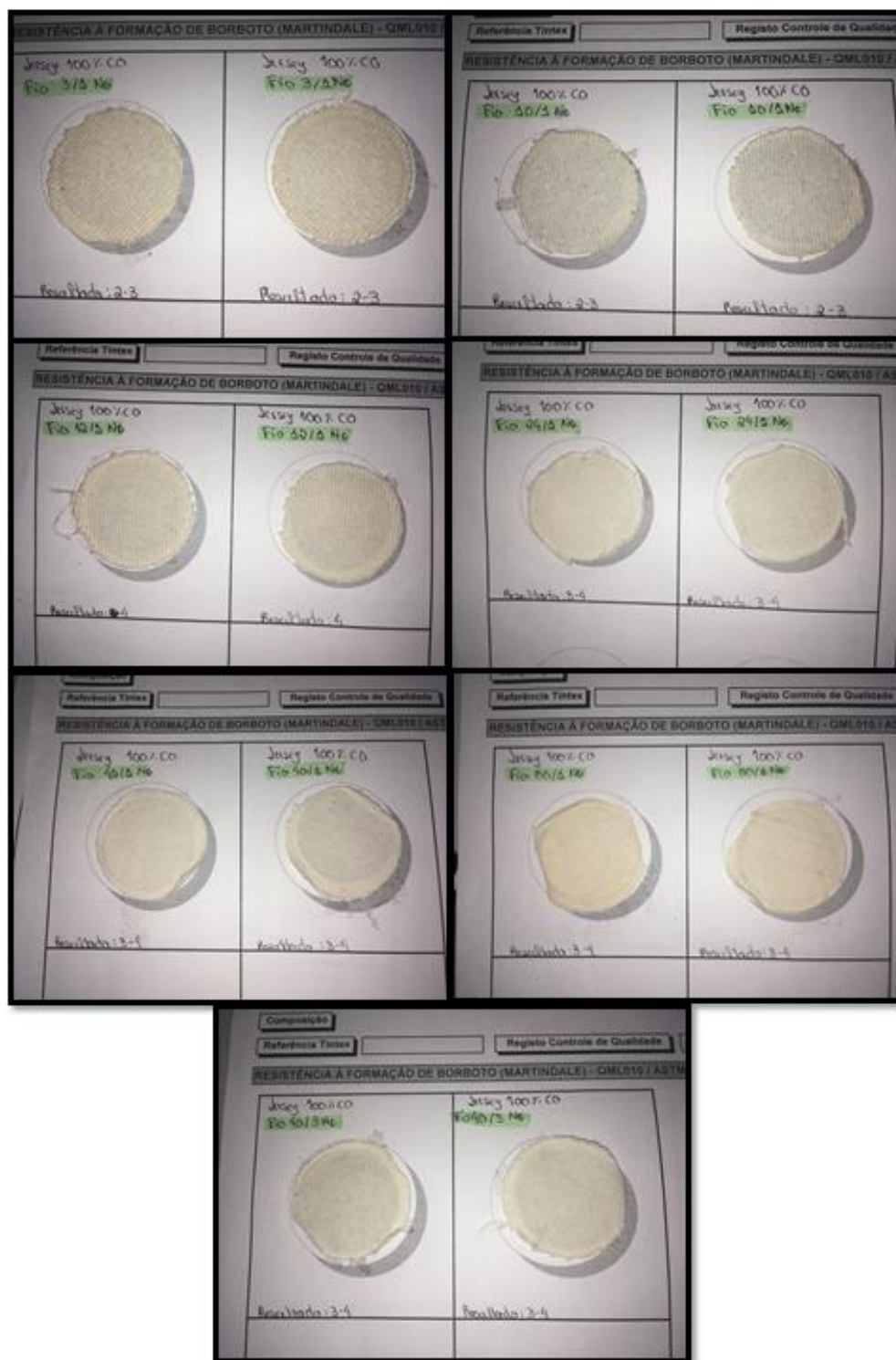


Figura F.3 - Resultados obtidos da aplicação do teste de resistência à abrasão em malhas Jersey constituídas por apenas fibras de algodão.



Figura F.4 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de algodão.

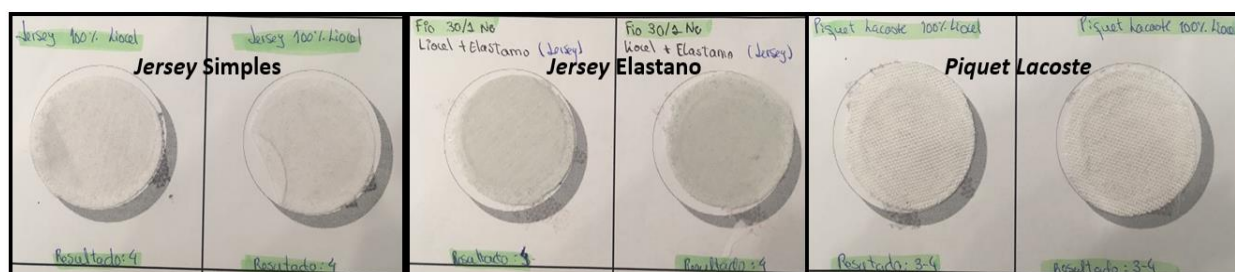


Figura F.5 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de liocel.

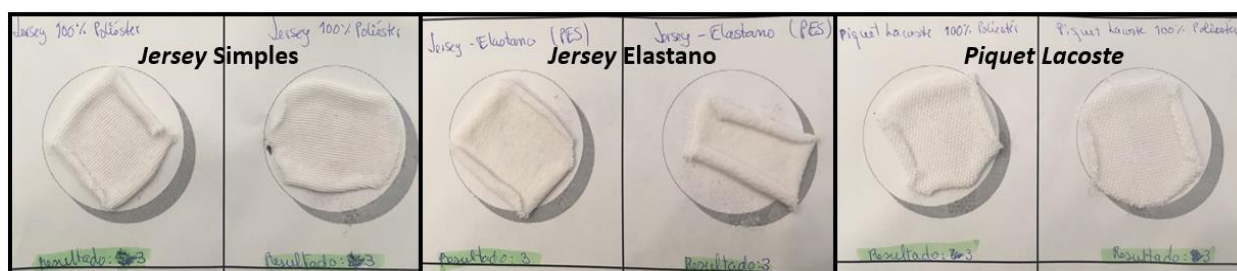


Figura F.6 - Resultados obtidos para o teste de abrasão em malhas com título 30/1 Ne no estudo das fibras de poliéster.

Tabela G.1.2 - Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento em malhas com estrutura *Jersey* apenas com fibras de algodão.

<i>Jersey 100% CO</i>							
Tempo (s)							
	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
	NR	NR	NR	NR	NR	17,3	19,7
	NR	NR	NR	NR	NR	17,3	15,9
	NR	NR	NR	NR	NR	18,1	20,2
	NR	NR	NR	NR	NR	13,3	14,9
	NR	NR	NR	NR	NR	14,9	11,9
	NR	NR	NR	NR	NR	19,7	12,1
	NR	NR	NR	NR	NR	18,2	13,6
	NR	NR	NR	NR	NR	19,2	14,2
	NR	NR	NR	NR	NR	18,6	14,1
	NR	NR	NR	NR	NR	19,1	13,9
	NR	NR	NR	NR	NR	18,4	13,2
	NR	NR	NR	NR	NR	18,9	14,6
	NR	NR	NR	NR	NR	18	13,8
	NR	NR	NR	NR	NR	19,3	14,1
	NR	NR	NR	NR	NR	18,2	15,2
Correção	NR	NR	NR	NR	NR	17,5	18,6
	NR	NR	NR	NR	NR	17,3	12,9
	NR	NR	NR	NR	NR	17,1	13,2
	NR	NR	NR	NR	NR	17,9	12,7
	NR	NR	NR	NR	NR	17,5	12,9
Distensão Máxima (mm)							
	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
	NR	NR	NR	NR	NR	14,04	12,99
	NR	NR	NR	NR	NR	16,77	13,68
	NR	NR	NR	NR	NR	15,81	14,08
	NR	NR	NR	NR	NR	16,75	13,25
	NR	NR	NR	NR	NR	15,78	13,59
	NR	NR	NR	NR	NR	16,53	13,38
	NR	NR	NR	NR	NR	16,54	13,56
	NR	NR	NR	NR	NR	16,89	13,21
	NR	NR	NR	NR	NR	16,03	13,11
	NR	NR	NR	NR	NR	16,26	14,07
	NR	NR	NR	NR	NR	16,98	13,54
	NR	NR	NR	NR	NR	16,35	13,87
	NR	NR	NR	NR	NR	16,37	13,66
	NR	NR	NR	NR	NR	13,99	14,09
	NR	NR	NR	NR	NR	16,47	14,03
Correção	NR	NR	NR	NR	NR	16,54	13,58
	NR	NR	NR	NR	NR	16,35	13,4
	NR	NR	NR	NR	NR	16,44	13,26
	NR	NR	NR	NR	NR	16,03	13,42
	NR	NR	NR	NR	NR	16,88	13,08
Pressão (kPa)							
	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
	NR	NR	NR	NR	NR	636,2	481,3
	NR	NR	NR	NR	NR	634,8	503,6
	NR	NR	NR	NR	NR	596,3	481,3
	NR	NR	NR	NR	NR	628,5	476,5
	NR	NR	NR	NR	NR	542,8	438,4
	NR	NR	NR	NR	NR	656,1	446,6
	NR	NR	NR	NR	NR	636,9	459,3
	NR	NR	NR	NR	NR	654,8	485,1
	NR	NR	NR	NR	NR	698,3	503,6
	NR	NR	NR	NR	NR	672,1	499,5
	NR	NR	NR	NR	NR	623,5	489,7
	NR	NR	NR	NR	NR	639,5	501,6
	NR	NR	NR	NR	NR	698,3	503,7
	NR	NR	NR	NR	NR	621,8	501,3
	NR	NR	NR	NR	NR	603,8	498,9
Correção	NR	NR	NR	NR	NR	520,7	481,3
	NR	NR	NR	NR	NR	510,6	476,5
	NR	NR	NR	NR	NR	512,9	488,9
	NR	NR	NR	NR	NR	523,6	475,3
	NR	NR	NR	NR	NR	514,3	485,6

[illegible]

		Título do fio	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
Estrutura e composição da Malha	Jersey 100% CO	Amostragem	5	5	5	5	5	5	5
		μ (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	516,42	481,52
		σ_p (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	4,91	5,20
		σ^2_p (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	24,126	5,197
		Máximo (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	523,6	488,9
		Mínimo (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	510,6	475,3
		IC $\mu_{,98\%}$ (kPa)	NR	NR	NR	NR	NR	[511,3; 521,5]	[476,11; 486,9]
	Jersey % CO + % EL	Amostragem	-	-	-	-	-	5	5
		μ (kPa)	-	-	-	-	-	509,56	263,44
		σ_p (kPa)	-	-	-	-	-	4,86	19,01
		σ^2_p (kPa)	-	-	-	-	-	4,86	19,01
		Máximo (kPa)	-	-	-	-	-	517,30	300,20
		Mínimo (kPa)	-	-	-	-	-	503,60	249,40
		IC $\mu_{,98\%}$ (kPa)	-	-	-	-	-	[504,5; 514,6]	[243,6; 283,3]
	Piquet 100% CO	Amostragem	5	-	-	-	5	5	-
		μ (kPa)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		σ_p (kPa)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		σ^2_p (kPa)	NR	-	-	-	NR	NR	-
Máximo (kPa)		NR	-	-	-	NR	NR	-	
Mínimo (kPa)		NR	-	-	-	NR	NR	-	
IC $\mu_{,98\%}$ (kPa)		NR	-	-	-	NR	NR	-	

Tabela G.1.5 - Análise estatística relativa aos resultados obtidos para a distensão na rotura.

		Título do fio	Fio 40/3 Ne	Fio 3/1 Ne	Fio 10/1 Ne	Fio 12/1 Ne	Fio 24/1 Ne	Fio 40/1 Ne	Fio 80/1 Ne
Estrutura e composição da Malha	Jersey 100% CO	Amostragem	5	5	5	5	5	5	5
		μ (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	16,45	13,35
		σ_p (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	0,28	0,17
		σ^2_p (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	0,076	0,168
		Máximo (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	16,88	13,58
		Mínimo (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	16,03	13,08
		IC $\mu_{98\%}$ (mm)	NR	NR	NR	NR	NR	[16,16; 16,74]	[13,17; 13,52]
	Jersey % CO + % EL	Amostragem	-	-	-	-	-	5	5
		μ (mm)	-	-	-	-	-	26,10	23,93
		σ_p (mm)	-	-	-	-	-	0,36	1,11
		σ^2_p (mm)	-	-	-	-	-	0,36	1,11
		Máximo (mm)	-	-	-	-	-	26,55	24,69
		Mínimo (mm)	-	-	-	-	-	25,47	21,72
		IC $\mu_{98\%}$ (mm)	-	-	-	-	-	[25,72; 26,48]	[22,77; 25,08]
	Piquet 100% CO	Amostragem	5	-	-	-	5	5	-
		μ (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		σ_p (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		σ^2_p (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		Máximo (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		Mínimo (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-
		IC $\mu_{98\%}$ (mm)	NR	-	-	-	NR	NR	-

G.2 Resultados obtidos para os testes de resistência ao rebentamento realizados às malhas das diferentes fibras

Tabela G.2.1 - Resultados obtidos para o tempo até ao rebentamento para as malhas das diferentes fibras.

Algodão			Liocel			Poliéster		
Piquet	Jersey	Jersey % CO + % EL	Piquet	Jersey	Jersey % LY + % EL	Piquet	Jersey	Jersey % PES + %
Tempo (s)								
22,5	21,5	20,2	22,5	21,2	20,3	NR	NR	NR
21,2	20,6	18,3	21,5	20,3	18,1	NR	NR	NR
20,9	20,7	18	18,4	20,7	17,6	NR	NR	NR
21,5	20,3	20,3	24,4	19,9	19,7	NR	NR	NR
20,7	20,3	20,9	26,3	20,3	19,6	NR	NR	NR
20,5	21,4	21,4	20,7	19,5	19,6	NR	NR	NR
22,1	20,1	21,3	23,5	21,1	19,6	NR	NR	NR
20,9	20,9	21,2	20,4	21,3	19,5	NR	NR	NR
21,4	21,2	20,9	20,4	20,9	19,9	NR	NR	NR
19,9	20,8	18,9	22,3	20,3	20,3	NR	NR	NR
21,6	20,3	20,3	22	20,6	20,1	NR	NR	NR
22,1	20,6	21,1	20,4	20,9	19,8	NR	NR	NR
21,9	21,2	21,2	24,4	21,3	19,9	NR	NR	NR
20,2	21,1	20,3	20,3	19,9	19,8	NR	NR	NR
20,3	20,9	20,1	21,2	20,8	19,1	NR	NR	NR
Correça	21,5	20,9	18,8	20,7	20,2	18,6	NR	NR
	20,9	21,4	20,6	23,8	20,4	19,6	NR	NR
	21,2	20,3	20,4	21,4	20,6	19,4	NR	NR
	20,2	20,9	20,2	21,5	20,4	19,3	NR	NR
	21,1	21,6	20,8	21,9	20,3	19,5	NR	NR

Tabela G.2.2 - Resultados obtidos para a distensão na rotura para as malhas das diferentes fibras.

Algodão			Liocel			Poliéster		
Piquet	Jersey	Jersey % CO + % EL	Piquéet	Jersey	Jersey % LY + % EL	Piquet	Jersey	Jersey % PES + % EL
Distensão na rotura (mm)								
15,1	14,71	23,17	12,42	10,97	24,43	NR	NR	NR
15,94	14,8	22,99	12,86	10,86	24,15	NR	NR	NR
15,5	15,21	23,76	12,16	11,26	24,25	NR	NR	NR
15,32	15,65	25,32	12,75	10,53	25,26	NR	NR	NR
15,64	15,69	25,06	12,47	11,09	24,99	NR	NR	NR
15,21	16,21	25,21	12,81	10,96	24,15	NR	NR	NR
15,3	15,32	24,36	12,24	10,88	25,13	NR	NR	NR
15,46	16,01	25,01	12,46	10,45	24,89	NR	NR	NR
15,17	15,86	24,89	12,99	10,63	25,03	NR	NR	NR
15,09	15,63	23,62	12,2	11,03	25,16	NR	NR	NR
15,48	15,33	24,09	12,8	10,52	24,89	NR	NR	NR
15,79	15,94	23,98	12,88	10,74	24,98	NR	NR	NR
15,83	16,03	23,96	12,47	11,03	25,01	NR	NR	NR
15,11	16,21	24,06	13,05	10,96	24,74	NR	NR	NR
15,32	15,86	23,99	13,45	10,25	24,29	NR	NR	NR
Correção	15,44	14,9	23,8	12,48	10,92	24,27	NR	NR
	15,39	15,85	24,19	12,67	10,83	24,8	NR	NR
	15,29	15,63	24,03	12,56	10,22	24,78	NR	NR
	15,42	15,85	23,69	12,62	10,52	24,99	NR	NR
	15,31	15,99	23,98	12,97	10,23	24,32	NR	NR

Tabela G.2.3 - Resultados obtidos para a pressão de rebentamento para as malhas das diferentes fibras.

Algodão			Liocel			Poliéster		
Piquet	Jersey	Jersey % CO + % EL	Piquet	Jersey	Jersey % LY + % EL	Piquet	Jersey	Jersey % PES + %
Pressão no rebentamento (kPa)								
752,9	717,7	669,2	718,6	769	675,2	NR	NR	NR
790,1	748,8	667	774,4	745,3	661,2	NR	NR	NR
788,5	775,2	657,7	675,9	766,4	642,3	NR	NR	NR
734,2	773,6	668,2	776,5	736,3	630,8	NR	NR	NR
759,4	725,6	645,3	787	795,4	626,8	NR	NR	NR
776	776	645,3	785,3	743,1	627,2	NR	NR	NR
778,6	726,3	652,3	784,5	745,1	663,8	NR	NR	NR
759,3	758,6	512,9	777,8	768,4	648,3	NR	NR	NR
736,2	778,9	689,3	780,3	746,3	698,2	NR	NR	NR
743,2	723,8	645,3	746,9	799,3	601,5	NR	NR	NR
758,4	749,3	612,8	761,8	782,1	639,4	NR	NR	NR
762,9	788,9	688,3	767,6	754,2	685,6	NR	NR	NR
726,3	752,3	694,3	779,6	724,9	658,6	NR	NR	NR
798,4	716,9	698,5	766,5	779,3	623,4	NR	NR	NR
747,3	721,8	645,3	789,1	721,4	686,7	NR	NR	NR
Correção	600	645	337,2	690,6	698,3	517	NR	NR
	633,6	629	399,8	684,3	645,3	489	NR	NR
	652,3	638,4	402,6	686,8	688,9	503,6	NR	NR
	641,3	629,3	389,9	668,5	659,3	499,3	NR	NR
	653,9	618,3	398,6	691,3	623,1	487,3	NR	NR

Tabela G.2.4 - Análise estatística aos resultados obtidos para a distensão na rotura.

	Pressão no rebentamento (kPa)						
	Amostragem	μ (kPa)	σ_p (kPa)	σ^2_p (kPa)	Máximo (kPa)	Mínimo (kPa)	IC $\mu_{,98\%}$ (kPa)
<i>Piquet 100% CO</i>	5	636,22	19,57	383,14	653,90	600,00	[636,0; 668,1]
<i>Jersey 100% CO</i>	5	632,00	9,10	82,79	645,00	618,30	[622,5; 641,5]
<i>Jersey %CO - %EL</i>	5	385,62	24,58	604,14	402,60	337,20	[360,0; 411,]
<i>Piquet 100% LY</i>	5	682,55	8,42	68,92	690,60	668,50	[650,9; 689,2]
<i>Jersey 100% LY</i>	5	662,98	27,70	767,18	698,30	623,10	[634,1; 691,8]
<i>Jersey %LY - %EL</i>	5	499,24	10,79	116,37	698,30	487,30	[488; 510,5]
<i>Piquet 100% PES</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<i>Jersey 100% PES</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<i>Jersey %PES - %EL</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabela G.2.5 - Análise estatística aos resultados obtidos para a pressão no rebentamento.

	Distensão na rotura (mm)						
	Amostragem	μ (mm)	σ_p (mm)	σ^2_p (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	IC $\mu_{,98\%}$ (mm)
<i>Piquet 100% CO</i>	5	15,37	0,06	0,00	15,44	15,29	[15,31; 15,43]
<i>Jersey 100% CO</i>	5	15,64	0,39	0,15	15,99	14,90	[15,24; 16,05]
<i>Jersey %CO - %EL</i>	5	23,94	0,18	0,03	24,19	23,69	[20,82; 25,46]
<i>Piquet 100% LY</i>	5	12,66	0,17	0,03	12,97	12,48	[12,49; 12,83]
<i>Jersey 100% LY</i>	5	10,54	0,29	0,09	10,92	10,22	[10,24; 10,85]
<i>Jersey %LY - %EL</i>	5	24,63	0,29	0,08	10,92	24,27	[24,34; 24,93]
<i>Piquet 100% PES</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<i>Jersey 100% PES</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<i>Jersey %PES - %EL</i>	5	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Anexo H - Resultados obtidos para espessuras das fibras de algodão, liocel e poliéster

Neste anexo estão apresentadas todas as tabelas onde foram feitas análises estatísticas referente a cada valor médio de espessura ($\bar{e}$) obtido. Os parâmetros calculados foram, a população total de espessuras medidas (Amostragem), o desvio padrão (σ_p), a variância (σ_p^2), o valor de espessura máximo medido (Máximo), o valor de espessura mínimo medido (Mínimo) e o intervalo de confiança do valor de espessura médio a 98% ($IC_{\mu,98\%}$), os parâmetros estáticos calculados estão expostos nas respetivas tabelas. No anexo I encontram-se as fórmulas matemáticas usadas no cálculo dos parâmetros estatísticos.

Para cada fibra estudada, foram estudas seis amostras, provenientes de fios com o título 30/1 Ne. Foram feitos estudos de imagens longitudinais e de cortes transversais da fibra. A unidade de espessura das fibras, assim como dos parâmetros estatísticos a ela associados, é o μm .

H.1 Resultados obtidos para a fibra de algodão

Tabela H.1.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de algodão, usando a lente ampliadora de 20x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	33	37	82	82	97	84	69
$\bar{e}$ (μm)	13,02	14,64	14,47	14,47	13,24	10,92	13,46
σ_p (μm)	3,39	3,80	4,17	4,17	5,20	3,45	15,50
σ_p^2 (μm)	11,48	14,41	10,77	17,37	27,03	11,91	4,03
Máximo (μm)	19,80	22,93	25,04	25,04	24,70	21,72	23,21
Mínimo (μm)	7,98	6,96	5,47	5,47	4,31	5,20	5,90
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[11,65; 14,40]	[13,18; 16,09]	[14,22; 16,24]	[13,39; 15,54]	[12,01; 14,47]	[10,04; 11,79]	[12,42; 14,76]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	26	19	12	10	7	14	15
$\bar{e}$ (μm)	11,93	15,86	13,34	14,14	13,02	13,22	13,59
σ_p (μm)	6,28	3,64	3,69	5,12	3,85	6,81	4,90
σ_p^2 (μm)	39,45	13,28	13,61	26,17	14,81	46,32	25,61
Máximo (μm)	22,29	20,04	19,20	20,11	17,69	23,98	20,55
Mínimo (μm)	4,19	5,93	5,84	4,04	5,16	4,23	4,90
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[9,06; 14,80]	[13,91; 17,81]	[10,85; 15,82]	[10,37; 17,91]	[9,63; 16,41]	[8,98; 17,45]	[10,47; 16,70]

Tabela H.1.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de algodão, usando a lente ampliadora de 40x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	13	33	26	39	30	29	28
$\bar{e}$ (μm)	14,41	14,76	14,69	13,71	12,51	14,88	14,16
σ_p (μm)	3,99	4,77	2,44	21,04	3,21	3,47	6,49
σ_p^2 (μm)	15,95	22,79	5,94	24,15	10,27	12,02	15,19
Maximo (μm)	21,96	24,58	20,10	6,55	19,46	22,15	19,13
Mínimo (μm)	9,44	8,01	10,09	4,91	7,69	7,63	7,96
IC $_{\mu,98\%}$ (μm)	[11,83; 16,99]	[12,82; 16,69]	[13,57; 15,80]	[13,39; 15,54]	[11,14; 13,87]	[13,38; 16,38]	[12,69; 15,88]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	6	10	5	6	6	14	8
$\bar{e}$ (μm)	14,24	14,69	12,90	14,53	11,92	11,78	13,35
σ_p (μm)	4,23	4,80	2,45	3,89	3,74	6,16	4,21
σ_p^2 (μm)	17,89	23,05	5,99	15,15	14,02	36,08	18,70
Maximo (μm)	19,31	20,75	15,30	17,57	19,04	22,60	19,10
Mínimo (μm)	5,99	4,82	8,28	6,35	6,75	4,38	6,09
IC $_{\mu,98\%}$ (μm)	[10,22; 18,27]	[11,16; 18,23]	[10,35; 15,45]	[10,83; 18,23]	[8,36; 15,48]	[7,94; 15,62]	[9,81; 16,88]

H.2 Resultados obtidos para a fibra de liocel

Tabela H.2.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de liocel, usando a lente ampliadora de 20x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	64	94	123	117	56	55	85
$\bar{e}$ (μm)	10,90	11,22	10,84	10,98	10,73	11,29	10,99
σ_p (μm)	1,52	2,36	1,65	1,76	2,13	1,90	1,89
σ_p^2 (μm)	2,30	5,57	2,72	3,09	4,54	3,59	3,64
Maximo (μm)	15,30	16,69	14,55	15,40	15,03	15,76	15,46
Mínimo (μm)	6,79	6,58	7,14	6,94	5,60	7,59	6,77
IC $_{\mu,98\%}$ (μm)	[10,46; 11,34]	[10,66; 11,79]	[10,50; 11,19]	[10,60; 11,36]	[10,06; 11,39]	[10,69; 11,88]	[10,50; 11,49]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	19	19	16	22	21	20	20
$\bar{e}$ (μm)	13,31	10,71	13,34	13,05	12,79	12,47	12,61
σ_p (μm)	1,36	1,20	1,47	1,35	1,16	1,50	1,34
σ_p^2 (μm)	1,86	1,44	1,89	1,81	1,34	2,26	1,77
Maximo (μm)	15,33	13,09	15,99	15,20	15,23	15,59	15,07
Mínimo (μm)	10,39	8,63	10,73	9,12	10,76	9,42	9,84
IC $_{\mu,98\%}$ (μm)	[10,98; 15,64]	[10,07; 11,36]	[12,49; 14,20]	[12,39; 13,72]	[12,20; 13,37]	[11,68; 13,25]	[11,64; 13,59]

Tabela H.2.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de liocel, usando a lente ampliadora de 40x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	34	44	45	17	33	20	32
$\bar{e}$ (μm)	10,69	10,47	11,04	10,51	10,66	9,50	10,48
σ_p (μm)	1,75	1,81	2,28	0,60	1,72	1,36	1,59
σ_p^2 (μm)	3,05	3,26	5,20	0,36	2,95	1,85	2,78
Maximo (μm)	13,85	13,58	15,81	11,54	17,18	11,99	13,99
Mínimo (μm)	6,99	6,63	6,63	9,39	8,51	7,22	7,56
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[10,00; 11,39]	[9,38; 11,10]	[10,25; 11,83]	[10,17; 10,85]	[9,96; 11,36]	[8,79; 10,21]	[9,83; 11,12]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	10	18	11	16	19	17	15
$\bar{e}$ (μm)	12,31	11,67	12,52	12,36	12,41	12,02	12,21
σ_p (μm)	1,67	1,36	1,24	1,50	1,27	1,66	1,45
σ_p^2 (μm)	2,79	1,84	1,54	2,25	1,60	2,76	2,13
Maximo (μm)	15,61	13,95	14,90	14,20	14,47	15,20	14,72
Mínimo (μm)	9,74	9,45	10,71	8,38	10,60	9,67	9,76
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[11,08; 13,54]	[10,93; 12,42]	[11,65; 13,39]	[11,49; 13,24]	[11,73; 13,08]	[11,08; 12,96]	[11,33; 13,11]

H.3 Resultados obtidos para a fibra de poliéster

Tabela H.3.1 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de poliéster, usando a lente ampliadora de 20x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	20	30	12	12	15	14	17
$\bar{e}$ (μm)	10,80	10,16	10,68	11,17	10,53	11,43	10,79
σ_p (μm)	1,00	2,14	0,61	0,72	0,56	1,07	1,02
σ_p^2 (μm)	1,00	4,60	0,37	0,52	0,31	1,14	1,32
Maximo (μm)	12,28	15,75	11,98	12,49	11,45	13,23	12,86
Mínimo (μm)	8,28	6,69	9,59	10,14	9,50	9,32	8,92
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[10,28; 11,32]	[9,24; 11,07]	[10,27; 11,08]	[10,68; 11,65]	[10,19; 10,86]	[10,77; 12,09]	[10,23; 11,51]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	30	24	26	40	20	23	27
$\bar{e}$ (μm)	12,72	12,91	13,13	12,50	12,86	13,19	12,89
σ_p (μm)	1,21	1,03	1,33	0,96	1,14	1,31	1,16
σ_p^2 (μm)	1,45	1,05	1,15	0,93	1,30	1,71	1,27
Maximo (μm)	15,37	15,26	15,98	14,65	14,46	15,53	15,21
Mínimo (μm)	10,77	10,58	11,20	10,09	10,86	10,29	10,63
$IC_{\mu,98\%}$ (μm)	[12,21; 13,23]	[12,42; 13,40]	[12,60; 13,65]	[12,15; 12,86]	[12,27; 13,45]	[12,56; 13,83]	[12,36; 13,40]

Tabela H.3.2 - Resultados obtidos para as medições de espessura da fibra de poliéster, usando a lente ampliadora de 40x.

	Imagem Longitudinal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	81	17	37	39	29	25	38
$\bar{e}$ (μm)	9,65	10,36	11,24	10,80	11,04	10,72	10,64
σ_p (μm)	1,65	1,57	1,10	2,04	1,26	1,21	1,47
σ_p^2 (μm)	2,73	2,45	1,21	4,14	1,58	1,46	2,26
Maximo (μm)	14,32	12,76	13,43	14,83	13,03	13,45	13,64
Mínimo (μm)	7,05	7,66	8,78	6,60	8,08	8,72	7,82
IC_{μ,98%} (μm)	[9,22; 10,08]	[9,48; 11,25]	[10,82; 11,66]	[10,05; 11,56]	[10,50; 11,59]	[10,16; 11,29]	[10,04; 11,24]
	Corte Transversal						Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	
Amostragem	20	33	31	20	26	24	26
$\bar{e}$ (μm)	11,90	13,19	12,85	13,19	13,42	13,32	12,98
σ_p (μm)	1,50	1,47	1,12	1,04	1,21	1,28	1,27
σ_p^2 (μm)	2,26	2,15	1,25	1,09	1,46	1,63	1,64
Maximo (μm)	15,63	16,24	15,60	15,22	15,89	15,63	15,70
Mínimo (μm)	9,62	10,58	10,17	11,05	11,59	10,64	10,61
IC_{μ,98%} (μm)	[11,11; 12,68]	[12,60; 13,79]	[12,38; 13,32]	[12,65; 13,73]	[12,86; 13,97]	[12,72; 13,93]	[12,38; 13,57]

Anexo I - Formulas matemáticas usadas na análise estatística

I.1 - Formula matemática da média aritmética

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^j x_i}{j} \quad (I.1)$$

Na equação I.1 a variável μ diz respeito à média aritmética, j é o número total de amostras, x representa o valor individual e i é o contador do valor individual.

I.2 - Formula matemática do desvio padrão relativo à média aritmética

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (x_i - \mu)^2}{(j-1)}} \quad (I.2)$$

Na equação I.2 a variável σ_p diz respeito ao desvio padrão da média aritmética, μ diz respeito à média aritmética, j é o número total de amostras, x representa o valor individual e i é o contador do valor individual.

I.3 - Formula matemática da variância relativa à média aritmética

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^j (x_i - \mu)^2}{(j-1)} \quad (I.3)$$

Na equação I.3 a variável σ_p^2 diz respeito à variância da média aritmética, μ diz respeito à média aritmética, j é o número total de amostras, x representa o valor individual e i é o contador do valor individual.

I.4 - Formula matemática do intervalo de confiança da média aritmética a 98%

$$IC_{\mu,98\%} = \left(\mu - Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma_p}{\sqrt{j}}; \mu + Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma_p}{\sqrt{j}} \right) \quad (1.4)$$

Na equação 1.4 a variável $IC_{\mu,98\%}$ representa o intervalo de confiança da média a 98%, σ_p diz respeito ao desvio padrão da média aritmética, μ diz respeito à média aritmética, $Z_{\alpha/2}$ trata-se do valor crítico de Z relativo ao intervalo de confiança desejado, neste caso toma o valor de 2,33, j é o número total de amostras, x representa o valor individual e i é o contador do valor individual.