

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Fernando Pinheiro Novais

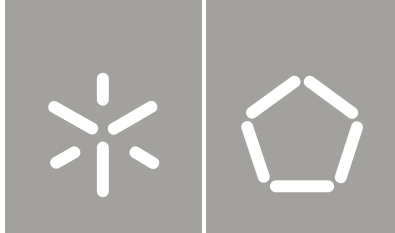
**Desenvolvimento de Linhas de Costura com  
Alma e Avaliação do Desempenho na Costura**

José Fernando Pinheiro Novais  
**Desenvolvimento de Linhas de Costura com  
Alma e Avaliação do Desempenho na Costura**

Uminho | 2013

Julho de 2013





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Fernando Pinheiro Novais

**Desenvolvimento de Linhas de Costura com  
Alma e Avaliação do Desempenho na Costura**

Tese de Doutoramento  
Engenharia Têxtil

Trabalho efectuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Miguel Ângelo Fernandes Carvalho**  
**Professor Doutor José António Colaço Gomes Covas**

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

*“A vida é breve, a ocasião fugaz, a experiência é vacilante e o julgamento é difícil.”*

***Hipócrates***



***À Julieta  
À Maria Inês e ao Pedro  
Aos meus Pais e Irmãos  
Aos meus Sogros e ao Tó  
Aos meus Tios Vilanova***





## **AGRADECIMENTOS**

É com enorme satisfação e grande alegria que quero agradecer profundamente às pessoas que, de alguma forma, me apoiaram na conclusão deste trabalho.

Gostaria de começar pelos meus orientadores, o Professor Doutor José António Colaço Gomes Covas e o Professor Doutor Miguel Ângelo Fernandes Carvalho, os quais com enorme dedicação, paciência, rigor e partilha de conhecimentos me apoiaram de modo incondicional, sendo esse préstimo fundamental para o aperfeiçoamento e conclusão deste trabalho.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento da bolsa SFRH/BDE/15631/2006. À Valfios - Armazém de Fios Têxteis, Lda., por me ter recebido neste projeto de bolsa de doutoramento. Gostaria de prestar a minha eterna gratidão aos sócios gerentes, o Sr. Filipe Henriques e o Sr. António Oliveira, pelo desafio lançado e pelas condições excecionais, não esquecendo os colaboradores que também contribuíram para a sua concretização.

Ao Professor Doutor Lubos Hes pela competência, pelo conhecimento, pelas recomendações e pelo incentivo à sua realização.

À Professora Doutora Maria Elisabete Cabeço Silva por todo o apoio prestado, principalmente no tratamento estatístico efetuado.

Ao Professor Doutor Jorge Santos pelo apoio prestado no tratamento tintorial efetuado.

À Doutora Clarinda Nogueira, por todo o apoio e encorajamento.

Ao Engenheiro Pedro Correia da Silva da empresa Matema, pela sua incansável dedicação e persistência e, à empresa Vardhman Group personalizada pelo Senhor Kuldeep Jain e pelo Senhor Mitrajit Sal, particularmente na execução do processo de recobrimento das amostras.

À empresa Têxtil Fiofibra, representada pelo Senhor Armindo Fernandes e ao Doutor Miguel Faria pela torção dos filamentos. Ao Engenheiro Avelino Ferreira e ao Engenheiro Joaquim Jorge Peixoto, pela disponibilidade e apoio na realização dos ensaios

À Universidade do Minho, em particular ao Departamento de Engenharia Têxtil.

À Julieta, ao Pedro Gil e à Maria Inês pelo amor, alegria e paciência.

A todos que de uma maneira indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Projeto cofinanciado pelo Programa Operacional Potencial Humano / Fundo Social Europeu



# **Desenvolvimento de Linhas de Costura com Alma e Avaliação do Desempenho na Costura**

## **RESUMO**

O tingimento em peça é um processo amplamente utilizado na indústria têxtil por ser mais económico do que o tradicional método de produção de vestuário, em que os diferentes componentes são escolhidos (linhas de costura, tecidos, fechos, etc.) antes do processo de costura. A maior parte das coleções possuem peças produzidas por este processo, em particular, as calças. Simultaneamente, o tingimento em peça proporciona um elevado nível de flexibilidade em relação às cores, com inúmeras vantagens em termos de gestão e custos de produção. Todavia, o processo de tingimento em peça, os acabamentos e o uso do vestuário, influenciam negativamente as linhas de costura de fio de algodão, produzindo costuras desgastadas e abertas, provocando perdas significativas da qualidade da costura.

Esta investigação refere-se ao desenvolvimento de linhas de costura com alma para aplicação na produção de vestuário que, posteriormente será sujeito ao processo de tingimento em peça. Pretende-se com estas novas linhas de costura, quando comparadas com as tradicionais linhas de fio de algodão (penteado, gasado e mercerizado), obter um desempenho igual ou superior durante o processo de costura e melhorar a qualidade da costura. Desta forma, através do estudo das relações entre as propriedades das linhas de costura e o processo de costura, aspira-se conhecer os fatores que influenciam a *costurabilidade* e como o processo de costura influencia as propriedades das linhas de costura. Para além disso, pretende-se igualmente efetuar um estudo da eficiência da costura para conhecer a qualidade da costura produzida pelas diferentes linhas. Ambiciona-se obter uma afinidade tintorial similar mas sem alterar o processo de tingimento em peça. Para o efeito foram aplicados, na alma das linhas de costura, filamentos de *lyocell* e posteriormente recobertos por fibras de algodão, pretendendo-se com o recobrimento ocultar alguma diferença perceptível de afinidade do *lyocell*.

Este trabalho inicia-se com a definição de linhas de costura abordando as suas principais estruturas, matérias-primas e aplicações. Posteriormente foi realizada uma sucinta apresentação do processo de tingimento em peça, realçando-se as linhas de costura aplicadas. Seguidamente são apresentados, resumidamente, os parâmetros para avaliar a qualidade da costura e os fatores que a influenciam.

Para a realização deste trabalho, foram utilizados filamentos de *lyocell* torcidos e singelos como alma, que foram recobertos com fibras de algodão para se obter uma massa linear de 30 Ne. Deste modo, foi produzido um fio singelo com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão. Posteriormente, foram retorcidos a dois e a três cabos produzindo as linhas de costura com massa linear de 30/2 Ne e 30/3 Ne. Estas linhas de costura são compostas por 70% de filamentos de *lyocell* como alma e 30% de fibras de algodão como recobrimento.

As linhas de costura desenvolvidas foram caracterizadas e as suas propriedades comparadas com as de fio de algodão de massa linear similar, pois atualmente são as mais aplicadas na confecção de vestuário para subsecutivo tingimento em peça. Esta analogia tem como objetivo aferir o desempenho destas e da sua potencialidade para substituir as linhas de costura de fio de algodão. Foram avaliadas as propriedades físicas como a massa linear, a torção, o diâmetro, a estabilidade dimensional, a irregularidade, as imperfeições e a pilosidade. Foram caracterizadas as propriedades mecânicas como a resistência e o alongamento de rotura, a tenacidade e a resistência à abrasão. Excetuando a resistência à abrasão foram avaliadas as alterações em estado molhado das propriedades mecânicas e em geometria de laçada, a fim de prever o seu comportamento na costura. A resistência e o alongamento de rotura e a tenacidade residuais das diferentes linhas de costura foram avaliados antes e após o processo de costura. Para conhecer o desempenho no processo de costura, as linhas de costura foram lubrificadas e foram avaliadas as tensões geradas na linha da agulha. Para avaliar a qualidade da costura, foram caracterizadas a eficiência e o alongamento à tração da costura. Por último, foi verificada a afinidade ao tingimento das diferentes linhas de costura.

As linhas de costura desenvolvidas, quando comparadas com as de fio de algodão, apresentam resultados similares no processo de costura, mas com uma maior perda das propriedades mecânicas após o mesmo. A eficiência e o alongamento à tração da costura apresentam resultados inferiores, pelo que a qualidade da costura é inferior. A impossibilidade de utilização de filamentos de *lyocell* com polpa de madeiras distintas e com diferentes massas lineares não permitiu estudar alternativas de modo a ultrapassar esta desvantagem. No que respeita a afinidade ao tingimento apresentam uma intensidade de cor mais similar ao tecido, pelo facto de o recobrimento ser efetuado e o tecido produzido por fibras de algodão não mercerizado. A intensidade de cor das linhas de costura de fio de algodão apresentou-se mais escura em relação ao tecido, pelo facto de serem produzidas por fibras de algodão mercerizado.

# **Development of Corespun Sewing Threads and Seam Performance Evaluation**

## **ABSTRACT**

Garment dye is widely used in textile industry and known to be a more economical process than the traditional one of producing garments where the different components are selected before sewing (sewing thread, fabric, zippers, etc.). Most garment collections have pieces produced by this process, particularly trousers. Simultaneously, garment dye provides a high level of flexibility regarding colors, with great benefits and reduced management costs. However, garment dye, finishing process and the use of clothing, negatively influence the cotton sewing thread, producing open and damaged seams with substantial losses in seam quality.

This research refers to the development of corespun sewing threads to be applied in the production of garments that will be subjected to the garment dye process. It is intended, with these new sewing threads, when compared with traditional mercerized, gazed and combed cotton sewing threads, to obtain an equal or better performance during the sewing process and improve the seam quality. Thus, by studying the relationship of sewing thread properties and the sewing process, it is intended to know the factors that influence *sewability* and how the sewing process influences the sewing thread properties. Furthermore, it is also intended to study the seam efficiency and the seam elongation to know the seam quality produced by the different types of sewing threads. Aims to obtain a similar dye affinity but without changing the garment dye process. For this purpose was applied in the core of the corespun sewing thread, *lyocell* filaments previously covered with cotton fibers, with the objective of hiding possible noticeable differences of the *lyocell* dye affinity.

This work begins with the definition of sewing threads covering up their main structures, materials and applications. It is held a brief presentation of the garment dye process, emphasizing the sewing threads used in the process. After this, it is presented the parameters for assessing the seam quality and the factors that influence it.

The filaments used in core are single and twisted, wrapped in order to get a linear density of 30 Ne, producing a single corespun yarn with a core of *lyocell* filaments covered with cotton fibers. Later, they were twisted on two and three plies producing a sewing thread with linear density of

30/2 Ne and 30/3 Ne. These new sewing threads consists of 70% *lyocell* filaments as core of sewing thread and 30% cotton fibers as a coating.

The developed sewing threads were characterized and their properties compared with the properties of cotton sewing threads with similar linear density, and currently the most applied in the apparel industry for garment dye process. This analogy aims to assess their performance and their potential for replacement of cotton sewing threads. The physical properties were evaluated, like the linear density, twist, diameter, dimensional stability, unevenness, imperfections and hairiness. The mechanical properties were also characterized, like single-end breaking strength and breaking elongation, tenacity and abrasion resistance. The wet properties were characterized and also the mechanical properties in loop geometry in order to predict its behavior in seam. To assess the single-end breaking strength and breaking elongation reduction, the mechanical properties of different sewing threads before and after sewing process were evaluated and compared. To evaluate its performance during the sewing process, the different sewing threads were lubricated and evaluated the tensions generated in the needle thread. To estimate the seam quality, the seam efficiency and seam elongation were characterized. Finally, tests were conducted to characterize the dye affinity of the different sewing threads.

The developed sewing threads when compared with cotton sewing threads presented similar results during the sewing process, but with a greater loss of mechanical properties after the sewing process. The values of seam efficiency and seam elongation are lower, thereby obtaining a lower seam quality. Not being possible to use *lyocell* filaments with distinct wood pulp and with different linear densities, it was not possible to investigate alternatives to overcome this disadvantage. The dye affinity of the sewing threads developed in this study presented a color more similar to the fabric (cotton), because the covering fibers and the fabric are made of non-mercerized cotton fibers. However the color presented by cotton sewing threads is darker, because they are made of mercerized cotton fibers.

## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1 CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e justificação da investigação .....	1
1.2 Objetivos da investigação e metodologia .....	2
1.3 Estrutura da tese.....	3
<b>2 CAPÍTULO 2 – LINHAS DE COSTURA E TINGIMENTO EM PEÇA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Linha de costura .....	5
2.1.1 Definição e requisitos gerais .....	5
2.1.2 Estrutura das linhas de costura .....	6
2.1.3 Matérias-primas e sua aplicação .....	9
2.2 Tingimento em peça e linhas de costura.....	19
2.2.1 Linhas de costura de algodão.....	21
2.2.2 Linhas de costura de <i>lyocell</i> .....	25
2.2.3 Linhas de costura de poliamida.....	34

<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 – QUALIDADE DA COSTURA.....</b>	<b>37</b>
3.1	Introdução.....	37
3.2	Avaliação da qualidade da costura.....	38
3.2.1	Resistência da costura.....	38
3.2.2	Eficiência da costura.....	39
3.2.3	Alongamento da costura.....	40
3.3	Fatores que influenciam a qualidade da costura.....	40
3.3.1	Condições de costura.....	40
3.3.2	Fatores humanos e ambientais.....	43
3.3.3	Tecidos.....	44
3.3.4	Linhas de costura.....	46
3.3.4.1	Propriedades físicas.....	47
3.3.4.2	Propriedades mecânicas.....	59
3.3.4.3	Lubrificação.....	67
3.3.4.4	Alteração das propriedades mecânicas após o processo de costura.....	70
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>73</b>
4.1	Filamentos de <i>lyocell</i> .....	73
4.1.1	Materiais.....	73
4.1.2	Torção.....	73
4.1.3	Caracterização dos filamentos de <i>lyocell</i> .....	74
4.1.4	Recobrimento.....	74
4.2	Linhas de costura.....	75
4.3	Caracterização das propriedades das linhas de costura.....	76
4.4	Variação da tensão na linha da agulha.....	80
4.5	Resistência das costuras.....	82
4.6	Propriedades mecânicas das linhas de costura após o processo de costura.....	84



4.7	Caracterização morfológica .....	86
4.8	Tingimento em peça.....	86
4.9	Tratamento estatístico dos resultados obtidos.....	88
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>91</b>
5.1	Filamentos de <i>lyocell</i> .....	91
5.2	Propriedades físicas das linhas de costura.....	92
5.2.1	Massa linear.....	93
5.2.2	Torção.....	94
5.2.3	Diâmetro .....	95
5.2.4	Irregularidade, imperfeições e pilosidades.....	96
5.2.5	Estabilidade dimensional .....	98
5.3	Propriedades mecânicas das linhas de costura .....	100
5.3.1	Resistência e alongamento de rotura e tenacidade .....	100
5.3.2	Módulo de elasticidade .....	106
5.3.3	Resistência e alongamento de rotura e tenacidade em molhado .....	108
5.3.4	Resistência e alongamento de rotura e tenacidade em geometria de laçada.....	111
5.3.5	Propriedades de atrito.....	120
5.3.6	Resistência à abrasão.....	123
5.4	Costurabilidade .....	125
5.4.1	Variação das tensões na linha da agulha.....	125
5.5	Propriedades mecânicas das linhas de costura após o processo de costura .....	132
5.6	Qualidade da costura .....	136
5.7	Tingimento em peça.....	142
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS .....</b>	<b>145</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>151</b>

<b>ANEXOS.....</b>	<b>159</b>
Anexo 1 .....	159
Anexo 2 .....	161
Anexo 3 .....	163
Anexo 4 .....	167
Anexo 5 .....	171
Anexo 6 .....	177
Anexo 7 .....	181
Anexo 8 .....	183
Anexo 9 .....	185
Anexo 10 .....	187
Anexo 11 .....	191
Anexo 12 .....	193
Anexo 13 .....	199
Anexo 14 .....	201

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Costuras destruídas após tingimento em peça .....	2
Figura 2.1 - Principais estruturas das linhas de costura [5] .....	6
Figura 2.2 - Fio e estiragem [7] .....	11
Figura 2.3 - Costuras Rompidas [10] .....	13
Figura 2.4 – Aplicações na indústria automóvel [10].....	16
Figura 2.5 - Vestuário de proteção [10].....	17
Figura 2.6 - Botão costurado com linha convencional e com a <i>Ascolite TF</i> [14] .....	19
Figura 2.7 - Botão costurado com linha convencional e com a <i>Ascolite TF</i> [14] .....	19
Figura 2.8 - Botão costurado com linha convencional e com a <i>Ascolite TF</i> [14] .....	19
Figura 2.9 - Processos de fabricação de linhas de costura de fio de algodão [7] .....	21
Figura 2.10 - Fibra de algodão de qualidade suave [4] .....	22
Figura 2.11 - Secção transversal das fibras de algodão de qualidade suave [4] .....	22
Figura 2.12 - Secção transversal das fibras de algodão de qualidade mercerizado [4] .....	23
Figura 2.13 - Costuras danificadas em áreas muito expostas [10].....	24
Figura 2.14 - Comparação da resistência e alongamento de rotura e resistência à abrasão entre as linhas de costura de fio de algodão ( <i>MERCIFIL</i> ou <i>CORNETA</i> ) e as linhas de costura com alma de poliéster ( <i>SABA</i> ) [10] .....	25
Figura 2.15 - Processo de produção da celulose [27].....	27
Figura 2.16 - Estrutura da celulose [28].....	27
Figura 2.17 - Processo NMMO de produção de fibras de <i>Lyocell</i> [35].....	28
Figura 2.18 - Esquema representativo do processo NMMO [35].....	29
Figura 2.19 – Tenacidade dos fios em mistura Poliéster/ <i>Lyocell</i> e Poliéster/Algodão [41].....	31
Figura 2.20 - Linhas de costura PA num processo de tingimento em peça de algodão [18] ....	35

Figura 3.1 - Evolução da tensão na linha da agulha num ciclo da máquina [75] .....	42
Figura 3.2 - Ponto tipo 301 [75] .....	43
Figura 3.3 - Sentido de torção e construção das linhas de costura [4] .....	50
Figura 3.4 - Momento de torção [104] .....	51
Figura 3.5 - Fator de torção $\alpha$ (valor guia) [4].....	52
Figura 3.6 - Tipo de imperfeições de um fio têxtil [109].....	55
Figura 3.7 - Curva Tenacidade vs. Alongamento para diferentes fibras [8] .....	60
Figura 3.8 - Linhas de costura de diferentes alongamentos de rotura (a) e as respetivas laçadas de agulha (b) [125] .....	61
Figura 3.9 – Concentração de tensão no ponto de interseção das laçadas sob carga de tração [126] .....	63
Figura 3.10 - Formação da laçada: linha de costura de fio de algodão (a); linha de costura de poliéster não estabilizado (b); linha de costura de poliéster estabilizado (c) [8].....	64
Figura 3.11 – Lubrificação com qualidade (a) e lubrificação sem qualidade (b) [7] .....	68
Figura 3.12 - Lubrificação em rolo de contacto .....	68
Figura 3.13 - <i>Graf Threadlub</i> [132] .....	69
Figura 4.1 - Recobrimento dos filamentos de <i>lyocell</i> .....	74
Figura 4.2 - Variação média da tensão na linha de agulha e zonas definidas num ciclo completo de costura na máquina de ponto preso .....	81
Figura 4.3 - Provete para ensaio da resistência à tração da costura no dinamómetro.....	82
Figura 4.4 - Provete ensaiado na resistência à tração da costura .....	83
Figura 4.5 - Provete para analisar as propriedades mecânicas após a costura .....	85
Figura 4.6 - Processo de tingimento em peça por esgotamento .....	87
Figura 5.1 - Propriedades físicas obtidas no sentido S.....	91
Figura 5.2 – Comparação da massa linear das amostras com 2 cabos .....	93
Figura 5.3 – Comparação da massa linear das amostras com 3 cabos .....	93

Figura 5.4 – Comparação da torção das amostras com 2 cabos.....	94
Figura 5.5 – Comparação da torção das amostras com 3 cabos.....	94
Figura 5.6 – Comparação do diâmetro das amostras com 2 cabos.....	95
Figura 5.7 – Comparação do diâmetro das amostras com 3 cabos.....	96
Figura 5.8 - Curvas típicas tenacidade-alongamento.....	100
Figura 5.9 – Comparação da resistência e alongamento de rotura e tenacidade nas amostras com 2 cabos.....	101
Figura 5.10 – Comparação da resistência e alongamento de rotura e tenacidade nas amostras com 3 cabos.....	101
Figura 5.11 - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre o estado seco e molhado, nas amostras com 2 cabos.....	108
Figura 5.12 - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre o estado seco e molhado, nas amostras com 3 cabos.....	109
Figura 5.13 - Curvas típicas tenacidade – alongamento em geometria de laçada.....	111
Figura 5.14 - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, nas amostras com 2 cabos.....	112
Figura 5.15 - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, nas amostras com 3 cabos.....	113
Figura 5.16 - Curvas típicas tenacidade–alongamento, em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.....	114
Figura 5.17 - Massa linear, tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 262PES, 302PP e 302PA.....	115
Figura 5.18 - Massa linear, tenacidade, resistência e alongamento de rotura, em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.....	116
Figura 5.19 - Mecanismo de rotura do nó num filamento [142].....	117
Figura 5.20 - Visualização SEM do tipo de roturas dos filamentos de <i>lyocell</i> (303FT).....	118
Figura 5.21: Visualização SEM do tipo de roturas das fibras de algodão (303CO).....	119

Figura 5.22 - Coeficiente de atrito - lubrificação.....	120
Figura 5.23 - Variação da tensão da linha da agulha (302CO) .....	125
Figura 5.24 – Tensões máximas da linha da agulha na zona 1 .....	126
Figura 5.25 – Tensões máximas da linha da agulha na zona 2 .....	128
Figura 5.26 – Tensões máximas da linha da agulha na zona 3 .....	130
Figura 5.27 - Linhas de costura após (esquerdo) e antes (direito) o processo de costura .....	134
Figura 5.28 - Visualização SEM da linha de costura de fio de algodão (303CO) antes do processo de costura (esquerda) e após o processo de costura (direita).....	135
Figura 5.29 - Visualização SEM da linha de costura com alma de <i>lyocell</i> (303FT) após o processo de costura .....	135
Figura 5.30 - Curvas típicas força-alongamento da costura.....	136
Figura 5.31 – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos....	137
Figura 5.32 – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos....	137
Figura 5.33 – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos nos tecidos tafetá.....	139
Figura 5.34 – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos nos tecidos tafetá.....	139
Figura 5.35 - Tingimento em peça .....	142
Figura 5.36 - Tingimento em peça com 302FNT, 302CO e 302PA.....	143

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Linhas com alma convencionais e linhas de multifilamentos PTT .....	14
Tabela 2.2 - Comparação das propriedades de fibras celulósicas e poliéster [40] .....	30
Tabela 3.1 - Relação entre os vários picos de tensão e os vários acontecimentos .....	42
Tabela 3.2 - Relação Número agulha – Artigo Número.....	53
Tabela 3.3 - Ponto de fusão de diferentes fibras .....	57
Tabela 3.4 - Comparação do inchamento das fibras .....	58
Tabela 3.5 - Propriedades típicas de encolhimento de algumas linhas de costura .....	58
Tabela 3.6 – Comparação da tenacidade e alongamento de rotura de várias linhas de costura [123] .....	60
Tabela 3.7 - Vida relativa de diversos tipos de linhas de costura .....	66
Tabela 3.8 - Resistência à abrasão das costuras de diferentes linhas de costura (Teste Martindale Modificado) [10].....	67
Tabela 4.1 - Propriedades dos filamentos de <i>lyocell</i> .....	73
Tabela 4.2 - Identificação das linhas de costura.....	76
Tabela 5.1 – Regularidade Uster das amostras com 2 cabos .....	97
Tabela 5.2 – Regularidade Uster das amostras com 3 cabos .....	97
Tabela 5.3 - Encolhimento à ebulição das amostras com 2 cabos.....	98
Tabela 5.4 - Encolhimento à ebulição das amostras com 3 cabos .....	98
Tabela 5.5 - Propriedades físicas das linhas de costura.....	99
Tabela 5.6 - Análise das médias para a massa linear das amostras 303FT .....	102
Tabela 5.7 - Análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FT e 302FNT.....	103
Tabela 5.8 - Análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FNT e 302CO.....	104

Tabela 5.9 - Análise das médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FNT e 302CO.....	104
Tabela 5.10 - Análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 303FT e 303CO.....	105
Tabela 5.11 - Análise das médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 303FT e 303CO.....	105
Tabela 5.12 - Módulo de elasticidade das amostras com 2 cabos .....	107
Tabela 5.13 – Módulo de elasticidade das amostras com 3 cabos .....	107
Tabela 5.14 - Análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) do módulo de elasticidade.....	107
Tabela 5.15 - Análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre estado seco e molhado .....	109
Tabela 5.16 - Eficiência da laçada para as amostras estudadas .....	113
Tabela 5.17 - Eficiência de laçada das amostras 262PES, 302PP e 302PA.....	116
Tabela 5.18 - Taxas para obtenção de 1, 3, 5% de quantidade de <i>SILWA TL100</i> .....	121
Tabela 5.19 - Percentagem de <i>SILWA TL100</i> aplicada. ....	121
Tabela 5.20 - Coeficientes de atrito obtidos e corrigidos por amostra e quantidade pretendida de lubrificante .....	122
Tabela 5.21 - Resistência à abrasão das costuras das amostras com 2 cabos.....	124
Tabela 5.22 - Resistência à abrasão das costuras das amostras com 3 cabos.....	124
Tabela 5.23 - Propriedades mecânicas das linhas de costura.....	124
Tabela 5.24 - Tensão na linha da agulha e análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) das amostras com 2 cabos .....	131
Tabela 5.25 - Tensão na linha da agulha e análise da variância a um fator ( <i>ANOVA</i> ) das amostras com 3 cabos .....	131
Tabela 5.26 - Análise da média das tensões na linha da agulha na zona 2 .....	132
Tabela 5.27 - Propriedades do tecido com estrutura de sarja .....	133



Tabela 5.28 - Propriedades mecânicas das amostras com 2 e 3 cabos antes e após o processo de costura.....	133
Tabela 5.29 - Resistência e alongamento à tração da sarja .....	138
Tabela 5.30 - Eficiência da costura das amostras com 2 e 3 cabos na sarja.....	138
Tabela 5.31 - Propriedades dos tecidos com estrutura de tafetá.....	138
Tabela 5.32 - Resistência e alongamento à tração dos 3 tecidos tafetá.....	140
Tabela 5.33 - Eficiência da costura das amostras com 2 cabos nos 3 tecidos tafetá .....	141
Tabela 5.34 - Eficiência da costura das amostras com 3 cabos nos 3 tecidos tafetá.....	141
Tabela 6.1 – Satisfação dos objetivos.....	147



## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento e justificação da investigação**

O tingimento em peça é um processo têxtil em que o vestuário é costurado em cru antes de ser tingido e, subsequentemente, tingido como peça de vestuário final. Normalmente o vestuário é produzido com fibras naturais, principalmente, o algodão. Este processo é muito utilizado na indústria têxtil por ser mais económico e por proporcionar um elevado nível de flexibilidade na gestão das cores, dos materiais e com grandes vantagens logísticas, ao contrário do processo de produzir vestuário em que se deve escolher antecipadamente os diferentes componentes do vestuário (linhas de costura, fechos, entre outros) de modo a fazer corresponder a cor dos acessórios à cor do tecido.

De salientar que graves problemas de qualidade podem surgir durante o tingimento, uma vez que todos os componentes da peça de vestuário devem ser produzidos com fibras da mesma origem para exibirem a mesma cor após o tingimento da peça.

Desta forma, é incomum a utilização das linhas convencionais de poliéster no tingimento em peça, a não ser que se tenha conhecimento para determinar o tom da cor com antecedência, de modo que as costuras e as suas características tenham a qualidade habitual. No entanto, a flexibilidade em relação à cor e as vantagens do tingimento em peça serão perdidas. A aplicação de linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de algodão também não é comum, pois a alma não tingirá durante o processo de tingimento do vestuário. O resultado é um efeito salpicado de cor mais claro, da cor cru dos filamentos, mostrando o efeito em intervalos regulares.

Em vestuário constituído por fibras de *lyocell* para tingimento em peça devem-se aplicar linhas de costura de fio de *lyocell*. Quando aplicadas em vestuário de algodão, existe a possibilidade de se obterem diferenças de cor perceptíveis, pois quando comparado com o algodão o *lyocell* possui um maior poder de absorção dos corantes.

As linhas de costura de fio de algodão são a alternativa para o tingimento em peça de vestuário constituído por fibras de algodão. Não obstante, após o tingimento, algumas partes da peça costurada com linhas de costura de fio de algodão apresentam um alongamento à tração da costura extremamente baixo em todas as costuras, tornando-se um problema, quando o material

em si é elástico, pois os resultados são costuras rompidas sob uma ligeira tensão aplicada durante o uso. As tensões mecânicas originadas durante o tingimento em peça, os processos de acabamento, o uso e o desgaste normal do vestuário influenciam negativamente as linhas de costura de fio de algodão. Como corolário é comum despoletarem costuras abertas e desgastadas, especialmente em áreas muito expostas. Dependendo das condições de tingimento, a perda de qualidade é significativa, não sendo surpreendente que as peças de vestuário tingidas apresentem costuras frequentemente danificadas ou destruídas (Figura 1.1). Consequentemente o vestuário é classificado como de segunda qualidade, aumentando as reclamações e os custos de produção, uma vez que existe a necessidade de proceder a reparações das peças afetadas, conduzindo a uma perda de reputação.



**Figura 1.1** – Costuras destruídas após tingimento em peça

Neste contexto é importante desenvolver uma linha de costura que permita por um lado diminuir ou mesmo eliminar as costuras danificadas e por outro manter uma afinidade tintorial similar às linhas de costura de fio de algodão, após o processo de tingimento em peça. Esta investigação pretende contribuir para a melhoria do desempenho e eficiência da costura, mantendo a estética, em vestuário sujeito ao processo de tingimento em peça.

## **1.2 Objetivos da investigação e metodologia**

Este trabalho de investigação tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma linha de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão.

Pretende-se com as novas linhas de costura, quando comparadas com as de fio de algodão penteado, gasado e mercerizado, atingir os seguintes objetivos específicos:

- Melhorar o desempenho no processo de costura;
- Melhorar a eficiência e o alongamento à tração da costura obtendo-se assim uma maior rentabilidade e vantagens económicas, reduzindo quer as costuras danificadas, frequentes após o tingimento em peça com as linhas de costura de fio de algodão, quer o arranjo das mesmas;
- Obter uma afinidade tintorial, no processo de tingimento em peça, semelhante às linhas de costura de fio de algodão. Aspira-se que o recobrimento efetuado com fibras de algodão permita ocultar alguma diferença de afinidade perceptível do *lyocell*, num único processo de tingimento;
- Obter vantagens ambientais, pelo facto do *lyocell* ser biodegradável.

Inicialmente os filamentos foram recobertos com fibras de algodão e posteriormente retorcidos para obtenção das linhas de costura. O trabalho consistiu na caracterização das propriedades físicas e mecânicas, das linhas de costura desenvolvidas e na avaliação do seu desempenho no processo de costura, em comparação com as linhas de costura de fio de algodão. Finalmente avaliou-se a qualidade da costura obtida com as diferentes linhas de costura e a sua afinidade tintorial no processo de tingimento em peça.

### **1.3 Estrutura da tese**

A presente tese encontra-se dividida em seis capítulos:

No primeiro capítulo é realizada uma pequena apresentação da aplicação das linhas de costura no processo têxtil de tingimento em peça, justificando-se a necessidade deste trabalho, os objetivos a atingir e a metodologia adotada.

No segundo capítulo abordam-se as linhas de costura e as principais estruturas e matérias-primas utilizadas na sua produção assim como a sua aplicação. Abordam-se também diversos aspetos relacionados com o tingimento em peça, identificam-se vantagens e desvantagens do processo, bem como as linhas de costura mais aplicadas, fazendo realçar as principais diferenças

entre elas. Estuda-se a fibra de *lyocell* em termos das propriedades, aplicações, variedades, o processo de produção, entre outros.

O terceiro capítulo é dedicado à qualidade da costura e às propriedades para a sua avaliação. Também são abordados os fatores que a influenciam, como os tecidos, linhas de costura, condições de costura e outros. Em relação às linhas de costura são abordadas as propriedades relacionadas com o seu desempenho no processo de costura. Nas condições de costura foi dada relevância às tensões geradas na linha da agulha no processo de costura, mantendo invariáveis outros fatores, com o objetivo de avaliar a *costurabilidade* das diferentes linhas de costura com diferentes quantidades de lubrificação.

No quarto capítulo é descrito todo o procedimento experimental desta investigação, que iniciou na torção e recobrimento dos filamentos de *lyocell*, seguida da retorção para obtenção das novas linhas de costura. São também descritos todos os procedimentos para a caracterização das propriedades físicas e mecânicas das linhas de costura, do seu desempenho no processo de costura, da qualidade da costura, da afinidade tintorial e da caracterização morfológica.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos neste trabalho de investigação e a discussão dos mesmos. Apresentam-se imagens que permitiram melhorar a interpretação dos valores obtidos, nas propriedades mecânicas das linhas de costura, em geometria de laçada e após o processo de costura. Foi efetuada uma análise das propriedades de atrito e a sua influência nas tensões geradas na linha da agulha. Também são apresentados os resultados da eficiência e do alongamento à tração da costura. Estes resultados permitiram comparar a qualidade da costura produzida pelas diferentes linhas de costura. Por último apresentam-se os resultados da afinidade tintorial em peça das diferentes linhas de costura.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas com o trabalho realizado, abordando-se ainda, o caminho a seguir no desenvolvimento de linhas de costura para aplicação no processo de tingimento em peça.

## **CAPÍTULO 2 – LINHAS DE COSTURA E TINGIMENTO EM PEÇA**

### **2.1 Linha de costura**

#### **2.1.1 Definição e requisitos gerais**

Um fio é um produto têxtil com um comprimento substancial e uma secção transversal relativamente pequena constituída por fibras e/ou filamentos com ou sem torção [1]. Uma linha de costura é o resultado de torcer dois ou mais fios singelos ou retorcidos. Os termos linhas e fios podem, em alguns casos, ser usados indiferentemente, apesar do termo linha implicar um produto final que foi acabado e que é utilizado para costurar [2].

Uma linha de costura pode ser definida como um fio flexível, uniformemente fiado, torcido, retorcido e tratado por um processo especial de acabamento. De forma a torná-la resistente às tensões originadas durante a sua passagem no olhal da agulha e no material envolvido nas operações de costura. A aparência, a durabilidade, as diversas aplicações do vestuário e outros produtos têxteis dependem significativamente do seu desempenho. A função de uma linha é costurar uma ou mais peças ou objetos em diversos materiais [3] e, produzir uma costura com qualidade, com durabilidade e utilidade. De maneira a cumprir esta função, a linha de costura deve ter um desempenho excelente sob condições específicas, ou seja, aquelas que dependem da máquina de costura e do material a costurar. Embora as linhas de costura tenham importância para o processo representam menos de 1% da massa do produto a costurar. Existe uma grande variedade de linhas de costura que diferem no tipo de fibra, na estrutura, na massa linear, na cor e no acabamento. A escolha desta depende do desempenho da gama de linhas de costura existentes e do material a ser costurado. O mercado das linhas de costura expandiu devido às diversas exigências e aumento de diferentes fibras na indústria de vestuário e à expansão em vários domínios das aplicações dos materiais têxteis. O aparecimento de máquinas de costura extremamente rápidas contribuiu significativamente para o desenvolvimento de uma enorme variedade de linhas de costura e processos [4].

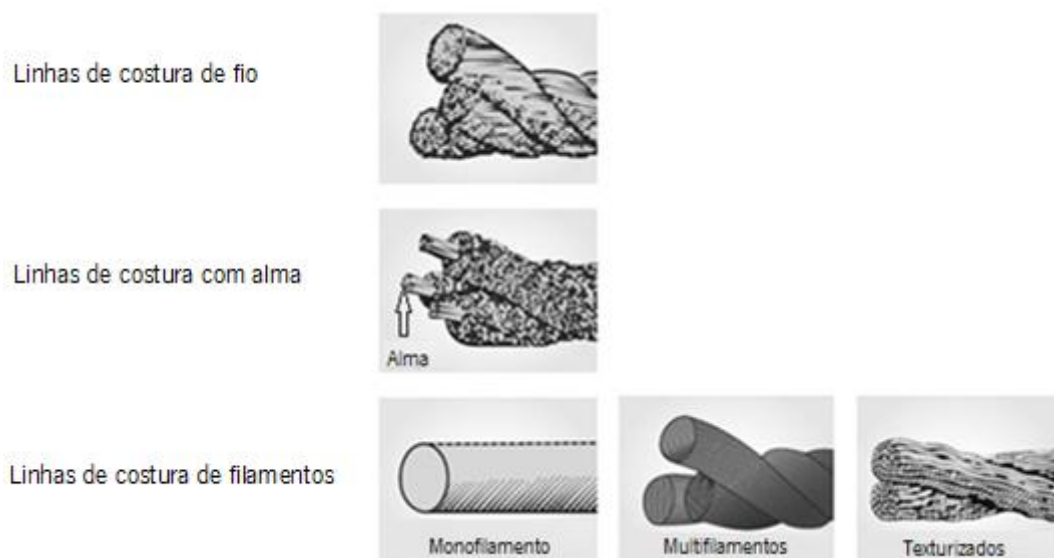
Também são utilizados adesivos para a confeção de vestuário, substituindo algumas operações de costura que precedentemente eram produzidas com linhas. Resinas que incluem polietileno de baixa e alta densidade, polipropileno, poliamida, poliésteres, acetato de vinil e emulsões acrílicas,

apresentam alguma resistência à lavagem e à limpeza a seco. As costuras exteriores, que simultaneamente resistam à penetração da água e possibilitem a dissipação do suor do corpo, podem ser unidas por uma fita termoplástica, permitindo que tecidos como o *Gore-Tex*, *Sympatex* e *Entrant* sejam comercializados como sendo à prova de água. Um exemplo patenteado consiste numa camada de revestimento de resina de poliuretano à prova de água numa face da costura, e de uma camada adesiva em base de elastómero na outra [2].

Apesar de recentes progressos, na automatização da montagem do vestuário, ainda não existem substitutos para as linhas de costura. A investigação e o desenvolvimento por parte dos produtores são dirigidos no sentido de produzir linhas mais resistentes e finas, eliminando irregularidades e o risco de rotura. Linhas de costura resistentes e de baixo atrito são essenciais para um bom desempenho nas máquinas de costura automáticas [4].

### 2.1.2 Estrutura das linhas de costura

Linhas de costura de fio, de filamentos e com alma são as únicas estruturas utilizadas na produção de linhas de costura. Estas são produzidas por fibras ou filamentos que são alinhados e torcidos em conjunto, sendo retorcidos para formar uma linha de costura com múltiplos cabos [5].



**Figura 2.1** - Principais estruturas das linhas de costura [5]



### **Linhas de costura de fio**

As linhas de costura de fio são, geralmente, produzidas a partir de algodão ou de fibras sintéticas [6]. As produzidas a partir de fibras de poliéster são as mais utilizadas, sendo mais resistentes do que as de algodão, para uma massa linear similar [5].

Este tipo de linhas de costura depende da sua coesão na torção. É necessária uma torção que previna que os seus componentes não se separem durante a formação da laçada. Contudo, aumentando a torção para além do seu limite pode levar à formação de laçadas, à aparência menos lustrosa e à redução na resistência da linha de costura [2].

A fibra de poliéster pode ser cortada com um comprimento similar ao comprimento médio das fibras de algodão de elevada qualidade, desta forma podem ser processadas de modo semelhante. Devido ao seu comprimento ser mais uniforme, não há necessidade da penteação para eliminar as fibras curtas, tornando o processo mais curto até à fase de retorção. No entanto, para garantir um produto sem encolhimento, com uma torção estável e que se possa tingir uniformemente, as linhas de costura devem ser submetidas a tratamentos térmicos perfeitamente controlados antes de serem bobinadas para tingimento. Este processo de produzir linhas com fibras cortadas é conhecido por *staple-spun*. [7].

As fibras sintéticas também se podem produzir diretamente de filamentos, estirando-se até ao ponto de rotura. Para este efeito utiliza-se um processo especial no qual os filamentos passam através de um conjunto de rolos que giram a diferentes velocidades, sendo o segundo conjunto de rolos o mais rápido. Cada filamento rompe antes de atingir o segundo jogo de rolos e é arrastado pelos filamentos contíguos. O resultado é um comprimento de fibras mais variável e comprido, cujas fibras são retorcidas para formar o fio, até atingir a linha de costura. Este processo denomina-se de *tow to top* [7].

### **Linhas de costura com alma**

A fim de conciliar a resistência das linhas de costura de filamentos com as propriedades de superfície e desempenho das linhas de costura de fio, desenvolveram-se as linhas com alma a partir de fios com alma, isto é, fios compostos por um eixo ou alma de filamentos envoltos em fibras. A alma é comumente de poliéster, podendo as fibras envolventes serem de algodão ou de poliéster. No caso de se pretenderem linhas de elevado desempenho e resistência à abrasão, estas são tratadas com um polímero sintético (ligante) que liga conjuntamente os filamentos individuais e os fios componentes [6].

A produção de linhas de costura com alma inicia-se com a fição das fibras de algodão e poliéster até à fase das mechas. Nos contínuos de fição modernos, inteiramente automatizados, as fibras da mecha são estiradas e fiadas em torno de um filamento de poliéster pré estabilizado, para formar o fio composto *corespun*. A utilização das máquinas mais modernas garante um produto mais homogêneo e com o mínimo de intervenção humana [7].

### **Linhas de costura de filamentos**

As linhas de costura de filamentos são mais resistentes do que as linhas de costura de fio para a mesma massa linear e composição. Os tipos de filamentos utilizados são [5]:

- **Monofilamentos**

Os monofilamentos são produzidos através da fição por extrusão, mas a fieira só tem um orifício com um perímetro maior do que as linhas de filamentos convencionais [4]. Uma linha de costura de monofilamento (normalmente conhecida como linha invisível) corresponde a um filamento único, sem torção, usualmente translúcido, ligeiramente áspero e compacto. A sua translucidez é uma propriedade importante quanto à sua aplicação, visto que reflete a cor do tecido onde é costurada. Contudo, em tecidos escuros, particularmente os que possuem um acabamento mate, o brilho pode prejudicar a aparência [2]. Normalmente são produzidos de poliamida 6.6, que possui um ponto de fusão mais elevado do que a poliamida 6, tornando-se profícuo quando ocorre aquecimento da agulha no processo de costura. Os monofilamentos são pouco flexíveis e desconfortáveis, quando costurados e em contacto com a pele. Como não são torcidos, tornam-se apropriados para operações de costura multidirecionais [4], e podem ser aplicados em bainhas, tapeçarias e móveis [5].

- **Multifilamentos**

Estas linhas de costura são, geralmente, produzidas a partir de multifilamentos de poliéster ou poliamida, e aplicadas em costuras onde o primeiro requisito é uma tenacidade elevada, como é o caso dos sapatos, vestuário de pele e produtos industriais. Estas são usualmente termoplásticas e podem fundir sob calor moderado, entre 240 e 260°C [2]. Quando se necessita de linhas de costura flexíveis, os fios são retorcidos, fixados, tingidos e lubrificados. Se for necessário um rendimento e uma resistência à abrasão elevados, os fios

torcidos são tratados com copolímeros sintéticos, uma vez que unem os filamentos individuais e os cabos [7].

- **Texturizados**

As linhas de filamentos texturizados obtêm-se por modificações estruturais (texturização) que, introduzindo frisado, lhes conferem um “alto volume”, permitindo a variação da rigidez do frisado. Estas linhas, individualmente ou provenientes da junção de vários cabos, são convenientemente torcidas para aplicações na parte interior do vestuário. Obtêm-se costuras confortáveis, pois estas linhas de costura possuem um toque muito suave [6]. Texturizar os filamentos confere à linha de costura um maior poder de cobertura e uma elevada extensibilidade, todavia torna a linha de costura mais suscetível a originar pontas salientes, no processo de costura ou no uso do vestuário [5].

### **2.1.3 Matérias-primas e sua aplicação**

Até meados dos anos 50 as linhas de costura eram produzidas a partir de fibras naturais, como o algodão, o linho e a seda. As de algodão dominavam a indústria de confecção de vestuário, pois eram mais baratas, sendo as de seda aplicadas em alta costura e as de linho em botões e costuras devido à sua maior resistência. Até aos finais dos anos 60, as de algodão mercerizado eram as mais utilizadas a nível mundial, sendo a época em que as fibras sintéticas já se tinham estabelecido noutros setores da indústria têxtil. Nos anos 90 e atualmente o cenário mudou radicalmente. As fibras naturais são as menos utilizadas, sendo substituídas pelas fibras de poliéster na produção de linhas de costura para a indústria de confecção de vestuário [8].

As linhas de costura de fio são as mais aplicadas na produção de vestuário em todo o mundo [8]. No entanto, para algumas aplicações específicas são desenvolvidas linhas de costura de modo a satisfazer requisitos mais exigentes. As propriedades das linhas de costura variam se a sua aplicação for em tecidos retardadores da chama, em vestuário para condições climatéricas extremas, em vestuário para utilização a altas temperaturas, em bordados, em geotêxteis, entre outros [4].

### **Linhas de costura de linho**

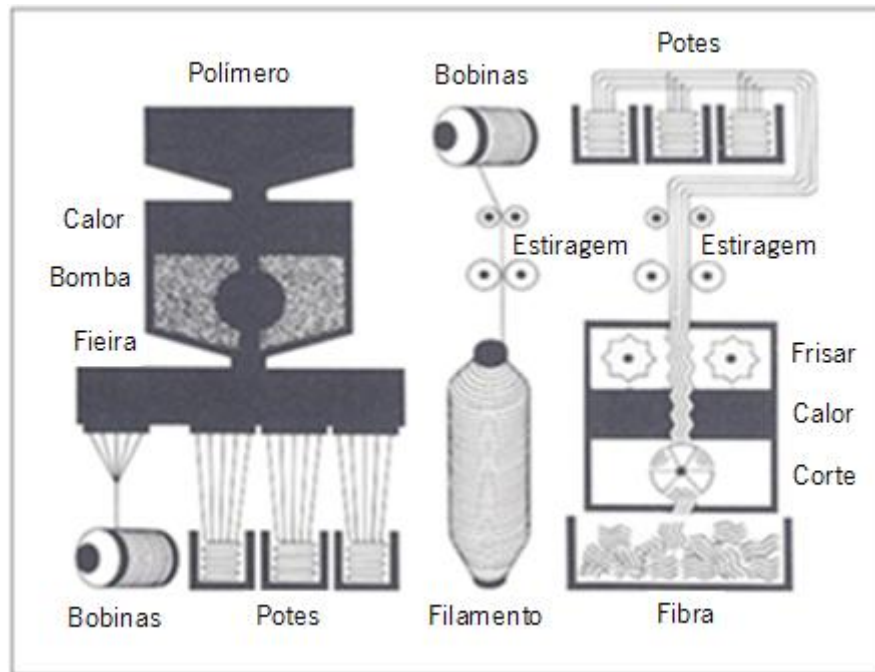
As linhas de costura de linho são ásperas, pouco flexíveis e possuem uma baixa resistência à abrasão. Se forem expostas à ação das bactérias, num estado molhado, têm tendência à putrefação. Por estas razões, possuem um número restrito e decrescente de aplicações [2]. Tiveram aplicação na costura de calçado de desporto, de tendas, de lonas e de botões. Também foram utilizadas em algumas aplicações militares e aeroespaciais. Na atualidade, são substituídas pelas linhas de costura de filamentos de poliamida, que possuem uma resistência inerente à putrefação, mildio, transpiração e produtos químicos [4].

### **Linhas de costura de seda**

As linhas de costura de seda são caracterizadas pela excelente aparência lustrosa e elevada extensibilidade, sendo a resistência à abrasão baixa. As aplicações são restritas a coser botões, casas e costuras decorativas, onde se pretende obter um acabamento lustroso [2]. Uma das restrições é o seu custo elevado, por isso são normalmente aplicadas em vestuário fabricado por medida, como a alfaiataria, a alta-costura ou em vestuário extremamente caro. Podem ser produzidas em estrutura de filamentos ou fios [4].

### **Linhas de costura de fibras sintéticas**

As linhas de costura de fibras sintéticas são produzidas, numa fase inicial, como filamentos e convertidas em linhas de costura de fio ou linhas com alma, conforme a exigência [4]. Este processo de produção é conhecido como fiação por extrusão (Figura 2.2). Para obter os filamentos de alta tenacidade adequados à produção de linhas de costura de filamentos, estes são estirados individualmente para orientar as cadeias de polímeros. Para produzir a fibra cortada agrupam-se os filamentos em forma de mecha ou estrutura de corda, estiram-se e frisam-se para melhorar as propriedades de atrito. A mecha é então cortada em fibras com comprimentos regulares ou estirada até à rotura para se obter fibras com comprimentos mais elevados e variáveis [7].



**Figura 2.2** - Fio e estiragem [7]

Estas linhas de costura sintéticas possuem um menor encolhimento na limpeza a seco e em condições de lavagem normais. Esta propriedade é fundamental para evitar costuras franzidas em tratamentos do vestuário. Não apresentam problemas, no que concerne à torção, à cor e não são afetadas pelo mildio ou bactérias. Possuem uma resistência de rotura e à abrasão mais elevadas do que outras linhas de costura. Significa que quando produzirmos uma costura, para uma determinada resistência à tração, as linhas de costura de fibras sintéticas vão possuir uma massa linear inferior em relação às linhas de costura de fio de algodão, para uma mesma aplicação [4].

Normalmente são produzidas com fibras de poliéster e poliamida. A introdução das fibras de poliéster revolucionou a indústria das linhas de costura, substituindo as linhas de seda, pois estas possuíam um custo elevado e um processo de produção mais complicado. Os filamentos, tanto de poliéster como de poliamida, utilizados para a produção de linhas de costura são, geralmente, de secção circular e superfície lisa, tornando-os mais brilhantes do que as fibras naturais devido a uma reflexão da luz mais elevada. Porém, para aplicações especiais como bordados existem filamentos de poliéster multilobal que possuem valores de reflexão de luz mais elevados do que os de secção circular [4].

As linhas de costura de poliéster e poliamida podem fundir devido ao aquecimento da agulha, o que se torna um ponto fraco. No entanto, se o recobrimento dos filamentos sintéticos, no caso das

linhas com alma, for efetuado com fibras de algodão, os problemas causados pelo aquecimento da agulha são minimizados. O algodão protege a alma de filamentos termoplásticos do calor gerado na agulha, por movimentos constantes e rápidos no processo de costura. Contudo, este tipo de linhas de costura necessita de um duplo tingimento de maneira a obter uma cor similar, quer na alma de filamentos sintéticos quer no recobrimento de fibras de algodão, conduzindo a um aumento dos custos. A fibra de poliéster possui um custo reduzido, uma elevada resistência de rotura, excelentes propriedades químicas, propriedades elásticas favoráveis e uma ótima solidez à lavagem. A poliamida devido à sua elevada elasticidade não é tão aplicada como linha de costura, porque tende a alongar no processo costura e relaxar após o mesmo, causando costuras franzidas. Usualmente o poliéster e a poliamida possuem uma elevada resistência aos produtos químicos, apresentando a poliamida uma maior resistência às condições alcalinas e o poliéster aos ácidos. Ambas perdem tenacidade quando expostas à luz solar por períodos prolongados, sendo a poliamida afetada pelos componentes visíveis e ultravioleta da luz solar, como o algodão. O poliéster é afetado quando se encontra perto da radiação ultravioleta. Na luz solar tropical, a fibra de poliamida degrada-se mais rapidamente que a fibra de poliéster, mas possui uma tenacidade inicial mais elevada [4].

A empresa alemã *Amann* introduziu um novo processo de produção, nomeadamente de fibras de poliéster reciclado. A empresa examinou a variedade de materiais com adequabilidade, e introduziu três linhas de costura no mercado de poliéster reciclado, uma linha de costura texturizada, de multifilamentos e de bordar [9].

As linhas de costura de filamentos de poliéster e poliamida podem ser aplicadas em sapatos, *airbags*, assentos de automóvel, bordados, tecidos técnicos, cintas de amarração e em colchões [10].

As linhas de costura de filamentos de polipropileno (PP) possuem uma elevada resistência à tração, à abrasão e aos produtos químicos, uma eficiente repelência à sujidade, neutralidade aos odores, e não tendem a criar pilosidade. Porém, possuem um ponto de fusão baixo, entre 165 e 175°C, o que condiciona a sua aplicação em produtos têxteis que são costurados a velocidades elevadas [4]. Os sacos contentores ou os depósitos têxteis de carga costuram-se, geralmente, com linhas de polipropileno, logo oferecem uma excelente resistência aos agentes químicos e biológicos [11].

### **Linhas de costura para vestuário altamente elástico**

Atualmente é extremamente indispensável conseguir uma costura de elevada elasticidade em diversas aplicações. Os materiais elásticos utilizam-se em vestuário de desporto, mas cada vez mais têm aplicação em inúmeras áreas da indústria do vestuário e cada área requer costuras com elasticidade personalizada. No processo de costura, a elasticidade elevada é um requisito especial, que normalmente só é atingido com a escolha correta dos parâmetros de costura. Basicamente, em todas as operações de costura, a elasticidade da costura deve corresponder à elasticidade do tecido, de maneira a garantir a perfeita qualidade do produto. Esta elasticidade depende, em primeiro lugar, da quantidade de linha utilizada numa costura, sendo controlada pelo tipo de ponto, pela densidade de pontos e tensão da linha. Na prática processar tecidos altamente elásticos torna-se uma tarefa particularmente exigente, principalmente, em operações de costura complicadas, tais como as mangas, pernas e decotes, uma vez que os tecidos atingem uma elasticidade superior a 200%. Quase todos os consumidores já se depararam com costuras rompidas (Figura 2.3) devido à elasticidade insuficiente da costura [12].



**Figura 2.3** - Costuras Rompidas [10]

Para eliminar este problema produziu-se uma linha de costura altamente elástica, a partir de multifilamentos de Polítrimetileno Tereftalato (PTT). Esta possui um alongamento de rotura de aproximadamente 70%, sendo mais elástica do que qualquer linha de costura convencional, com um alongamento de rotura entre 12 a 20%. Na Tabela 2.1 são apresentadas as propriedades desta linha de costura comparativamente às convencionais linhas com alma [12].

**Tabela 2.1** - Linhas com alma convencionais e linhas de multifilamentos PTT

<b>Construção</b>	<b>Linhas com Alma</b>	<b>Linhas de Multifilamentos de PTT</b>
<b>Número de Cabos</b>	2	3
<b>Massa Linear</b>	222*2 dtex	205*3 dtex
<b>Resistência de Rotura</b>	2100 cN	1350 cN
<b>Alongamento de Rotura</b>	Aprox. 17%	Aprox. 68%
<b>Massa Linear</b>	141*2 dtex	103*3 dtex
<b>Resistência de Rotura</b>	1100 cN	710 cN
<b>Alongamento de Rotura</b>	Aprox. 14%	Aprox. 68%

Independentemente dos parâmetros mencionados, tais como o tipo de ponto, a densidade de pontos e a tensão da linha, a utilização de linhas de multifilamentos de Polítrimetileno Tereftalato contribui para um notável aumento da elasticidade da costura. Contudo, a sua aplicação deve ser estudada caso a caso conforme o tipo de modelo, o material e a operação de costura. Devido à sua elevada elasticidade requer uma tensão extremamente baixa no processo de costura, que deve ser determinada e ajustada na mudança do modelo a costurar. Se esta mudança for realizada com o devido cuidado e assistência, o processo de costura decorre sem problemas a registar.

### **Linhas de costura solúveis**

As linhas de costura de fibras sintéticas, revestidas por policarbonato, foram desenvolvidas para substituir as linhas de alinhavar convencionais. Os produtos costurados são tratados com um solvente em limpeza a seco que, quando agitado, reduz a coesão da linha até a rotura ser iniciada e, posteriormente, os fragmentos da linha de costura são eliminados do tecido. Linhas de costura da família do álcool polivinílico (PVA) dissolvem em água perto da ebulição e são utilizadas no fabrico de malhas, emendando uma malha à outra. Estas substituíram as linhas convencionais que eram retiradas manualmente [2].

### **Linhas de costura para têxteis técnicos**

Os têxteis técnicos representam um desafio para um produtor de linhas de costura. Por um lado exigem todo o conhecimento específico do segmento das linhas de costura e, por outro lado,



exigem cada vez mais o máximo de prestação dos departamentos de desenvolvimento. As quantidades previstas, além de diminutas, são muito atrativas porque os custos não estão sempre em primeiro plano. As linhas de costura para aplicações técnicas podem ser normais ou especiais e, geralmente, a sua aplicação é definida pela peça a costurar. Normalmente, não dependem da moda ou da cor, mas sim da função que irão desempenhar na costura dos têxteis técnicos, donde derivam os perfis de exigência das linhas de costura. Existem aplicações nas quais se exige inexoravelmente uma propriedade, enquanto noutras aplicações solicitam-se características combinadas que quase sempre se tratam de requisitos especiais e individuais. Porém, as linhas de costura especialmente desenvolvidas para objetivos específicos não podem ser aplicadas de um modo universal, como é no caso das linhas de costura convencionais, pois exigem rigor na sua elaboração para assegurar uma costura perfeita [11].

Quando se exige uma resistência a elevadas temperaturas, entre 370 e 425°C, aplicam-se linhas de costura de para-aramida e meta-aramida, tais como o *Kevlar* e o *Nomex*. As linhas de costura de filamentos de polieteretercetona (PEEK) podem ser aplicadas na filtração de gases ou líquidos quentes, pois oferecem durabilidade contra os ácidos e os álcalis, possuem uma excelente estabilidade à temperatura e decompõem-se a 334°C [10]. Também se podem aplicar as linhas de filamentos de *Kerme*/recobertos com politereftalato de etileno (PET).

Para têxteis expostos às intempéries ou à luz solar utilizam-se linhas de costura de politetrafluoretileno (PTFE), uma matéria-prima que se destaca pela sua extrema resistência à ação do meio ambiente, à radiação ultravioleta, ao envelhecimento e à poluição, sendo resistentes aos ácidos, aos solventes e à abrasão [11]. As costuras realizadas com as linhas de politetrafluoretileno, em têxteis protetores contra os raios solares, oferecem uma costura com garantia de 15 anos. Para descarregar a corrente elétrica ou as cargas eletrostáticas utilizam-se linhas de filamentos de poliamida/inox (PA/Inox), fios sintéticos com uma pequena proporção de filamento metálico e fios de filamentos de poliéster/carbono, isto é, fios de poliéster com uma pequena proporção de carbono. Em conjunto com as linhas de costura de filamentos poliacrílicos (PAN), para a filtração em temperaturas que variam entre 700 e os 1 200°C, encontram-se as linhas de costura de fibras de aço ou de vidro [10].

As linhas de costura de fibras de carbono, além de excelentes propriedades mecânicas possuem também desempenhos físicos como condutividade elétrica, resistência aos ácidos e álcalis. Aplicam-se em meios filtrantes para elevadas temperaturas, entre 250 a 500°C, como por exemplo a filtração de gás quente, em sistemas de aquecimento, tais como assentos de

automóveis com elementos de aquecimento ou cobertores de aquecimento para aplicação médica devido à condutividade térmica [13].

As linhas de costura produzidas a partir de carboneto de silício, após exposição a temperaturas superiores a 1 000°C, apresentam muito poucos danos na fibra e uma elevada retenção da resistência de rotura, tornando-as aplicáveis em cobertores para utilizar em sistemas de termo proteção e em vaivéns espaciais. Linhas de costura de fibras de cerâmica são utilizadas em aplicações de mineração, sendo compostas por fios de cerâmica (grafite, carboneto de silício ou óxido de metal refratário) em que pelo menos um fio é recoberto com fibras orgânicas [4].

A indústria automóvel (Figura 2.4) é exigente com as linhas de costura relativamente à exatidão das cores e à sua solidez à luz, particularmente nos assentos. Outras exigências são a resistência ao envelhecimento das coberturas dos descapotáveis, as tolerâncias de fabricação, as propriedades das costuras de aperto súbito para o airbag lateral e a resistência máxima de rotura dos cintos de segurança [4].



**Figura 2.4** – Aplicações na indústria automóvel [10]

Devido ao êxito dos sistemas passivos de retenção, como as bolsas de ar para proteger os passageiros dos veículos, os fabricantes de linhas de costura enfrentam novos desafios. Nas costuras de aperto súbito dos airbags e nos apoios dos assentos (em alguns casos no revestimento das portas) requer-se uma garantia mínima de 15 anos da costura. Isto corresponde a exigências extremas da linha de costura e do rastreio das suas características, apelidando este componente de “parte crítica” [4].

Na indústria automóvel podem ser aplicadas linhas de costura de filamentos de poliéster, com ou sem acabamento repelente a água, de filamentos de poliamida 6.6 e de filamentos texturizados nos apoios da cabeça. Nos airbags também se podem aplicar linhas de costura de filamentos de

poliamida 4.6, de para-aramida, de meta-aramida. As linhas de costura de politetrafluoretileno podem ser aplicadas em coberturas de descapotáveis [10].

Novos setores técnicos são os geotêxteis, que se aplicam nas estradas, diques e agricultura. Nos geotêxteis, as costuras constituem um dos componentes mais críticos na formação de tecidos amplos a partir dos tecidos estreitos disponíveis. As costuras produzidas com linhas de costura são as preferidas devido à capacidade de manter a elasticidade da estrutura. As linhas de costura de poliéster e polipropileno são as mais utilizadas em geotêxteis, para aplicações mais exigentes são utilizadas as de para-aramida [4].

O vestuário de proteção (Figura 2.5) serve para defender o homem contra o ambiente e vice-versa. As exigências que se colocam à qualidade da costura, do vestuário de proteção, são parcialmente normais. Contudo, é possível que os requisitos sejam específicos e, nestes casos, devem-se aplicar linhas de costura especiais. A seleção da linha de costura efetua-se sempre segundo os seguintes critérios: o local do posto do trabalho, a classe de risco, a proteção necessária, a comodidade, o tempo de uso, os custos e o aspeto. Por exemplo, um vestuário protetor contra o calor deve retardar eficientemente o aumento da temperatura da pele, para que o utilizador tenha o tempo indispensável de reação e consiga retirar-se sem sofrer queimaduras. As linhas de costura são, neste caso, de primordial importância porque servem como o elemento de união. A influência das linhas de costura na combustão de toda a peça de roupa é relativamente pequena [10].



**Figura 2.5** - Vestuário de proteção [10]

As linhas de costura de para-aramida e meta-aramida estão predestinadas para a roupa protetora contra temperaturas superiores a 256°C e têm as seguintes características [10]:

- Resistência ao calor da para-aramida até 425°C e do meta-aramida até 370°C;
- Retardam as chamas, auto extinguem-se e não fundem;
- Elevada resistência de rotura;
- Em geral, possuem resistência a produtos químicos.

Uma linha de costura produzida com alma de filamentos de poliéster recobertos com fibras de polieterimida pode ser aplicada em vestuário de proteção. O recobrimento com fibras de polieterimida protege a alma de filamentos de poliéster do sobreaquecimento, devido à resistência destas a temperaturas elevadas. As linhas de costura produzidas com fibras de aço inoxidável revestidas por politetrafluoretileno podem ser aplicadas em vestuário de proteção resistente ao calor e em produtos de isolamento térmico [4].

Outros campos de aplicação técnica das linhas de costura são as tendas, lonas, sacos contentores, para-quedas e similares, velas, encadernação, cirurgia (por exemplo os laminados para salas de operações) [11].

### **Linhas de costura para botões - Ascolite TF**

A costura a que está sujeito um botão é a mais utilizada numa peça de vestuário. O método clássico de costura do pescoço de um botão, com linha de costura convencional, é um processo lento e não suficientemente seguro para prevenir a perda de um botão. A linha de costura *Ascolite TF* (Termofusão) foi especialmente delineada para a costura do botão com total segurança. Em comparação com uma linha de costura convencional, a *Ascolite TF* é a combinação de uma linha com uma alma elástica (*Elastano*) recoberta por uma camada que funde pela ação do calor. A alma permite o acondicionamento do botão sob uma elevada tensão, de maneira a apertar firmemente a linha de costura. O recobrimento liga o fio acondicionado e elimina a perda do botão e pontas de linha. Como se pode verificar pela Figura 2.6, uma linha de costura convencional não está preparada para costurar o pescoço do botão, tendendo a soltar-se facilmente e conseqüentemente a perda do mesmo. A *Ascolite TF* está projetada para enrolar o pescoço do botão e, pela ação da força de pressão do elastómero e da camada termo adesiva, o botão é seguro de maneira a não se perder. A alma de *Elastano* possibilita uma grande flexibilidade, um acondicionamento incomparável da linha, uma elevada resistência ao desgaste nas lavagens e uma elasticidade de 330% [14].



**Figura 2.6** - Botão costurado com linha convencional e com a *Ascolite TF* [14]

Como se pode verificar na Figura 2.7 um botão costurado com a linha de costura *Ascolite TF* não deixa os cabos soltos e elimina as rugas na peça de vestuário (Figura 2.8) tornando a costura mais estética [14].



**Figura 2.7** - Botão costurado com linha convencional e com a *Ascolite TF* [14]



**Figura 2.8** - Botão costurado com linha convencional e com a *Ascolite TF* [14]

Para este tipo de costura foram desenvolvidas máquinas de costura que acondicionam qualquer tipo de botão a velocidades elevadas e com uma precisão uniforme. O acondicionamento, a impermeabilização e o acabamento demora cerca de um segundo [14].

## 2.2 Tingimento em peça e linhas de costura

Tingimento em peça, *PPT (Pronto per Tinta)*, *PAT (Pret a Teindre)* ou *RFD (Ready for Dyeing)*, são diferentes designações do mesmo processo têxtil, onde o vestuário é costurado em cru e

tingido após o processo de costura [10]. É muito utilizado para produzir vestuário ocasional, camisas, calças e casacos, por tingimento de toda a peça de vestuário após o processo de costura. Um vestuário produzido e tingido por este processo pode ser considerado de inferior qualidade, pois [15]:

- O tingimento de tecidos em forma de rolo permite um maior controle do processo de tingimento quando comparado com o processo de tingimento em peça, podendo afetar seriamente a uniformidade do tingimento bem como a solidez à lavagem;
- O encolhimento do tecido em forma de rolo pode ser controlado e ajustado, ao contrário do processo de tingimento em peça, tornando difícil e imprevisível o controle do tamanho e forma do vestuário. As peças de vestuário tingidas por períodos maiores, no caso das cores mais escuras, tendem a um maior encolhimento do que as tingidas por períodos menores, como é o caso dos tons mais claros;
- Todos os componentes da peça de vestuário devem ser produzidos por fibras da mesma proveniência, para exibirem a mesma cor após tingimento da peça. É quase impossível obter a mesma origem da fibra em todos os componentes do vestuário. Se num vestuário tivermos um tecido produzido por fibras de algodão de proveniência chinesa, as linhas de costura produzidas por fibras de algodão de proveniência sudanesa e o fecho produzido por fibras de algodão de proveniência americana, vamos obter ligeiras diferenças de cor após tingimento da peça devido aos diferentes tipos de sementes e condições de cultivo. O processo de fiação utilizado para a produção dos fios, que vão ser aplicados nos diferentes componentes do vestuário, contribui para a obtenção de diferenças na reflexão da luz e consequentemente diferenças na percepção da cor, nas mesmas condições de tingimento.

Do ponto de vista produtivo, o tingimento em peça torna-se um grande desafio. A mudança nos processos de produção convencionais tem consequências na qualidade da costura, pois os materiais e acessórios utilizados, o processo de costura e os indicadores de qualidade são alterados. Desta forma, os parâmetros de produção devem ser ajustados. A operação de gasagem (onde se eliminam as fibras soltas de algodão por queima), e a operação de sanforização (onde os tecidos sofrem um encolhimento por compressão de modo a garantir que as suas variações dimensionais durante a lavagem não ultrapassem 1%) [16], são acabamentos que as matérias-primas utilizadas neste processo normalmente recebem, de modo a prepará-las para os processos

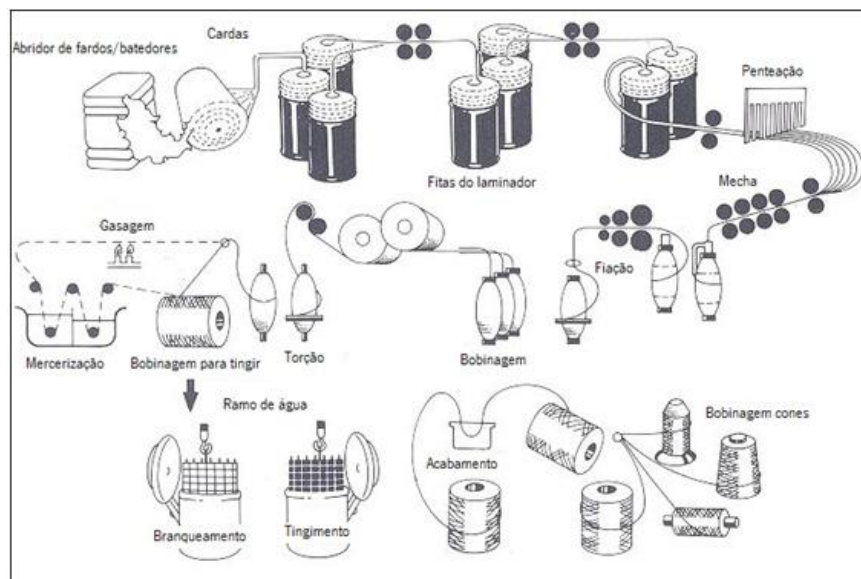
subsequentes de tingimento e para facilitar o processo de costura. Todos os acessórios, como as linhas de costura, fechos, etiquetas, rebites, entre outros, devem estar adequados para subsequentes processos de tingimento e acabamento. Será a etiqueta legível depois do tingimento em peça? A afinidade do fecho será a mesma? Os rebites sobreviverão ao tingimento sem nenhuma alteração de cor? Estas questões têm de ser clarificadas com testes práticos para cada acessório e previamente ao processo de costura, uma vez que as condições de tingimento e acabamento não são muitas vezes conhecidas [10].

### 2.2.1 Linhas de costura de algodão

As linhas de costura de fio de algodão têm como aplicação típica o tingimento em peça [10]. Produzem-se com fibras longas e extra longas das melhores colheitas mundiais, cuidadosamente selecionadas pela sua resistência de rotura, comprimento, finura e maturidade [4].

O processo de fiação, que inclui a penteação, produz linhas de costura com maior resistência de rotura e qualidade [4]. A função da penteação é eliminar as fibras curtas e colocar as restantes fibras paralelamente umas às outras numa fita [7].

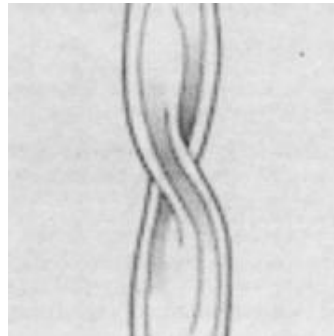
A Figura 2.9 ilustra a sequência dos processos da fabricação de linhas de costura de algodão, incluindo as alternativas para os diferentes acabamentos.



**Figura 2.9** - Processos de fabricação de linhas de costura de fio de algodão [7]

As linhas de costura de fios de algodão são de três tipos de qualidade: suave, polido e mercerizado. Estas também podem ser produzidas a partir de fibras de algodão orgânico [10].

As de qualidade suave não recebem nenhum tratamento especial, a não ser o branqueamento ou tingimento e a aplicação uniforme de um lubrificante de baixa fricção atenuando assim os processos de produção. As fibras possuem uma aparência tipo fita achatada com frequentes convulsões (Figura 2.10) [4].



**Figura 2.10** - Fibra de algodão de qualidade suave [4]

Na secção transversal, as fibras possuem uma aparência como tubos ocios esmagados (Figura 2.11). Estas fibras têm um diâmetro médio de 20  $\mu\text{m}$  e um comprimento médio de 38 mm. Normalmente possuem um elevado encolhimento a molhado, o que pode causar costuras franzidas após as lavagens. Apesar de serem produzidas com fibras longas este tipo de linhas de costura possuem um custo inferior.

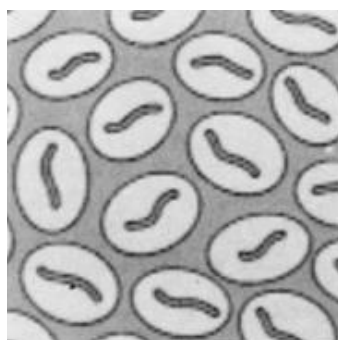


**Figura 2.11** - Secção transversal das fibras de algodão de qualidade suave [4]



A partir das fibras anteriores são produzidas as linhas de costura de fios de algodão de qualidade polido, sendo protegidas e consolidadas através da aplicação de um revestimento superficial especial constituído por uma mistura de amido e lubrificantes. Desta forma produz-se uma linha de costura mais rígida, com uma superfície mais suave e uma melhor resistência à abrasão. A superfície é polida por escovas rotativas de elevada velocidade que lhe confere uma aparência polida típica. Este revestimento não é permanente e pode ser removido por tratamento aquoso. Possuem aplicações em costuras decorativas, de peles e de tecidos pesados, por suportarem as condições severas de costura [4].

As linhas de costura de fio de algodão que apresentam um melhor desempenho são as mercerizadas [4]. O inchamento do algodão numa solução aquosa de hidróxido de sódio é um tratamento muito relevante e é chamado de mercerização. Esta é utilizada para melhorar a afinidade tintorial, reatividade química, estabilidade dimensional, tenacidade, brilho e o toque [17]. A mercerização incha a fibra de algodão e a secção transversal torna-se redonda (Figura 2.12). Sendo esta alteração responsável por um maior brilho e um aumento de cerca de 12% na resistência de rotura. Estas linhas de costura de fios de algodão de qualidade mercerizado são produzidas com uma torção ligeiramente menor que as linhas de costura de fios de algodão de qualidade suave, para assim permitir um processamento satisfatório. Estas são amplamente utilizadas para costuras domésticas, botões, bordados e na indústria do vestuário [4].



**Figura 2.12** - Secção transversal das fibras de algodão de qualidade mercerizado [4]

A aplicação de linhas de costura de fio de algodão no tingimento em peça parece tão simples e natural que, muitas vezes, uma qualidade de costura inferior pode ser subestimada e negligenciada [18].

A sua baixa resistência de rotura tem um efeito direto na resistência à tração das costuras, tornando-se um problema para todas as costuras que estão sujeitas a grandes tensões. Em alguns

casos a resistência à tração da costura pode ser reduzida a um nível tal, que as costuras rompem por força manual. Em ambientes de produção, onde as máquinas de costura são completamente automatizadas e com velocidades de produção elevadas, a sua utilização torna-se difícil, pois ocorrem demasiadas roturas das linhas de costura, se as máquinas não estiverem corretamente afinadas. Um exemplo são as máquinas de costura automatizadas e multidirecionais ou máquinas de costura antigas, pois trabalham com tensões extremamente elevadas.

O vestuário que sofre o processo de tingimento em peça quando costurado com linhas de costura de fio de algodão apresenta um alongamento à tração da costura extremamente baixo, o que representa um problema quando o material é elástico, resultando muitas vezes em costuras danificadas sob baixas tensões.

A baixa resistência à abrasão torna-se um grave problema em relação às costuras no tingimento em peça. As tensões mecânicas sofridas no processo de costura e no tingimento em peça, os acabamentos e o desgaste normal do vestuário são extremamente prejudiciais. Como consequência, surgem costuras danificadas e abertas, especialmente em zonas muito expostas do vestuário. A Figura 2.13 apresenta um exemplo de costuras danificadas durante o tingimento em peça [10].

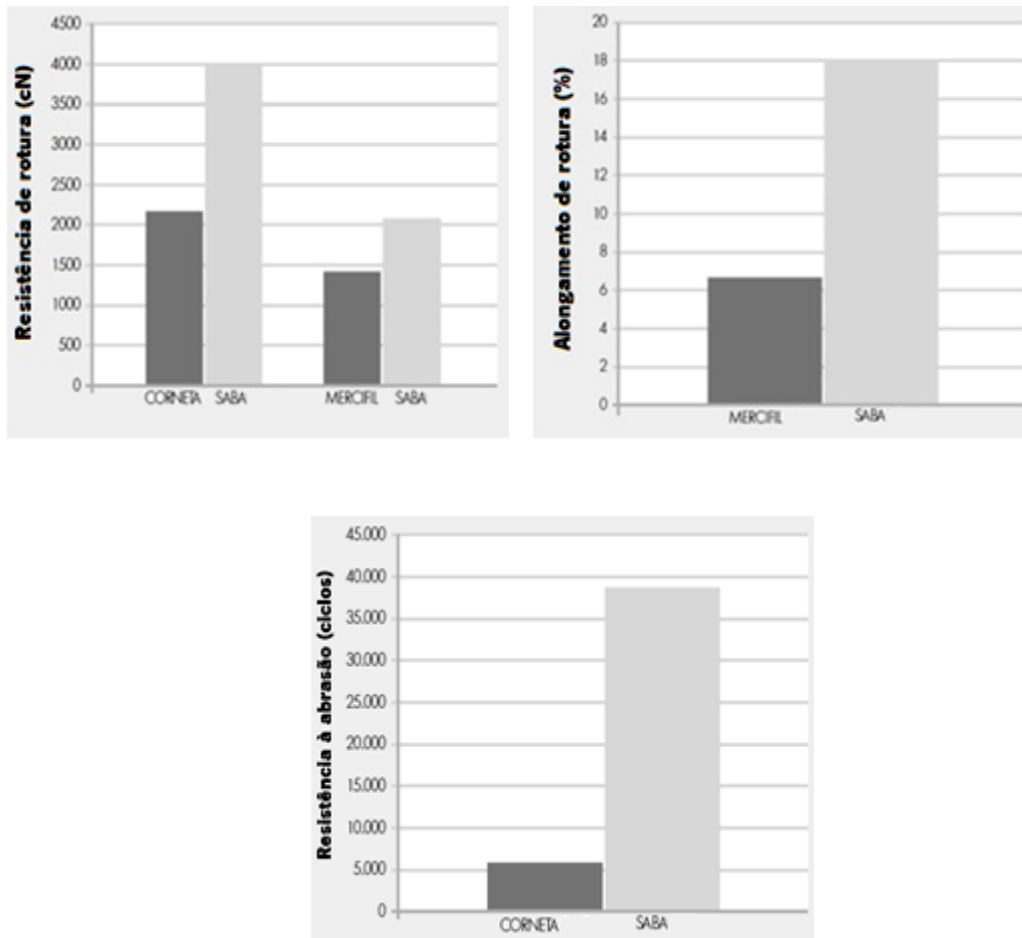


**Figura 2.13** - Costuras danificadas em áreas muito expostas [10]

As linhas de costura de fio de algodão suportam temperaturas mais elevadas que as linhas de costura de fibras sintéticas e, como tal, são menos afetadas pelo aquecimento das agulhas.

A resistência e alongamento de rotura e a resistência à abrasão, das linhas de costura de fio de algodão, são inferiores às linhas de costura de fibras sintéticas de massa linear similar, tornando estes fatores de qualidade incomparáveis uma vez que apresentam diferenças elevadas. A Figura 2.14 compara a resistência e alongamento de rotura e da resistência à abrasão, entre as linhas de

costura de fio de algodão (*MERCIFIL* ou *CORNETA*) e as linhas de costura com alma de poliéster (*SABA*) para massas lineares similares [10, 18].



**Figura 2.14** - Comparação da resistência e alongamento de rotura e resistência à abrasão entre as linhas de costura de fio de algodão (*MERCIFIL* ou *CORNETA*) e as linhas de costura com alma de poliéster (*SABA*) [10]

### 2.2.2 Linhas de costura de *lyocell*

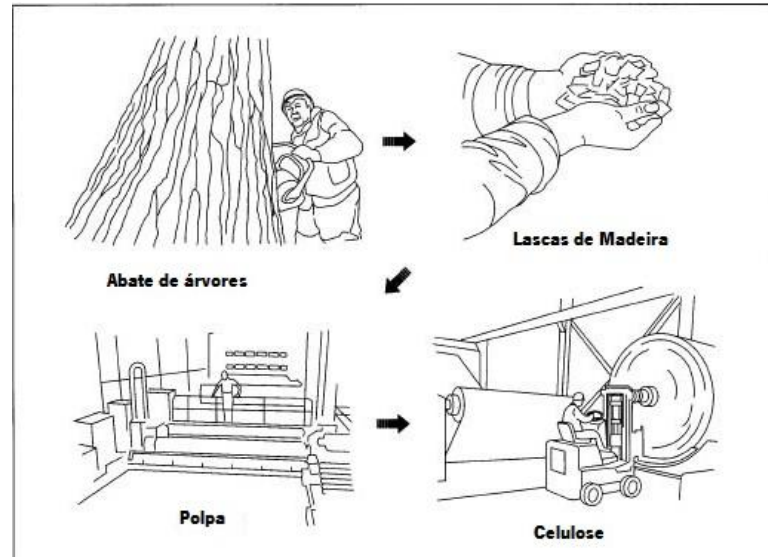
*Lyocell* (LYO do grego: lyein=dissolve, CELL da “*cellulose*”) é reconhecido pela *BISFA* (The International Bureau For The Standardisation Of Man-Made Fibers) como o nome genérico de uma fibra celulósica, que se obtém por dissolução mediante um processo de fiação com um solvente orgânico. O símbolo é CLY [19]. As plantas sempre detiveram um potencial para satisfazer muitas necessidades da sociedade e as pessoas aprenderam que tinham de criar itens sem prejudicar o ambiente nem a sociedade e um dos exemplos é o *lyocell* [20].

Foi em meados dos anos 70 que surgiu o primeiro programa de investigação sobre o *lyocell*, em que o único objetivo da investigação era produzir fibras e filamentos, tendo sido lançada em 1976 com o nome de *Newcell* pela empresa norte americana *American Enca Corp.* [20]. Foram precisos 16 anos e um investimento de 500 milhões de dólares americanos para desenvolver a fibra e o seu processo original no qual, virtualmente, todos os solventes utilizados são recuperados [21]. A *Courtaulds* foi o primeiro produtor a lançar, em grande escala, esta nova fibra regenerada com o nome de *Tencel* [22]. Um dos maiores acontecimentos foi a aquisição, em 2004, da *Tencel Ltd.* pela *Lenzing* da Áustria. A *Lenzing* também desenvolveu a sua própria tecnologia em *lyocell*, nos últimos 15 anos, com uma unidade produtiva em Heiligenkreuz na Áustria [23]. A fibra *Tencel* tem vindo a ser bem-sucedida no setor dos têxteis para o lar, no setor do vestuário e em misturas com tecidos de algodão de alta qualidade, sendo muito maior a procura no setor dos não tecidos [24].

A fiação de fibras curtas utiliza cada vez mais as fibras químicas, em que o poliéster domina indiscutivelmente, mas as fibras celulósicas também têm a sua cota de mercado, com a viscose a liderar. Em 2005, o *lyocell* representava 7% das fibras celulósicas produzidas no mundo, que é um pouco mais de 80 000 toneladas/ano, sendo os principais produtores a *Alceru*, a *Lenzing* e a *Zimmer* [21]. O *lyocell* é visto no setor têxtil como a mais significativa inovação desde o desenvolvimento das fibras sintéticas. As razões para o balanço económico favorável do *lyocell* em relação ao algodão ficam-se a dever à menor quantidade de água utilizada na sua produção e à eliminação de todos os químicos ambientalmente nocivos, tais como pesticidas, inseticidas e fertilizantes, aplicados no cultivo de algodão [25].

O principal component da fibra de *lyocell* é a celulose, um polímero natural que se encontra nas células de todas as plantas. Deriva da polpa de madeira dura de árvores latifoliadas (carvalho, faia, etc., [26]). As árvores crescem em fazendas de reflorestação, geralmente em solos não indicados para utilizações agrícolas [27]. A polpa é proveniente de uma mistura de árvores escolhidas pelas suas propriedades celulósicas, tais como a cor e o conteúdo de contaminantes.

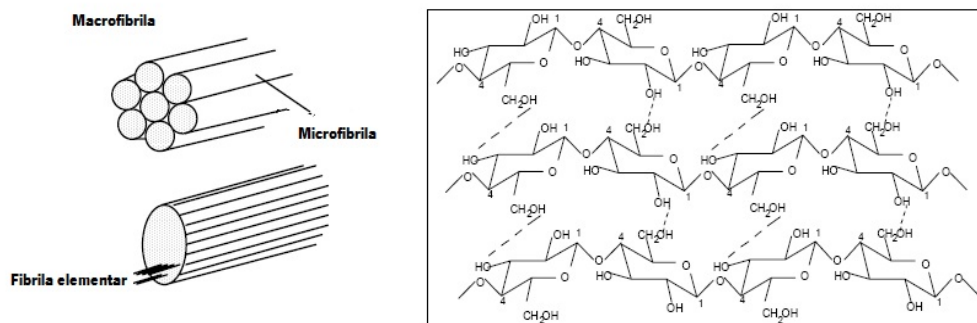
No processo de produção (Figura 2.15) a madeira dura é partida em fragmentos (lascas) e alimentada num tanque com digestores químicos, que amolece a madeira em polpa molhada. A polpa é lavada, branqueada e seca em lençóis gigantes e depois é enrolada numa bobina gigante [27].



**Figura 2.15** - Processo de produção da celulose [27]

Na produção de *lyocell* é apenas empregado um solvente diluído em água e em grande parte não tóxico, no entanto, a produção de viscose requer químicos em concentrações específicas, incluindo o ácido sulfúrico. O solvente para a produção de *lyocell* pode ser passado através de um circuito fechado, no qual 99.5 a 99.7% do solvente é recuperado enquanto os produtos químicos para a produção da viscose devem ser reciclados em processos elaborados [25].

A unidade estrutural fundamental é o dímero anidro- $\beta$ -D-glucopiranososa. As cadeias de polímero agrupam-se paralelamente, unidas por meio de ligações de ponte de hidrogénio e forças de *Van der Waals*, constituindo as fibrilas elementares da microfibrila de celulose (Figura 2.16) [28].



**Figura 2.16** - Estrutura da celulose [28]

O solvente utilizado é o N-óxido de N-metilmorfolina (NMMO), um óxido de amina cíclico de fórmula química  $O(C_4H_8)NOCH_3$ . Este solvente é sólido à temperatura ambiente apresentando um ponto de fusão de  $170^\circ\text{C}$ . Os estudos de toxicologia realizados com NMMO sobre vários organismos vivos (ratos, peixes, algas e bactérias) demonstraram que este solvente é menos tóxico que o etanol [29].

### Processo de produção

O processo de produção do *lyocell* apresenta-se como uma nova tecnologia alternativa à do xantato de celulose, uma vez que não precisa da etapa prévia da reação química [30], [31], [32]. O processo que utiliza esta tecnologia denomina-se pelo processo NMMO [33], pois o solvente aplicado é o NMMO [34]. Este processo baseia-se na capacidade que o óxido de amina possui para dissolver a celulose sob condições específicas [19]. A dissolução da polpa de madeira dá lugar a uma solução muito clara e viscosa, que se filtra e se fia num banho de coagulação que contém uma solução diluída de solvente. O banho de coagulação elimina o óxido de amina das fibras, que são lavadas e secas, sendo o solvente eliminado e recuperado para ser reutilizado (Figura 2.17) [35].

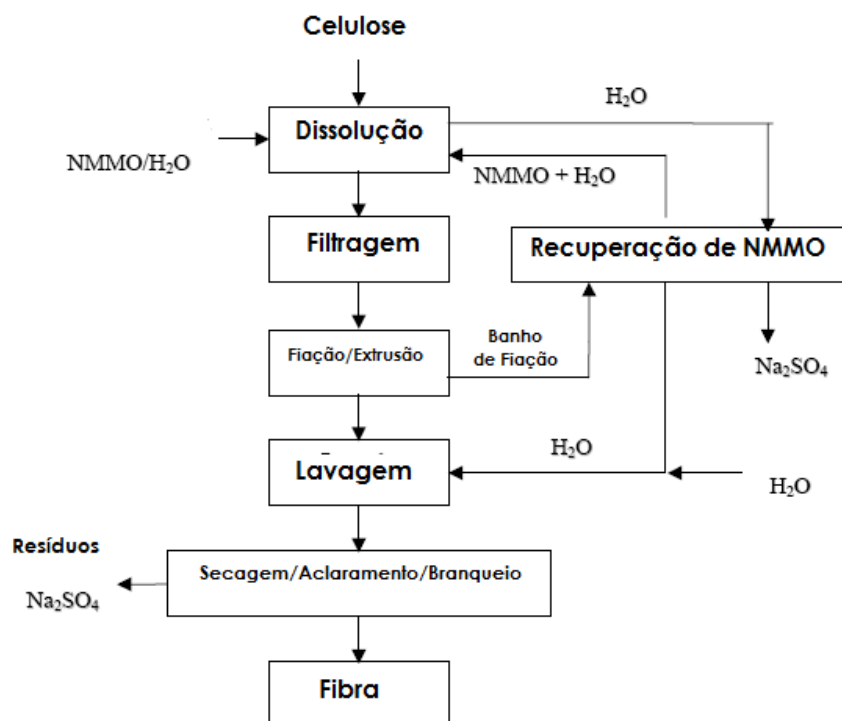
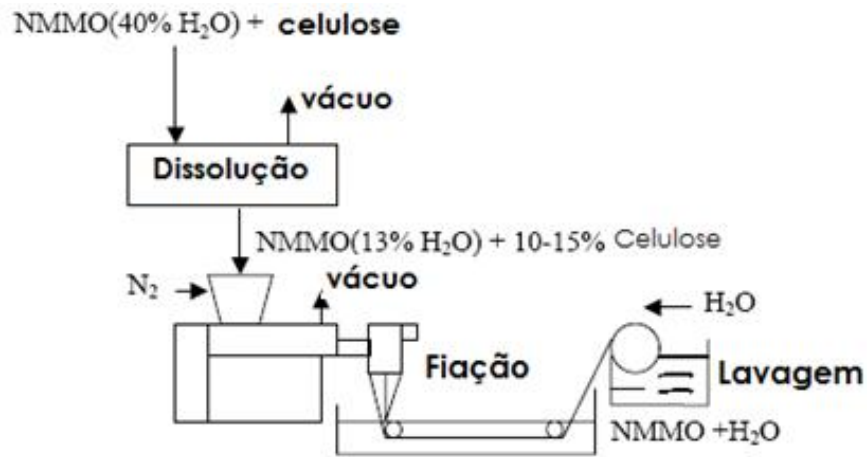


Figura 2.17 - Processo NMMO de produção de fibras de *lyocell* [35].

O processo pode resumir-se basicamente a três etapas essenciais, que é a dissolução da celulose, a fiação e a lavagem final. (Figura 2.18) [35]:



**Figura 2.18** - Esquema representativo do processo NMMO [35]

A dissolução da celulose consiste na formação de uma solução homogênea de celulose, solvente e água. Para isso, a polpa industrial, preparada com um grau de polimerização entre 500 – 1 000 e um alto conteúdo de celulose (~ 95%) dispõe-se com uma mistura de água e solvente orgânico. As proporções iniciais de cada um dos componentes correspondem aproximadamente a cerca de 13% de polpa, 20% de água e 67% de NMMO [36]. Quando se obtém a solução completa da mistura, esta estabiliza-se, pela adição de antioxidantes, como o sulfato de magnésio, evitando assim a oxidação da celulose pela presença de oxigênio, proveniente da decomposição do solvente a altas temperaturas [37].

A solução obtida é extrudida, depois de uma filtragem prévia, fiando-se num banho de coagulação que contém uma solução diluída do mesmo solvente. Após esta etapa o grau de polimerização do polímero sofre uma redução na ordem de 200 [38].

O processo é um sistema puramente físico e praticamente não apresenta problemas de emissões de contaminantes. A fibra apresenta uma estrutura molecular muito diferente da viscose normal. Estas são as principais diferenças que este processo apresenta quando comparado com o de produzir modal. Este último envolve reações químicas no seu processo de fabricação, com as dificuldades que o processo comporta, tanto ao nível do produto final obtido, como pelas características contaminantes dos efluentes.

Assim, a lavagem é mais simples e a fibra final está livre de restos de produtos secundários. Significando que se requerem poucas etapas no processo e o resultado é que as propriedades do produto acabado são facilmente reproduzíveis entre duas partidas distintas [39].

### Características e propriedades

A fibra de *lyocell* mantém as propriedades naturais de uma fibra celulósica, apresentando uma boa absorção de humidade, conforto e biodegradabilidade, como as fibras de viscose tradicionais.

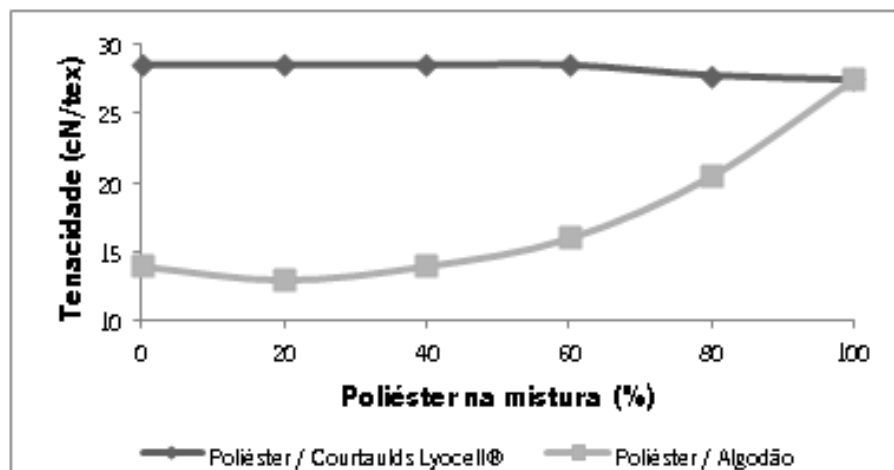
Na Tabela 2.2 comparam-se as propriedades da fibra de *lyocell* com as diversas fibras tradicionais. A fibra de *lyocell* destaca-se das outras fibras celulósicas por possuir propriedades mecânicas superiores, módulo elevado e excelente tenacidade, principalmente a húmido e uma elevada tendência ao fenómeno da fibrilação [40]. No entanto, esta apresenta um grau de polimerização mais elevado do que as fibras de celulose regeneradas convencionais, o que justifica a sua maior tenacidade e que se mantém em estado húmido. A tenacidade aproxima-se da do poliéster [36].

**Tabela 2.2** - Comparação das propriedades de fibras celulósicas e poliéster [40]

Propriedade	Unidade	<i>Lyocell</i>	Viscose	Modal	Polinósica	Cupro	Algodão	Poliéster
Massa Linear	decitex	0.9 – 3.3	1.7	1.0 – 3.3	1.3 – 4.2	1.4 – 2.2	1.8	1.7
Tenacidade	cN/tex	40 - 44	22 - 26	34 - 36	35 - 40	15 - 20	24 - 28	55 - 60
Alongamento de Rotura	%	14 - 16	20 - 25	13 - 15	10 - 15	7 - 23	7 - 9	25 - 30
Tenacidade em Húmido	cN/tex	34 - 38	10 - 15	19 - 21	27 - 30	9 - 12	25 - 30	54 - 58
Alongamento de Rotura em Húmido	%	16 - 18	25 - 30	13 - 15	10 - 15	16 - 43	12 - 14	25 - 30
Retenção de Água	%	65 - 70	90 - 100	75 - 80	55 - 70	100	5 - 55	3
Grau de Polimerização	-	550 - 600	250 - 350	300 - 600	500 - 600	450 - 550	2000 - 3000	-
Teor de Humidade a 65% de Humidade Relativa e 20°C	%	11,2	13	12.5	-	-	8	0,5
Grau de Fibrilação	0=min;6=max	4 - 6	1	1	3	2 - 3	2	-



No seu estado húmido, a fibra ainda possui 85% da sua tenacidade em seco, sendo mais resistente do que o algodão. As características de força/alongamento da fibra permitem combiná-la com outras fibras celulósicas ou químicas (Figura 2.19).



**Figura 2.19** – Tenacidade dos fios em mistura Poliéster/ Lyocell e Poliéster/Algodão [41]

O *lyocell* mantém a tenacidade dos fios, independentemente das proporções das duas fibras. Possibilita a escolha da proporção de poliéster para o equilíbrio desejado entre o conforto e resistência à abrasão [41]. A tenacidade das fibras de *lyocell* resulta do modo como as moléculas de celulose cristalizam e se orientam nas fases de extrusão e arrefecimento, durante o ciclo de produção [21].

Uma propriedade destacável desta fibra é a sua aptidão para a fibrilação controlada, no seu processamento. A fibrilação ocorre quando a fibra está molhada e sujeita a uma ação mecânica e considera-se, muitas vezes, uma desvantagem. Contudo, uma fibrilação controlada pode tornar-se numa vantagem, pois as fibras de *lyocell* podem se modificar, no que diz respeito ao rendimento, tato, aspeto, entre outros, para corresponderem aos requisitos de campos de aplicação especiais [21].

O *lyocell* apresenta uma temperatura de início de degradação entre 305 e 315°C, com uma estabilidade térmica superior a 9 e 23°C em relação às fibras de modal e viscose, respetivamente. Este comportamento relaciona-se com o grau de cristalinidade e orientação das moléculas, uma vez que o aumento destas propriedades incrementa a resistência térmica das mesmas [42]. Este tem características similares ao algodão, tendo como vantagens o facto de ser um produto natural biodegradável, de possuir um toque agradável em tecido, de usufruir de uma excelente capacidade

de retenção de calor, de se obter uma elevada estabilidade dimensional em tecido e uma carga eletrostática praticamente nula [43]. Proporciona propriedades excepcionais tais como, um excelente vestir, uma durabilidade e resistência às lavagens, visto que combina as vantagens de uma fibra natural com a facilidade de tratamento das fibras sintéticas [44]. Atinente ao poliéster, poliamida, polipropileno e outras fibras sintéticas, o *lyocell* difere por não ser termoplástico a temperaturas elevadas [21].

A fibra de *lyocell* combina a gestão de humidade com uma superfície suave e, deste modo, proporciona uma agradável sensação em contacto com a pele, assegura um toque mais fresco, evita irritações e torna esta fibra ideal para as pessoas de pele mais delicada. Os produtos têxteis fabricados com esta fibra possuem perceptivelmente um toque mais suave, uma maior absorção de humidade e uma redução da profusão das bactérias. É uma fibra naturalmente pura e não contém quaisquer pesticidas e químicos agrícolas, sendo uma vantagem, pois as pessoas de pele mais sensível reagem de modo diferente aos produtos químicos presentes nas fibras. O vestuário produzido com *lyocell* proporciona um maior bem-estar devido ao seu efeito dermo-calmante [45].

O *lyocell* é conhecido pela sua maior estabilidade dimensional quando comparado a outras fibras celulósicas como a viscose, modal, cupro ou o algodão. Na indústria de vestuário, esta característica é, muitas vezes, o principal argumento para a utilização de linhas de costura de fibras de *lyocell* em tingimento em peça. A humidade e as tensões mecânicas sofridas durante o processo de tingimento em peça prejudicam as costuras produzidas com linhas de costura de *lyocell*. Colocando ao mesmo nível a resistência à abrasão, das costuras produzidas com linhas de fio de algodão e de *lyocell* [18].

### **Aplicações**

Os campos de aplicação do *lyocell* resultam da elevada tenacidade em seco e em húmido, da hidrofiliabilidade, do inchamento das fibras em estado húmido, do poder de fibrilação e da sua biodegradabilidade [22].

Tem aplicação no campo dos não tecidos, quando combinado com látex, podem-se obter produtos mais absorventes e com uma excelente tenacidade em húmido. Ao unir termicamente o *lyocell* e a fibra de polipropileno, para fabricar não tecidos, obtêm-se melhorias na resistência de rotura [46]. Podemos destacar a aplicação em roupas de excelente qualidade, em tecidos técnicos, em que é requerida uma elevada absorção de humidade e resistência de rotura [20].

A fibrilação considera-se uma via alternativa aos métodos tradicionais de produção de microfibras, que apresenta vantagens técnicas significativas. As fibrilas ou microfibrilas, mediante uma fibrilação deliberada, permitem o desenvolvimento de produtos têxteis inovadores, tais como os não tecidos e papéis especiais que não se conseguem produzir com fibras convencionais [21].

O *lyocell* pode ser aplicado em filtros para óleo e na indústria automóvel, em aplicações médicas e de higiene e em filtros de cigarros devido à sua propriedade de retenção do alcatrão. Na produção de torcilhão e calibres para a medicina, em toalhetes húmidos, filtros especiais [19] e como fibras celulósicas eletrocondutoras, que são fiadas com aditivos para remover cargas estáticas em estofos para automóveis [47].

Os filamentos de *lyocell* também podem ser aplicados em tecidos para roupa exterior feminina, masculina e infantil de grande qualidade (por exemplo “clássicos” ou “pele de pêssago”, telas de caráter sedoso, entre outros), em roupa de uso corrente (jeans), em artigos de aspeto sedoso (gravatas e lenços do pescoço ou cabeça), em telas para forros, no setor da decoração (cetim brilhante para lençóis), em tecidos industriais (pneumáticos, geotêxteis, meios de filtração), em técnicas medicinais (como material absorvente na depuração de sangue/diálise) [22] e no setor de meias e lingerie finas [48].

Por possuir características biodegradáveis o *lyocell* é aplicado em cordéis para agricultura como alternativa ao polipropileno [49] e em roupa descartável [20].

Com a fibra *Lyocell LF* e a fibra *Tencel A 100* [44] a tendência para fibrilar foi superada pela alteração na cadeia molecular, efetuada por um processo químico durante a sua produção. As características destas fibras permitem manter, quase na totalidade, as vantagens das fibras de *lyocell* convencionais [50].

As fibras *Lyocell Mikro* apresentam uma aparência brilhante como o algodão e, são recomendadas especialmente para roupa de cama de alta qualidade e tecidos de malha de trama. As fibras *Lenzing Lyocell Fill*, bem como as suas misturas, podem ser utilizadas no processo de cardação em aplicações de enchimento de produtos acolchoados ou em almofadas [51].

Uma nova fibra de *Tencel* que possui uma secção transversal em forma de estrela. Esta fibra contém um caráter voluminoso além de uma elevada capacidade de resiliência, sendo uma das maiores vantagens quando utilizada como enchimento, porque os acolchoados mantêm o volume por muito mais tempo. Outras vantagens são o excelente isolamento térmico e a prevenção natural do crescimento de microrganismos, uma vez que a elevada capacidade de absorção de humidade

do *Tencel* proporciona um desenvolvimento de bactérias duas mil vezes menor, quando comparado com as fibras sintéticas [52].

O *Seacell* é uma fibra é obtida pela combinação, no seu processo de fabrico, da fibra de *lyocell* com extratos de algas marinhas. Os ingredientes ativos das algas, existentes nas fibras *Seacell*, são benéficos para a saúde e são libertados para o corpo através do contacto com a pele. A estrutura porosa e aberta da fibra facilita a absorção e a libertação da humidade para o exterior e, assim, a interação desejada entre a fibra e a pele. As substâncias ativas que promovem efeitos saudáveis permanecem na fibra mesmo após lavagens frequentes. Este pode ser aplicado em vestuário, em roupa interior e de desporto, em meias, em lençóis, têxteis para hospitais, entre outras [53].

As linhas de costura produzidas por fibras de *lyocell* têm aplicação no processo de tingimento em peça, após o processo de costura, em vestuário constituído pelas fibras supracitadas [54]. A aplicação destas linhas em vestuário de algodão aumenta a possibilidade de se obterem diferenças de cor perceptíveis [55], uma vez que o *lyocell*, quando comparado ao algodão, possui um maior poder de absorção dos corantes [56].

Burrow *et al.* apresentaram uma linha de costura de fio constituída a partir de 70 a 95% de fibras de *lyocell* e 5 a 30% de fibras sintéticas, como o poliéster e a poliamida. Esta pode ser aplicada em vestuário constituído em grande parte por fibras celulósicas, podendo ser tingida com corantes para a celulose. A incorporação de fibras sintéticas aumenta a resistência de rotura e a resistência à abrasão da linha de costura que pode ser aplicada em tecidos, para tingimento em peça, que contenham uma maior proporção de *lyocell* [57].

### **2.2.3 Linhas de costura de poliamida**

As linhas de costura de fibras de poliamida não são biodegradáveis e quando aplicadas no tingimento em peça tornam o processo de tingimento mais difícil, mais moroso e menos económico. Este processo requer um tingimento adicional com corantes ácidos para a poliamida, depois do tingimento com corantes reativos para o algodão. Quando os produtores optam pelo processo de tingimento em peça com linhas de costura de fibras de poliamida, torna-se difícil a implementação de todos os requisitos e ajustes.

O resultado é uma qualidade de costura insatisfatória, em termos de cor, pois a linha de costura apresenta uma tonalidade diferente da do tecido (Figura 2.20) [18].



**Figura 2.20** - Linhas de costura PA num processo de tingimento em peça de algodão [18]



## **CAPÍTULO 3 – QUALIDADE DA COSTURA**

### **3.1 Introdução**

A indústria de confecção de vestuário converte um tecido bidimensional num vestuário tridimensional. Muitos processos estão envolvidos na produção do vestuário até este ser exposto na vitrina dos centros comerciais, nos manequins e nos cabides. Embora existam outros métodos de converter tecidos em vestuário, a costura efetuada com linhas é o método mais utilizado em todo o mundo [58, 59].

Uma costura é produzida por diversos métodos e pontos de costura, por forma a satisfazer os requisitos impostos por uma variedade de aplicações do vestuário [60, 61]. Na confecção de qualquer peça de vestuário, é necessário assimilar a costura como um elemento básico [62].

A qualidade global de uma costura é definida através de desempenhos funcionais e estéticos imprescindíveis para a utilização do vestuário. O desempenho funcional refere-se, principalmente, à resistência e alongamento à tração, à eficiência, à flexibilidade, à rigidez à flexão, à resistência à abrasão, à resistência às lavagens e à limpeza a seco da costura sob um esforço mecânico num período de tempo razoável. Propriedades como a resistência e eficiência da costura servem para determinar a durabilidade do vestuário. O alongamento à tração, a flexibilidade e uma baixa rigidez à flexão da costura são essenciais, pois permitem manusear e fletir a costura com facilidade, sem danos na costura ou alterações na silhueta do vestuário. A costura também sofre abrasão em contacto com as partes do corpo ou com outro vestuário, nas lavagens ou na limpeza a seco. É fundamental que a costura possua uma boa resistência à abrasão, às lavagens e à limpeza a seco [59, 63, 64]. Esteticamente existem alguns requisitos da costura para o mecanismo sensorial dos consumidores (tato, visão). Para uma aparência adequada a costura não deve possuir defeitos, tais como pontos falsos, costuras desequilibradas, distorcidas ou franzidas, densidade irregular dos pontos da costura e linhas de costura rompidas. Além dos requisitos estéticos mencionados, uma costura também deve preencher os preceitos de moda dos consumidores. O contraste proporcionado por uma costura afeta a aparência do vestuário e é utilizada como uma dimensão privilegiada para avaliar a proeminência de uma costura [4, 53, 54]. Portanto, a qualidade de uma costura depende dos requisitos dos consumidores e torna-se essencial para a longevidade do vestuário [62].

De maneira a compreender os desempenhos de várias costuras, é fundamental o conhecimento de inúmeros fatores que as afetam, como o tipo de linha de costura, o tipo de tecido, a velocidade de costura, o tipo e tamanho da agulha, o tipo e densidade do ponto de costura, a tensão gerada na linha da agulha, o equilíbrio da costura e as aptidões da costureira. Para melhorar a qualidade de uma costura é importante obter uma perfeita harmonia entre as propriedades do tecido, as propriedades das linhas de costura e as condições de costura. O desempenho funcional e estético de uma costura é o resultado do equilíbrio destes fatores [62].

### **3.2 Avaliação da qualidade da costura**

No ponto 3.1 foram referidas algumas propriedades de avaliação do desempenho funcional de uma costura. No entanto, irão ser abordadas com mais detalhe a resistência e alongamento à tração da costura. Possibilitando a caracterização da eficiência das costuras, produzidas com as diferentes linhas de costura desta investigação, avaliando a contribuição de cada uma na qualidade da costura.

#### **3.2.1 Resistência da costura**

A resistência da costura pode ser expressa em termos da força máxima necessária para a romper [62]. A força máxima na rotura da costura é a força máxima registada quando um provete, com uma costura perpendicular à direção da extensão, é levado à rotura [65]. Quando duas peças de tecidos são unidos por uma costura, e a força é aplicada perpendicularmente à mesma, a rotura ocorre fundamentalmente perto ou na linha de costura [62].

As linhas de costura de fibras de poliéster apresentam valores mais elevados de resistência à tração da costura quando comparados com outros tipos de linhas [66]. Conhecendo a resistência de rotura em laçada de uma linha, é possível obter uma primeira estimativa da resistência da costura, utilizando a seguinte expressão [67]:

$$T = R \times L \times n \times \alpha$$

(Eq. 3.1)



Onde:

T – força de tração perpendicular à costura (daN);

R – resistência de rotura em laçada da linha de costura (daN);

L – comprimento da costura que sofre tração (cm);

n – densidade de pontos da costura (pontos/cm);

$\alpha$  – coeficiente apropriado ao conjunto tecido/costura, próximo de 1 (entre 0.8 e 1.1).

A melhoria da resistência da costura passa por vários fatores, como o tipo e a densidade de pontos da costura e a seleção das linhas e agulhas. O aumento da densidade de pontos aumenta a resistência da costura até determinado ponto, a partir do qual o tecido fica perfurado ou danificado e, conseqüentemente perde resistência. Se isto suceder é recomendável a utilização de uma linha de costura mais resistente, ou outro tipo de ponto de costura com menor densidade [7]. Também é praticamente proporcional ao número de carreiras, uma vez que a força de tração reparte-se pelas diferentes carreiras de pontos [6].

É despendendo que a costura seja mais resistente que o tecido pois permite a sua reparação em caso de rotura [4].

### 3.2.2 Eficiência da costura

A durabilidade da costura pode ser medida em termos de eficiência da costura [4]:

$$\text{Eficiência da costura (\%)} = \frac{\text{Resistência à tração da costura (N)}}{\text{Resistência à tração do tecido (N)}} \times 100$$

(Eq. 3.2)

A eficiência é identificada como essencial para o desempenho funcional de uma costura, e costuras mais eficientes assumem-se mais duradouras [62].

A eficiência da costura pode ser utilizada para otimizar as condições de costura, como o tipo de costura, o tipo e a densidade dos pontos e a seleção das linhas de costura e agulhas.

### 3.2.3 Alongamento da costura

O alongamento da costura avalia a sua elasticidade [62]. O alongamento de rotura em laçada da linha de costura é um fator preponderante e que contribui para o alongamento da costura [68].

O alongamento da costura pode ser avaliado utilizando a seguinte expressão [62]:

$$\text{Alongamento da costura (\%)} = \frac{\text{Comprimento alongado (mm)}}{\text{Comprimento original (mm)}} \times 100$$

(Eq. 3.3)

## 3.3 Fatores que influenciam a qualidade da costura

### 3.3.1 Condições de costura

A *costurabilidade* é um termo difícil de definir. Contudo, o conceito de boa *costurabilidade* de um tecido inclui o bom manuseamento deste no processo de costura, não ser danificado pela agulha e pelo mecanismo de alimentação ou desenvolver costuras franzidas, podendo ser costurado a velocidades elevadas sem aquecer excessivamente a agulha. A contribuição das linhas para uma boa *costurabilidade* é primordial. Abarca a ausência de quebras no processo de costura, a consistência na formação das laçadas, a ausência de pontos falsos e a alteração mínima do material costurado. Mesmo com a combinação perfeita da linha e do material a costurar, pode não ser possível obter-se uma boa *costurabilidade* se a máquina de costura não se encontrar devidamente afinada [6].

No processo de costura a velocidades elevadas a linha da agulha está sujeita a tensões que influenciam negativamente o seu desempenho. Estas são um fator primordial para determinar a qualidade de uma costura. Tensões elevadas podem causar problemas de costuras franzidas, desequilibradas e rotura das linhas [69]. A influência dessas tensões depende das propriedades das linhas e da sua interação com os vários elementos da máquina de costura, tecido e linha da bobina [70].

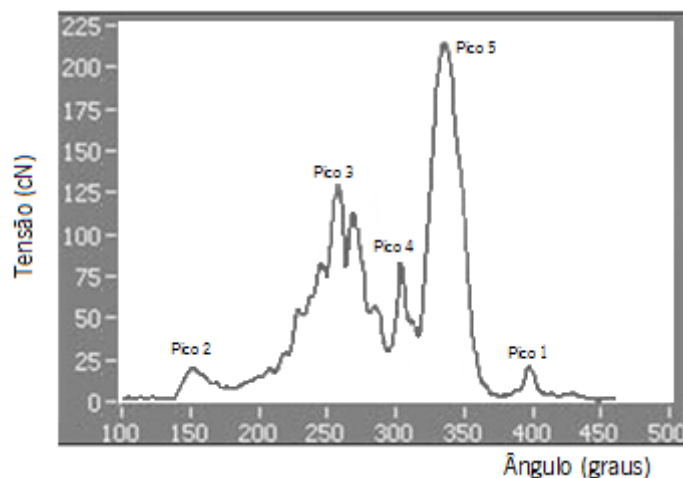
O desempenho das linhas no processo de costura é, geralmente, avaliado pelo estudo das tensões dinâmicas e pela redução da resistência de rotura da linha após o processo de costura. Os

danos estão maioritariamente concentrados no entrelaçamento da linha da agulha com a linha da bobina, onde ocorre a máxima tensão, flexão e abrasão fio contra fio. Vários autores estudaram as tensões geradas numa costura e concluíram que a tensão mais elevada ocorre no momento do aperto do ponto [71]. Crow e Chamberlain investigaram a redução da resistência de rotura da linha e concluíram que esta pode atingir 60% após a confeção [72]. Gersak e Knez descobriram que a redução da resistência de rotura depende da tensão de aperto, do tamanho da agulha e do número de camadas de tecido a costurar [73]. Sundaresan *et al.* concluíram que a redução da resistência de rotura da linha é um efeito cumulativo de desintegração estrutural e perda na resistência da fibra [70]. No entanto, a alteração da estrutura, nomeadamente as fibras que se soltam e o deslocamento dos cabos na linha de costura, na formação da laçada, são os fatores dominantes para redução da resistência de rotura da linha da agulha. A resistência à abrasão da linha de costura constitui um fator importante, uma vez que influencia a capacidade da mesma para manter a resistência durante a costura. Parâmetros estruturais tais como o comprimento e o diâmetro da fibra, o número de cabos e a torção, influenciam a conservação da resistência após confeção [74].

Midha *et al.* estudaram a perda de resistência de vários tipos de linhas de costura. Constataram que no processo de costura a velocidades elevadas as propriedades mecânicas das linhas de costura diminuem substancialmente [71]. A perda maior de tenacidade e de alongamento de rotura surge nas linhas de costura de fio de algodão, seguida pelas linhas de fibras de poliéster e a perda menor nas linhas de costura com alma de poliéster. Todavia, as linhas de costura de fio de algodão demonstram uma perda menor no que concerne ao módulo de elasticidade.

Se a tensão de uma linha aumenta como resultado de um atrito elevado, as suas propriedades podem ser deterioradas e a superfície tende a ter mais pilosidade, podendo afetar o desempenho da costura. Um incremento indevido da tensão aumenta o risco de quebras da linha no processo de costura e também pode alongar excessivamente a mesma, contraindo posteriormente na costura e dando origem à distorção dos tecidos ou costura franzidas. A seleção das linhas, do lubrificante e a afinação da máquina são fatores essenciais para promover as propriedades de deslizamento das linhas de costura [4]. Ferreira concluiu que o material a ser costurado tem influência na qualidade de costura e que com o aumento da velocidade de costura aumentam também as tensões geradas na linha da agulha [75].

Na Figura 3.1 é apresentada a variação da tensão na linha da agulha, num ciclo de formação do ponto preso e os respetivos picos de tensão [75].



**Figura 3.1** - Evolução da tensão na linha da agulha num ciclo da máquina [75]

Na Tabela 3.1 é apresentada uma correspondência entre os vários picos de tensão num determinado momento do ciclo de costura (360 graus) e a ocorrência. O Pico 5 aparece por volta de 335° e, nesse instante, ocorre a maior força de tensão na linha da agulha [75].

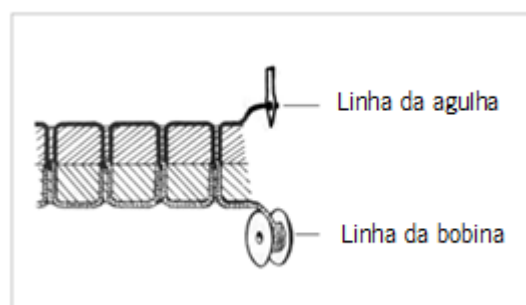
**Tabela 3.1** - Relação entre os vários picos de tensão e os vários acontecimentos

Picos	Graus	Ocorrência
<b>Pico 1</b>	40	A agulha penetra no material
<b>Pico 2</b>	150	A agulha faz o movimento ascendente
<b>Pico 3</b>	260	Freio começa o movimento ascendente
<b>Pico 4</b>	305	O arrastador empurra o tecido
<b>Pico 5</b>	335	O freio está na posição mais elevada

O ponto de costura representa um ciclo completo de entrelaçamento da linha no tecido por ação da agulha e de outros elementos de formação da laçada. A repetição do ponto em intervalos uniformes forma o tipo de ponto. Os pontos são utilizados não só para fazer a junção pelas

costuras, como também para ornamentar, terminar um bordo de um tecido ou coser botões, casear, entre outros. [6].

O ponto mais utilizado na indústria de confecção é o ponto preso, que é o mais crítico para testar uma linha, de modo a avaliar o seu comportamento na costura. Este tipo de ponto é produzido nas máquinas de costura designadas por máquinas de ponto preso. Pertence à classe 300 e corresponde ao entrelaçamento de dois ou mais grupos de linhas. O ponto mais comum na classe 300 é o ponto 301 (Figura 3.2), vulgarmente conhecido por “ponto corrido”.



**Figura 3.2** - Ponto tipo 301 [75]

Cerca de metade das máquinas de costura industrial produzem este tipo de ponto, sendo o mais popular na indústria de confecção [75].

### **3.3.2 Fatores humanos e ambientais**

Existem fatores humanos e ambientais que influenciam a qualidade de uma costura [62]. A indústria de confecção possui uma mão-de-obra intensiva, em que operadores com pouca experiência podem gerar problemas de qualidade na costura durante o processo de costura [76].

A inexperiência de um operador pode originar problemas no tecido durante o processo de produção do vestuário. Um posicionamento e manutenção inapropriados deste podem causar costuras franzidas. Além disso, um operador incapaz de trabalhar corretamente com a máquina de costura poderá danificar as costuras devido ao frequente partir de agulhas [62].

Uma área de trabalho congestionada, uma ventilação imprópria, a existência de lixo, uma estação de trabalho não ergonômica, um barulho excessivo, uma temperatura e uma humidade elevadas na área da confecção, são as maiores condicionantes na desconcentração e na inaptidão

dos operadores no processo de costura [77]. A temperatura e a humidade elevadas reduzem a resistência de rotura das linhas, provocando uma diminuição da resistência e/ou eficiência da costura [62].

### **3.3.3 Tecidos**

As indústrias de confeção preocupam-se com as propriedades dos tecidos utilizados, uma vez que o tecido é a matéria-prima principal na confeção do vestuário. Estas podem ser classificadas em dois grupos: propriedade primária e propriedade secundária. A propriedade primária pode ser considerada como uma dimensão física estática e a secundária como a reação do tecido a uma força aplicada sobre o mesmo. Com a introdução de máquinas de costura de velocidades elevadas, de sistemas de produção automáticos e do aumento das exigências dos consumidores relativamente à qualidade do vestuário, devem-se selecionar excelentes tecidos para a indústria de confeção. Para o efeito utilizam-se as seguintes características: cor, aparência, bom manuseamento, capacidade de alfaiatar, conforto e durabilidade. Assim, a qualidade do tecido torna-se um dos primeiros requisitos para a produção de uma costura de elevada qualidade. Contudo, os requisitos para a produção de um vestuário de qualidade não são apenas preenchidos pela qualidade do tecido. A conversão de um tecido bidimensional num vestuário tridimensional envolve mais interações, como a seleção adequada da linha de costura, a otimização dos parâmetros de costura, a fácil conversão de tecido em vestuário e o desempenho do tecido costurado na utilização do vestuário [78].

Nos tecidos, as propriedades que afetam a qualidade de costura são o fator de cobertura, a massa por unidade de superfície, a espessura, a resistência, a extensibilidade, a rigidez à flexão, a histerese à flexão e a histerese ao corte [62].

O fator de cobertura mostra o aperto de uma estrutura de tecido, deste modo os fatores de cobertura mais elevados referem-se a estruturas de tecido mais apertadas [62]. Um fator de cobertura elevado tem um efeito considerável na resistência e/ou eficiência da costura, uma vez que aumenta a tendência de rotura dos fios do tecido (teia e/ou trama) no momento da costura [66, 79, 80]. Esta tendência reduz o desempenho funcional tal como a resistência à tração e a eficiência da costura [58, 81]. Com um fator de cobertura elevado ocorrem bloqueios estruturais ao longo da carreira da costura, durante o processo de costura, originando problemas de costuras franzidas [82-84].

Os tecidos leves são mais propensos a produzir costuras franzidas do que os pesados [79, 85, 86]. Os muito leves possuem menos estabilidade, provocando problemas de manuseamento dos tecidos no processo de costura, reduzindo o desempenho estético das costuras em termos de costuras franzidas [87, 88]. Os tecidos muito pesados são sempre mais resistentes e, em última instância, reduzem a eficiência da costura no vestuário [89-91]. O motivo é que a eficiência da costura é inversamente proporcional à resistência do tecido para uma determinada linha de costura [84, 92].

A espessura dos tecidos tem influência na eficiência da costura e no franzir das mesmas [58, 93, 94]. Um tecido com uma espessura elevada diminui a eficiência da costura devido a um aumento da resistência do tecido [82, 84, 90, 91]. A resistência de um tecido tem um enorme impacto no desempenho da costura, nomeadamente no franzir [62, 95, 96]. O aumento da resistência do tecido é a causa de menos flexibilidade e coesão do tecido, o que diminui a possibilidade de costuras franzidas no processo de costura [97, 98].

A extensibilidade de um tecido está relacionada com a facilidade de remoção do seu frisado, o que por sua vez determina a mobilidade das linhas de costura dentro do tecido. Esta mobilidade é influenciada pelo deslizamento e/ou eficiência das costuras. Além disso um tecido com uma extensibilidade elevada tem tendência a recuperar do esticamento sofrido no processo de costura, o que provoca costuras franzidas. Um aumento da rigidez à flexão do tecido aumenta a sua resistência provocando uma diminuição da eficiência da costura [62].

A histerese à flexão é uma medida da energia perdida por um tecido durante a flexão e tem um impacto considerável na qualidade das costuras [85, 99]. Os tecidos com uma histerese à flexão baixa proporcionam uma melhor flexibilidade dos mesmos. Não obstante, uma histerese à flexão demasiado baixa tem uma influência prejudicial no desempenho estético da costura em termos de franzir costuras, pois o tecido não compensa a deformação que ocorre na área da costura [84, 100].

Um tecido com uma histerese ao corte baixa tem um impacto direto no desempenho estético da costura. O tecido não adota a deformação sofrida na área da costura no decorrer do processo da mesma, refletindo-se em costuras mais ou menos franzidas [85].

As propriedades do tecido são decisivas para determinar se a costura é mais ou menos exposta à abrasão. Os tecidos macios e com volume protegem mais a linha de costura contra a abrasão do que tecidos duros e lustrosos que expõem mais as costuras. Porém, a resistência à abrasão da costura é determinada, principalmente, pela matéria-prima da linha costura [7].

### 3.3.4 Linhas de costura

A qualidade de uma linha de costura é determinada pela escolha da fibra com a qual é produzida, pelas técnicas e maquinaria, pela eficiência do processo e o controle de qualidade aplicado na produção. Os métodos de produção e os materiais usados nas linhas de costura variam muito, devendo ser selecionados corretamente. Para produzir uma linha de costura com a qualidade necessária à sua aplicação, o produtor de linhas deve projetá-la de maneira a que possua três propriedades básicas: excelente desempenho no processo de costura, obtenção de costuras eficientes e uniformidade das cores [4].

A linha de costura é um dos fatores mais importantes na aparência e desempenho da costura e determina a resistência, a elasticidade, a durabilidade e o conforto da mesma. Uma boa linha de costura deve assegurar o mínimo de quebras no processo de costura e não deve causar costuras franzidas [101]. Linhas de costura de fraca qualidade aumentam os custos de produção causando paragens frequentes das máquinas de costura, e contribuem para vestuário inutilizável [71]. Uma linha de costura resistente não só possui um melhor desempenho no processo de costura, mas também é um dos primeiros requisitos para a obtenção de uma costura resistente.

As propriedades das linhas de costura são essenciais e contribuem para o seu desempenho no processo de costura, especialmente na linha da agulha que está sujeita a velocidades de costura elevadas e exposta a forças de atrito e tensões. Propriedades como a composição, a estrutura, a massa linear, as propriedades de atrito e a torção, influenciam o seu desempenho no processo de costura [101]. Uma linha de costura de excelente qualidade deve ser selecionada de acordo com as propriedades do tecido e as condições da costura. De maneira a obter um produto satisfatório, o fabricante de linhas de costura deve medir com precisão as suas propriedades [68].

As características para controlo de qualidade das linhas de costura são: massa linear, irregularidade, torção e retorção, resistência e alongamento de rotura, defeitos visíveis, tonalidade e cor, solidez à luz, solidez à lavagem, solidez à fricção e à cloragem ácida, atrito e estabilidade dimensional [6]. As propriedades como o diâmetro, a resistência e alongamento de rotura, a solidez à lavagem, a pilosidade, o coeficiente de atrito, a torção e a estabilidade dimensional, estão relacionadas com os parâmetros de qualidade de uma costura [68].

Para se obter uma eficiência considerável da linha, durante o processo de costura, esta deve possuir uma tenacidade e módulo de elasticidade elevados, resistência à abrasão, um atrito uniforme e suportar o sobreaquecimento da agulha [101]. Todavia, a resistência de rotura em



laçada é uma propriedade mais importante do que a resistência de rotura da linha, uma vez que permite avaliar a resistência da costura produzida pela linha [15].

Quando se prevê a resistência da costura, a resistência de rotura residual da linha também deve ser considerada, pois as propriedades mecânicas da linha de costura são alteradas no processo de costura existindo perda de tenacidade e alongamento de rotura. [71].

### 3.3.4.1 Propriedades físicas

#### Massa linear

As linhas de costura produzem-se numa ampla variedade de massas lineares, de modo a adaptarem-se à diversidade de aplicações finais. Na seleção de uma linha de costura para uma determinada aplicação a massa linear ou o *artigo número* devem ser discriminados. Existem diferentes maneiras de descrever e medir a massa linear ou *artigo número* de uma linha de costura. O método tradicional é número inglês do algodão (Ne) que baseou-se na mais popular das matérias-primas. Com o aparecimento das sintéticas surgiu uma nova terminologia, o número métrico (Nm) para fios e o denier para os filamentos [7].

Na indústria têxtil, em vez de se determinar com exatidão a secção do têxtil linear, utiliza-se a massa linear para definir este parâmetro. Hoje em dia, para se especificar a massa linear são utilizados diferentes sistemas [102]:

- Massa por unidade de comprimento. Este é o método direto, em que quanto maior for o valor obtido maior é a sua secção;
- Comprimento por unidade de massa. Este é o método indireto, em que quanto maior for o valor obtido menor é a sua secção,

No sistema direto, surgem dois tipos de subsistemas:

- tex - massa do comprimento de um quilometro de material (fibra ou fio). A massa do comprimento de dez quilómetros de material corresponde ao decitex (dtex);
- denier (den) - massa obtida para um comprimento de 9000 metros de material (fibra ou fio).

No sistema indireto, ocorrem dois tipos de subsistemas:

- Número inglês (Ne) - número de meadas, de 840 jardas, necessárias para obter o peso de uma libra. Uma forma expedita para a sua utilização é a seguinte expressão (Eq. 3.4):

$$Ne = 0.59 \times \frac{\text{Comprimento (metros)}}{\text{Peso (gramas)}}$$

(Eq. 3.4)

- Número métrico (Nm) - comprimento em metros necessário para se obter o peso de 1 g.

O sistema internacional de medida de massa linear é o tex, embora, na indústria algodoeira, seja ainda usual a utilização do número inglês (Ne).

Selecionar o *artigo número* correto de uma linha de costura, para uma determinada aplicação, é muito importante, devido ao seu comportamento no processo de costura e na própria costura. A escolha depende de muitos fatores, incluindo a resistência da costura, a massa por unidade de superfície e o tipo de tecidos, a aplicação, o tipo de ponto de costura, o tipo de costura, o tamanho da agulha entre muitos outros [7].

O *artigo número* (relacionado com o Ne, Nm e denier) é o que, atualmente, mais se utiliza entre a maioria dos fabricantes e consumidores de linhas de costura, para descrever aproximadamente a massa linear do produto acabado. Na indústria de produção de fios e, de certo modo, entre as instituições comerciais mundiais, também se faz referência aos sistemas tex e decitex. Todos estes sistemas estão baseados numa determinada massa ou comprimento já fixados, e nenhum sistema pode medir com exatidão todas as matérias-primas, uma vez que as densidades específicas são diferentes [7].

Na conversão do tex em *artigo número*, para fios sintéticos, temos que utilizar a seguinte expressão:

$$\text{Artigo Número} = \frac{1000}{\text{tex}} \times 3 \quad (\text{Eq. 3.5})$$

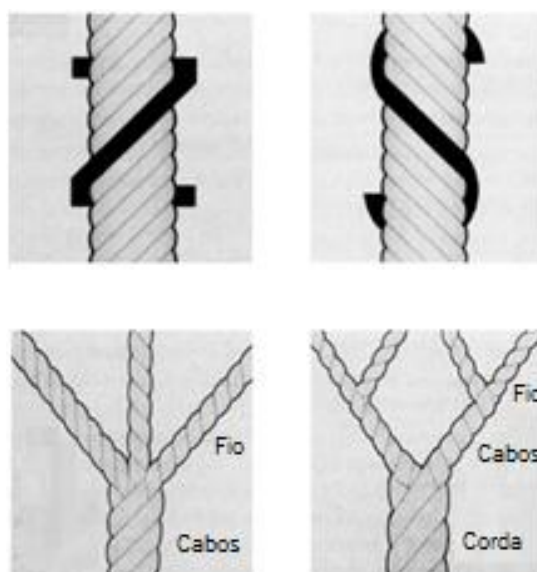
Na conversão equivalente do *artigo número*, para o algodão, a expressão (Eq. 3.6) a utilizar será:

$$\text{Artigo Número} = \frac{590.5}{\text{tex}} \times 3 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

### **Torção**

A disposição espiral das fibras componentes de uma linha de costura que é, normalmente, o resultado da rotação relativa de duas extremidades de uma linha, é denominada de torção. A torção é realizada para dar ao fio consistência e resistência [68]. Define-se como o número de voltas por centímetro, metro ou polegada [7].

Todas as linhas de costura convencionais iniciam o seu ciclo de produção como fios simples. Estes são produzidos por torção de fibras relativamente curtas ou filamentos. Devido à sua finura, as fibras e os filamentos possuem, entre si, uma enorme área de contacto quando se mantêm juntos com os seus eixos paralelos, produzindo assim a coerência e a resistência, que combinadas com a flexibilidade são essenciais em qualquer linha de costura. Este processo denomina-se usualmente de “torção simples” e geralmente é no sentido S (Figura 3.3), sendo a torção simples equilibrada com a aplicação de uma torção inversa no sentido Z, designando-se por “torção final”, que corresponde à combinação de dois ou mais fios, para a formação de uma linha de costura. Sem esta torção inversa, um fio convencional não poderia ser controlado no processo de costura, porque os cabos individuais separar-se-iam na passagem no olhal da agulha ou nos elementos de controlo da máquina de costura. Se a torção for demasiado baixa, as linhas de costura podem desfiar e romper, mas se for demasiado alta resulta a linha de costura pode encarrapitar, formar laçadas ou provocar deslizamentos [7].



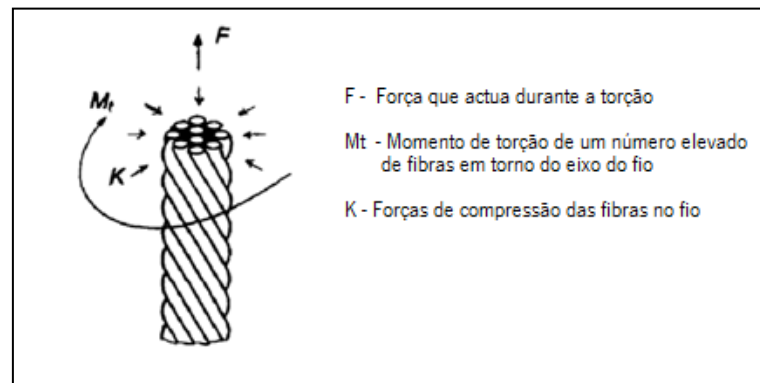
**Figura 3.3** - Sentido de torção e construção das linhas de costura [4]

As forças de atrito que atuam numa linha de costura durante a sua passagem na máquina de costura tendem a dar-lhe uma certa torção, predominantemente num sentido. Uma linha de costura com uma torção final no sentido Z, corretamente compensada, alcança um excelente equilíbrio, pois resiste a uma tensão adicional da torção. Com uma torção final no sentido S distorce pela ação da máquina de costura e rompe. A maioria das linhas de costura produzem-se com torção final no sentido Z, sendo a mais adequada para a maior parte das máquinas de costurar modernas. Existem algumas exceções, como as máquinas de “Flatlock” e “Puritan” e, para estes casos, existem linhas de costura especiais com torção final no sentido S [4].

Nas linhas de costura de fio a tenacidade e o módulo aumentam até um determinado número de voltas de torção. Nas de filamentos a torção significa a consolidação destes e uma melhor aparência [103].

Com a torção, as fibras paralelas ao eixo do fio inclinam para um determinado ângulo e torcem em torno desse eixo, o que provoca um momento de torção (Figura 3.4). Devido à rotação de inúmeras fibras surgem diferentes alongamentos das mesmas no fio. As fibras próximas do eixo do fio sofrem alongamentos menores do que as fibras à superfície. As fibras da superfície causam forças de compressão nas fibras do núcleo, aumentando a adesão entre fibras e conseqüentemente um reforço da linha de costura [103]. Com o excesso do número de voltas de torção atinge-se um elevado momento de torção. Logicamente, as forças de compressão aumentarão provocando tensões críticas na estrutura do fio. Estas contribuem para a deformação da linha de costura e das

fibras componentes. Como corolário, uma redução da tenacidade e, portanto, menos resistente às tensões sofridas no processo de costura [104].



**Figura 3.4** - Momento de torção [104]

O excesso do número de voltas de torção numa linha de costura com alma diminui a tenacidade, o módulo de elasticidade e a tensão no ponto de cedência, enquanto o alongamento de rotura aumenta [104].

Para se produzir linhas de costura sem encarrapitar deve-se alcançar uma estrutura equilibrada, através de uma torção final que varia entre 50 a 60% da torção simples. O equilíbrio da torção final (na direção oposta da torção simples) pode ser calculado aplicando a seguinte expressão [4]:

$$\text{torção final} = \frac{\text{torção simples}}{\sqrt{\text{número de cabos}}}$$

(Eq. 3.7)

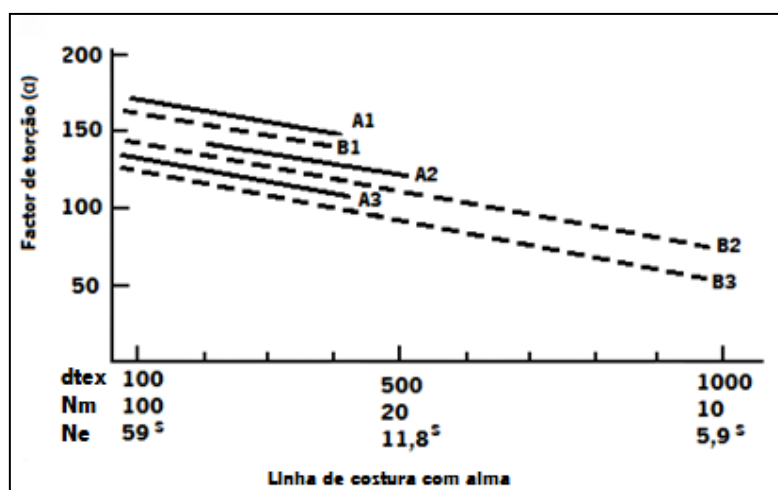
Assim sendo, uma torção final equilibrada, para uma linha de costura a três cabos com uma torção simples de 800 voltas/m na direção S, é de aproximadamente 460 voltas/m na direção Z. No caso das linhas de costura de fio de algodão a relação das voltas/polegada entre a torção simples e a torção final pode ser na ordem de 1:1.2. porém, é necessária uma estabilização a vapor da linha para evitar o encarrapitar devido à elevada torção. Para linhas com alma obtém-se

uma coesão adequada através de uma torção simples elevada, para minimizar o deslizamento das fibras de recobrimento. A torção simples em voltas/m para um fio ou uma linha de costura com alma, é calculada usando a seguinte expressão [4].

$$\text{voltas/m} = \frac{\alpha_{\text{tex}}}{\sqrt{\text{tex}}}$$

(Eq. 3.8)

A Figura 3.5 serve de orientação na obtenção de um valor aproximado do fator de torção a partir de um cabo de massa linear conhecida (dtex, Ne e Nm). No entanto, o fator de torção deve ser definido após vários ensaios práticos, de modo a atingir a qualidade requerida [4].



**Figura 3.5** - Fator de torção  $\alpha$  (valor guia) [4]

### Diâmetro

O diâmetro das linhas de costura é uma propriedade física relevante, não só por ser um guia para a aparência e força, mas também pelo efeito que pode ter na criação de ondulações em tecidos densos. Na formação do ponto de costura existe um aumento do diâmetro, particularmente na linha da agulha (mais de 30% para o algodão mercerizado, menos para linhas de costura de filamentos de poliéster). Este aumento resulta da abrasão da linha nos vários elementos da máquina de costura, do alongamento cíclico da linha resultante das tensões dinâmicas (tensão irregular na formação de cada ponto de costura) e da possível redução da

torção da linha entre o olhal da agulha e o tecido, dependendo do sentido de torção e da direção do movimento rotativo da lançadeira [2]. Quando a torção aumenta, a coesão entre as fibras e/ou entre os filamentos também aumenta e a espessura da linha diminui [103].

O diâmetro de uma linha de costura deve ser apropriado ao tamanho da linha da agulha. De outro modo, a linha de costura pode romper durante o processo de costura e a sua aparência adversamente afetada [2]. A espessura de uma linha de costura é, normalmente, referenciada como a massa linear ou o artigo número. Estas são produzidas com distintas espessuras para satisfazer as mais variadas aplicações [4].

A Tabela 3.2 apresenta uma relação do número de agulha a utilizar relativamente à massa linear de diversas linhas de costura [105]:

**Tabela 3.2** - Relação Número agulha – Artigo Número

<b>Artigo Número</b>	<b>tex</b>	<b>Cabos</b>	<b>Número Agulha Recomendado Singer/métrico</b>
<b>60</b>	30	3	11 - 12 / 75 - 80
<b>50</b>	35	3	12 - 14 / 80 - 90
<b>40</b>	40	3	14 - 18 / 90 - 110
<b>30</b>	60	3	18 - 19 / 110 - 120
<b>24</b>	80	3	18 - 20 / 110 - 130

Quando o diâmetro da linha é bastante elevado, ao ponto de deslocar os fios do tecido, pode provocar costuras franzidas. Na seleção de linhas para bordar, para costuras de contraste ou outras aplicações decorativas, o diâmetro deverá ser tomado como um fator relevante [4].

O diâmetro da linha de costura também pode afetar o seu desempenho no processo de costura, na medida em que deve passar, sem restrições, através do olhal da agulha e dos tensores da máquina de costura [3].

A indústria da confecção tende a utilizar linhas de costura com a menor espessura possível, mas que proporcionem uma resistência à tração da costura idónea à sua aplicação. Com estas linhas obtém-se um comprimento de bobinagem mais elevado, o que permite aumentar a produtividade devido à diminuição do número de mudanças de cones na produção do vestuário. Também permitem a obtenção de costuras mais macias, com menos volume e menos afetadas pela abrasão devido a uma maior incorporação das linhas na superfície do tecido. Possibilitam a

utilização de agulhas mais finas o que reduz a distorção dos tecidos e a probabilidade de costuras franzidas [15].

Preferencialmente aplica-se um medidor de espessura para determinar o diâmetro de uma linha de costura, mas pode ser por aplicação de um método ótico. Este último não é recomendado pela dificuldade em determinar com exatidão os limites das linhas de costura devido às fibras na superfície das linhas [68].

### **Irregularidade e imperfeições**

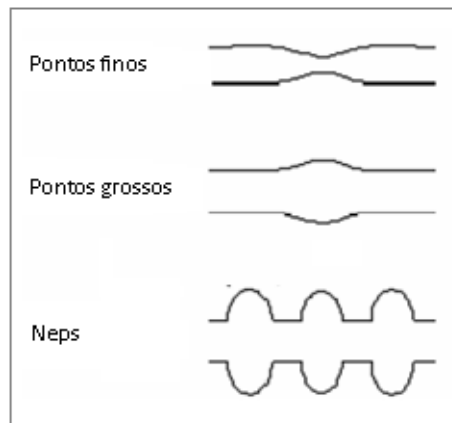
A irregularidade na massa linear de um fio ao longo do seu comprimento influencia a sua aparência e o seu comportamento durante o processamento. A caracterização desta propriedade fornece não só uma indicação de qualidade, mas também possibilita a localização de defeitos durante o processamento. Deste modo é possível ajustar os parâmetros das máquinas ou efetuar correções [106].

A irregularidade é um parâmetro de uniformidade de uma linha de costura, quer em termos de massa por unidade de comprimento quer em termos de diâmetro. O desempenho da costura pode ser afetado por esta, pois é essencial uma passagem sem restrições através do olhal da agulha e dos tensores da máquina de costura. Quanto mais uniforme for a linha de costura, melhor será o seu desempenho no processo de costura, resultando assim numa qualidade de costura superior [107].

Todas as linhas de costura devem possuir o mais elevado grau de uniformidade nas suas propriedades e características. Alguma imperfeição na superfície da linha de costura impedirá uma boa passagem da mesma através do olhal da agulha e dos tensores da máquina de costura. Para uma boa aparência da costura deve ser utilizado o menor número de agulha, mas de modo a evitar a rotura da linha por abrasão excessiva na passagem pelo olhal da agulha. Uma das razões para um fraco desempenho das linhas de costura, no processo de costura, é a presença de imperfeições. A incidência de imperfeições (nós, pontos finos, pontos grossos, nepes, entre outros), numa linha de costura acabada deve manter-se num nível baixo, para garantir um excelente desempenho da mesma no processo de costura. Todavia, filamentos e linhas de costura texturizadas não possuem imperfeições, o que garante um melhor desempenho no processo de costura [4].



Os tipos de imperfeições e a sua classificação são de grande relevância para a qualidade do fio. Existem três tipos de imperfeições como mostra a Figura 3.6 [108].



**Figura 3.6** - Tipo de imperfeições de um fio têxtil [109]

As variações na secção transversal do fio, como nepes, pontos finos e pontos grossos, são analisados separadamente da irregularidade [102].

As diferenças entre estes tipos de imperfeições, não só se encontram na matéria-prima como no processo. Os pontos finos e pontos grossos podem ser classificados com o termo “imperfeições” e têm uma razão de  $\pm 50\%$  relativamente ao valor médio da secção transversal do fio. Os nepes são aqueles que atingem um valor superior a 200%. As imperfeições podem ter diferentes origens, tais como a matéria-prima e sua seleção de forma inconveniente, falhas mecânicas, parâmetros das máquinas incorretos, falta de limpeza, falhas do operador e uma má organização [102].

### **Pilosidade**

As pontas das fibras de diferentes comprimentos e formas surgem na superfície do fio, não podendo por razões de processo permanecer no seu interior, originando desta forma as pilosidades [102]. As pilosidades são bastante sensíveis às distintas condições de processamento dos fios. O nível desejável ou aceitável de pilosidades depende sobretudo da aplicação. Um elevado grau de pilosidades é vantajoso em alguns casos, enquanto noutros deve ser evitado. No caso das linhas de costura a pilosidade deve ser controlada. Nas linhas de costura com alma a

pilosidade aumenta com a diminuição da massa linear da fibra de recobrimento, mas diminui com o aumento da torção [110].

A pilosidade de uma linha de costura é uma propriedade importante, que influencia o seu desempenho no processo de costura. Se a pilosidade for elevada restringe a passagem da linha através dos vários elementos da máquina de costura, resultando na sua rotura e em defeitos na costura [111].

As pilosidades são inversamente proporcionais ao comprimento de fibra e diretamente proporcionais ao número de fibras existentes na secção do fio e à rigidez à flexão da fibra [102].

A lubrificação tem uma forte influência na pilosidade, uma vez que diminui o atrito e, conseqüentemente, os danos causados na linha pelo desgaste e pela abrasão. Aplicando 0.5% de lubrificante no fio a abrasão das pontas das fibras pode ser efetivamente impedida. A influência do processo de bobinagem na pilosidade é tal que, pode levar em alguns casos a um aumento de 55% da pilosidade [110].

A pilosidade da linha de costura aumenta sistematicamente a partir da saída do suporte ou cone, da passagem através do olhal da agulha e da retirada de tecidos finos e tecidos grossos, respetivamente. Estas alterações são normais na geometria da superfície uma vez que estas resultam da fricção e abrasão entre a linha de costura e a superfície da agulha ou os fios cruzados do tecido [112].

Contrariamente à opinião geral, as pontas das fibras das linhas de costura promovem as suas propriedades de deslizamento. O revestimento de ar que envolve a linha de costura e a acompanha na costura fornece uma espécie de amortecimento que melhora significativamente as propriedades de deslizamento. A pilosidade afeta a aparência da costura, e em costuras decorativas deve ser controlada [113].

### **Estabilidade dimensional**

A estabilidade dimensional pode ser definida como a resistência de uma fibra ou fio às alterações nas suas dimensões, tais como o comprimento, a secção ou a forma [7]. Também se pode denominar como a capacidade que uma linha de costura tem para manter a sua condição original quando sujeita a variações de temperatura, humidade ou outras tensões [114].

O encolhimento a húmido e a seco são medidas de estabilidade dimensional. Corresponde à quantidade de fio contraído por ação da lavagem ou do calor (húmido ou seco), expresso como percentagem do seu comprimento original [7].

O calor gerado no processo de costura depende da velocidade da máquina de costura, do tamanho, da forma e do acabamento superficial da agulha, da densidade, da espessura e do acabamento dos tecidos, da massa linear e do acabamento da linha de costura [58, 85, 86]. A ocorrência mais severa de calor ocorre quando a linha de costura passa através do tecido, quando a parte emergente da laçada é presa entre a agulha e o tecido [74] e onde a linha de costura toca o olhal da agulha no momento da formação da laçada [4]. Estudos realizados mostram que a temperatura da agulha pode atingir 350°C, deste modo a linha de costura deve ser protegida para permitir a sua passagem através do olhal da agulha e costurar com o mínimo de problemas [115]. A Tabela 3.3 apresenta valores típicos do ponto de fusão de alguns materiais utilizados em fibras [78].

**Tabela 3.3** - Ponto de fusão de diferentes fibras

<b>Material</b>	<b>Ponto de Fusão</b>
<b>Poliamida 6</b>	215°C
<b>Poliamida 6.6</b>	260°C
<b>Poliéster</b>	260°C
<b>Polietileno</b>	120°C

Contudo, uma linha de costura produzida de seda ou de algodão pode costurar eficientemente a temperaturas da agulha acima dos 400°C. Linhas com alma de filamentos sintéticos recobertos por fibras de algodão possuem uma estabilidade térmica mais elevada, cerca de 25 a 30°C [4].

Após a confecção todo o vestuário é sujeito a lavagens. Quando uma linha de costura absorve água, altera a sua dimensão e o inchamento ocorre no sentido transversal e axial. Este inchamento depende da matéria-prima. Todas as fibras hidrófilas apresentam um elevado inchamento transversal, mas, em alguns casos, o inchamento axial é pequeno, assim a anisotropia de inchamento é elevada. Na Tabela 3.4 são apresentados valores típicos de inchamento [116].

**Tabela 3.4** - Comparação do inchamento das fibras

<b>Fibra da Linha de costura</b>	<b>Inchamento Transversal (%) (Dia.)</b>	<b>Inchamento Axial (%)</b>
<b>Algodão</b>	20	0.1
<b>Viscose</b>	25	3.7
<b>Seda</b>	16.5	1.6
<b>Poliamida</b>	1.9	2.7

O inchamento é geralmente menor nas fibras sintéticas. Linhas de costura produzidas a partir de poliamida ou poliéster apresentam uma elevada estabilidade dimensional no estado húmido. As produzidas a partir de fibras naturais possuem elevados inchamentos transversais, resultando numa menor estabilidade dimensional [117].

Do ponto de vista qualitativo, tanto a estabilidade a seco como a húmido são importantes para a qualidade da costura. O calor pode provocar marcas de queimadura nas fibras naturais, tais como o algodão ou a lã e nas fibras sintéticas pode amolecê-las ou mesmo fundi-las, provocando costuras enfraquecidas ou resíduos fundidos à superfície do tecido. A linha de costura pode mesmo romper e danificar a superfície do tecido [4]. Em condições húmidas, durante o processo de tingimento em peça as linhas de algodão aumentam o diâmetro [118] e encolhem em comprimento o que pode causar costuras franzidas [119], afetando deste modo a aparência do vestuário [78].

A Tabela 3.5 apresenta as propriedades de encolhimento de algumas linhas de costura [3, 8]:

**Tabela 3.5** - Propriedades típicas de encolhimento de algumas linhas de costura

<b>Tipos de Linhas de costura</b>	<b>Água à Ebulição (%)</b>	<b>Calor a seco a 180°C (%)</b>
<b>Fibras de Poliéster</b>	0 - 1	0 - 1
<b>Fio de Algodão</b>	4 - 8	0
<b>Multifilamentos de Poliéster</b>	0 - 1	0 - 1
<b>Multifilamentos de Poliamida</b>	2 - 3	2 - 3
<b>Com Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Algodão</b>	0 - 1	0 - 1
<b>Com Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Poliéster</b>	0 - 1	0 - 1

As fibras de *lyocell* em húmido incham, mas após secagem recuperam praticamente o seu diâmetro inicial, existindo também uma diminuição irrecuperável no comprimento destas, ou seja,

um encolhimento. Este fenómeno tende a ocorrer durante o tratamento a húmido das fibras, uma vez que as moléculas de água podem introduzir-se nas regiões amorfas das microfibrilas das fibras e combinar-se com os grupos – OH da celulose. Este processo aumenta a distância entre as microfibrilas, produzindo um inchamento radial da secção transversal da fibra. Como consequência, as forças de união entre as fibrilas elementares e as microfibrilas são reduzidas, impedindo a distribuição simétrica das mesmas. Desta forma as microfibrilas curvam-se, diminuindo o comprimento das fibras. Depois de secarem as moléculas de água associadas com os grupos – OH das regiões amorfas desaparecem. A distância entre as microfibrilas decrescem parcialmente até recuperar o estado inicial, já que o comprimento da fibra não volta a recuperar totalmente [42]. O *lyocell* apresenta um módulo de elasticidade mais elevado e proporciona um menor encolhimento no estado húmido em relação ao algodão [39].

### **3.3.4.2 Propriedades mecânicas**

#### **Resistência de rotura e tenacidade**

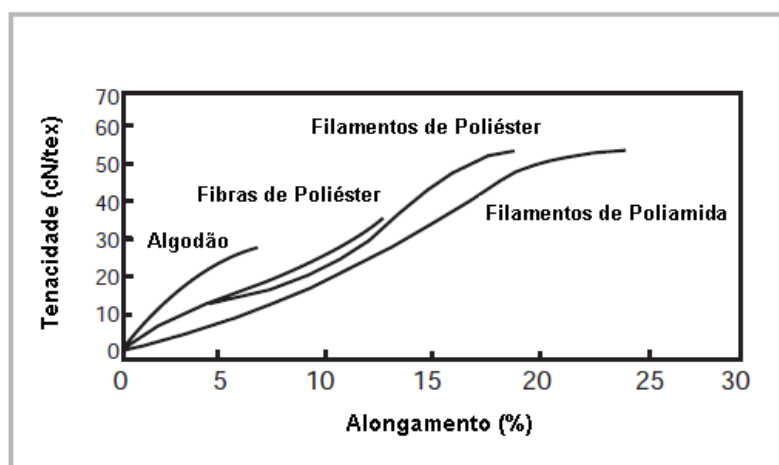
A resistência de rotura pode ser definida como a força máxima aplicada a um fio num ensaio de tração levado até à rotura [120], sendo para fios preferencialmente expressa em centinewtons (cN) [121]. A tenacidade pode ser definida como a proporção da força de rotura do fio relativamente à massa linear, habitualmente expressa em centinewtons por tex (cN/tex) [121].

A força de rotura pode variar ligeiramente conforme as condições em que o fio rompe, isto é, humidade, temperatura, regime de força e comprimento do fio submetido a esforço. Por esta razão, todas estas condições são especificadas com precisão em testes reconhecidos internacionalmente [7]. Quando o processo de costura é efetuado a velocidades elevadas, a linha de costura da agulha sofre elevadas tensões [122]. Para as suportar a linha de costura deve possuir tenacidade e alongamento adequados. Materiais distintos apresentam comportamentos diferentes sob estas tensões, por possuírem estruturas moleculares diferentes [78]. A Tabela 3.6 apresenta a tenacidade e alongamento de rotura de 5 tipos de linhas de costura [123]. A tenacidade permite comparar a resistência de várias fibras e construções de fios, por comparação direta, entre amostras com diferentes massas lineares [124].

**Tabela 3.6** – Comparação da tenacidade e alongamento de rotura de várias linhas de costura [123]

Tipos de Linhas de costura	Tenacidade (cN/tex)	Alongamento de rotura (%)
Fio de Algodão	23 - 28	5 - 8
Fibras de Poliéster	25 - 38	12 - 20
Com Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Poliéster	30 - 43	14 - 24
Filamentos de Poliéster	41 - 53	15 - 30
Filamentos de Poliamida	45 - 56	15 - 30

A Figura 3.7 apresenta curvas típicas tenacidade – alongamento para diferentes linhas de costura. Da Figura 3.7 e da Tabela 3.6 é evidente que o algodão exibe um módulo inicial elevado mas uma tenacidade e alongamento inferiores quando comparado com as outras linhas de costura. As linhas de fibras de poliéster apresentam um nível moderado de tenacidade e alongamento [4]. Os valores mais elevados de tenacidade encontram-se nos filamentos de poliéster e poliamida [8].

**Figura 3.7** - Curva Tenacidade vs. Alongamento para diferentes fibras [8]

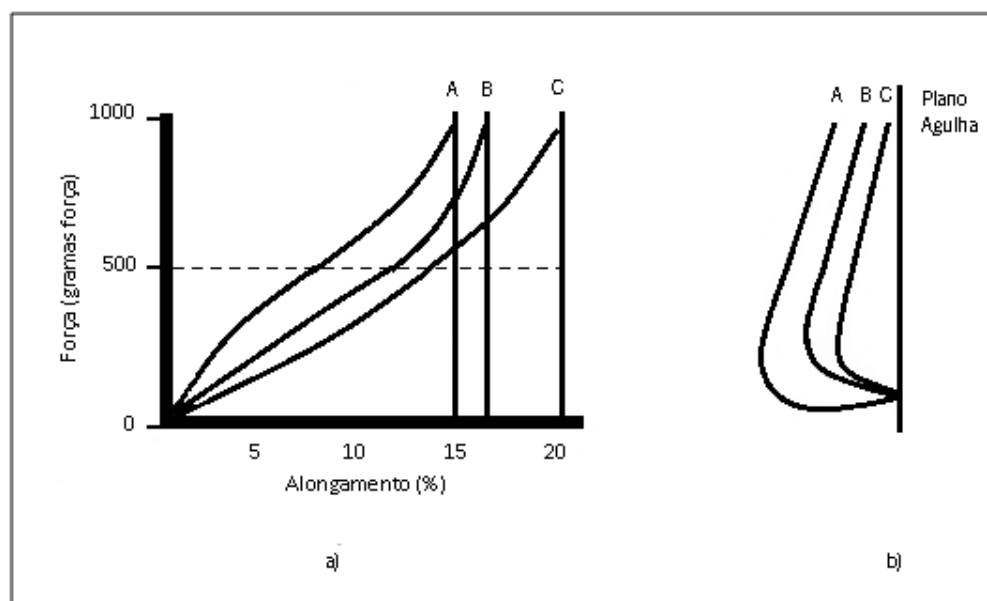
Uma tenacidade elevada e constante na linha de costura é importante e é atingida, principalmente, pela combinação e torção de fibras e filamentos [2]. Uma tenacidade baixa tem um efeito direto na resistência da costura, tornando-se um problema para todas as costuras que estão sujeitas a grandes tensões [10].

### Alongamento de rotura

O alongamento de rotura é a quantidade que a linha de costura se alonga até ao seu ponto de rotura, e é expresso em percentagem do seu comprimento nominal inicial [125].

A medição do alongamento de rotura é relevante em relação às tensões sofridas nas operações de costura. Um simples motivo é que as curvas força-alongamento não são lineares, ou seja, linhas com um alongamento de rotura mais baixo não têm necessariamente um alongamento inferior sob níveis de força mais baixos. Desta forma, as forças sofridas no processo de costura são menores que as forças de rotura, o que pode originar distintos comportamentos das linhas de costura. Assim, o alongamento sob forças menores torna-se um melhor indicador do comportamento, no processo de costura, do que o alongamento de rotura [125].

Considerando 3 linhas de costura com diferentes alongamentos, em que as linhas de costura A e B mostram um menor alongamento de rotura quando comparadas com a linha C (Figura 3.8 a). No entanto, as linhas de costura B e C apresentam uma laçada de agulha menor, (Figura 3.8 b) no processo de costura, quando comparadas com a linha de costura A [125].



**Figura 3.8** - Linhas de costura de diferentes alongamentos de rotura (a) e as respetivas laçadas de agulha (b) [125]

A laçada de agulha menor pode aumentar a possibilidade de ocorrência de pontos falsos sob condições de desvio da agulha ou agulha torta e um arrastamento deficitário do tecido.

O alongamento de rotura depende de vários fatores, tais como a estrutura, a torção e o tipo de fibra. Uma linha de costura de fio alonga aproximadamente 10% antes de rebentar, a seda e outros filamentos alongam 20%. Dependendo da aplicação, o alongamento de rotura em laçada poderá ser um fator mais relevante na seleção da linha de costura [2].

### **Resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada**

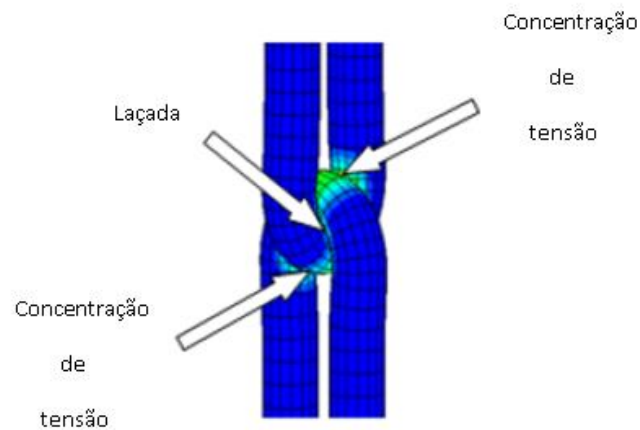
A resistência de rotura de uma linha utilizada numa costura pode relacionar-se com a resistência à tração dessa costura. Se as linhas tivessem a mesma estrutura e torção, então só o teor da fibra teria influência na resistência da laçada. Em termos da formação do ponto de costura a tenacidade é importante, mas para a resistência à tração da costura a resistência de rotura em laçada é mais relevante. O efeito de fletir uma linha de costura numa determinada estrutura geométrica e o efeito da formação do ponto, no processo de costura, são relevantes. A relação entre a resistência de rotura e a resistência de rotura em laçada não é constante para todas as fibras e fios. Uma expressão desta relação é dada pela eficiência da laçada (Burtonwood e Chamberlain, 1966), definida como [2]:

$$\text{Eficiência da laçada (\%)} = \frac{\text{Resistência de rotura em laçada da linha de costura}}{2 \times \text{Resistência de rotura da linha de costura}} \times 100$$

(Eq. 3.9)

No ponto de interseção em forma de “U” (Figura 3.9), as partes fletidas da linha de costura tornam-se mais fracas, devido ao estiramento excessivo das fibras na camada exterior das partes fletidas, enquanto as fibras na camada interior são comprimidas. Logo a tenacidade em forma de laçada é sempre inferior à obtida num simples teste de tração [126].





**Figura 3.9** – Concentração de tensão no ponto de interseção das laçadas sob carga de tração [126]

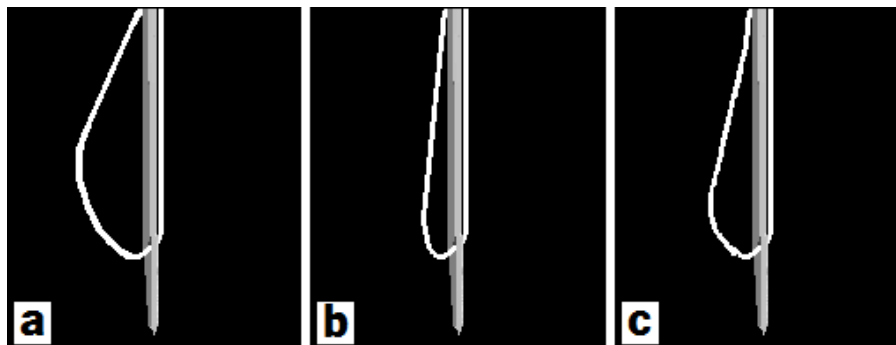
### Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade proporciona uma medida de rigidez de um fio [120]. Um módulo inicial de elasticidade elevado torna-se indispensável para assegurar uma deformação mínima da linha de costura, perante tensões sofridas na formação do ponto de costura. Os valores elevados do módulo de elasticidade estão diretamente relacionados com os valores elevados de rigidez, que com uma torção equilibrada, são essenciais para uma boa formação de laçada e um bom desempenho da linha de costura no processo de costura. A linha de costura deve ser relativamente rígida para formar a laçada no referido processo. A Figura 3.10 apresenta a forma da laçada que é criada pela linha da agulha durante a formação do ponto de costura [8].

A Figura 3.10 (a) apresenta uma laçada formada por uma linha de algodão que possui um módulo de elasticidade relativamente elevado. Pode-se verificar que a forma da laçada oferece espaço em abundância entre a agulha e a linha de costura, de modo a que o gancho rotativo ou a laçadeira possa apanhar em segurança a linha e formar o ponto de costura. Quando a agulha se desloca para baixo, uma linha com um módulo de elasticidade elevado diminui a extensão do fio, quando se desloca para cima, a linha relaxa formando-se uma laçada apropriada [101].

A Figura 3.10 (b) apresenta uma laçada formada por uma linha de costura de módulo de elasticidade baixo e verifica-se que a linha da agulha permanece junto à agulha, sendo o espaço restrito para o gancho rotativo ou para a laçadeira apanhar a linha em segurança, o que pode resultar num elevado risco de pontos falsos e num fraco desempenho e danificação da linha no

processo de costura [8]. Um módulo de elasticidade elevado torna-se vantajoso, pois diminui a possibilidade de costuras franzidas [101].



**Figura 3.10** - Formação da laçada: linha de costura de fio de algodão (a); linha de costura de poliéster não estabilizado (b); linha de costura de poliéster estabilizado (c) [8]

### Propriedades de atrito

O atrito nos guia-linhas das máquinas de costura depende do tratamento superficial das linhas e afeta o desempenho da linha de costura no processo de formação do ponto. Portanto, é fulcral conhecer o coeficiente de atrito quando se escolhe a linha de costura [127]. O atrito não deve ser demasiado alto, pois provoca a rotura das linhas, nem demasiado baixo, uma vez que se perde o controlo da linha de costura [78].

A mudança frequente de agulhas e laçadeiras indiciam um problema de desgaste, provocado pela fricção demasiado elevada da linha no metal. O aquecimento da agulha e as roturas de frequência anormal da linha também são consequências desta fricção. As propriedades de atrito dependem das características da linha de costura, mas sobretudo dos produtos de acabamento e dos lubrificantes. A lubrificação de uma linha de costura é imprescindível, já que diminui o atrito e protege-a do aquecimento [67].

As forças que se desenvolvem numa linha de costura, são, essencialmente, devido à fricção entre a agulha-linha e a linha-tecido a serem costurados [128]. No processo de costura as linhas de costura estão expostas a temperaturas extremamente elevadas (superiores 400°C em alguns casos) da agulha, originando problemas nas linhas de costura compostas por fibras sintéticas, em que o ponto de fusão é cerca de 260°C (Tabela 3.3) [129]. Ensaio de atrito ou de deslizamento da linha sobre o metal permitem detetar se a linha vai originar problemas ou afetar os resultados e o tempo de vida dos órgãos das máquinas de costura [67].

Quando a velocidade da linha de costura aumenta nos diferentes guia-linhas da máquina de costura, o coeficiente de atrito também aumenta. Se o ângulo de contacto aumenta entre a linha de costura e os diferentes guia-linhas, as forças de atrito diminuem. Os guia-linhas em metal conduzem a um coeficiente de atrito mais baixo do que os guia-linhas em cerâmica [127]. O coeficiente de atrito diminui com o aumento da torção [101].

O atrito também apresenta um problema muito complexo no processo de costura, sendo difícil determinar com exatidão qual o componente ou tipo de atrito que ocorre. No atrito podem atuar os seguintes componentes [127]:

- Atrito estático, força necessária para iniciar o movimento a partir do repouso;
- Atrito cinético, que é independente da magnitude da velocidade;
- Atrito viscoso, que é proporcional à velocidade.

Geralmente, o coeficiente de atrito  $\mu$  é definido como “ a relação adimensional entre a força de atrito  $F$ , entre dois corpos, e a força normal  $N$  que mantém esses corpos juntos” [127].

Esta relação depende de parâmetros como: composição do material, acabamento, velocidade de deslizamento, temperatura, lubrificação, humidade e contaminação. Investigações realizadas com fibras e linhas demonstraram que a relação da força de atrito com a força normal diminui conforme aumenta a carga.

### **Resistência à abrasão**

A resistência à abrasão de uma linha de costura depende do coeficiente de atrito da mesma nas várias superfícies de contacto das máquinas de costura. O número de ciclos até à rotura pode funcionar como indicador da resistência à abrasão de uma linha de costura [4]. No processo de costura pode-se minimizar a abrasão através da seleção correta da linha, da agulha e de uma densidade equilibrada de pontos [128]. O comportamento das linhas de costura perante forças abrasivas, na operação de costura, pode comparar-se num equipamento de medir a abrasão fio contra fio. Neste equipamento as linhas são friccionadas contra si próprias e contra umas polias cromadas altamente polidas, sob uma determinada tensão até à rotura. A vida relativa dos diversos tipos de linhas de costura, sob estas condições e quando comparadas com o linho ou viscose é apresentada na Tabela 3.7 [7]:

**Tabela 3.7** - Vida relativa de diversos tipos de linhas de costura

<b>Tipos de Linhas de costura</b>	<b>Vida relativa</b>
<b>Linho ou Viscose</b>	1
<b>Fio de algodão</b>	3
<b>Fibras de Seda</b>	4
<b>Filamentos de Seda</b>	5
<b>Fibras de Poliéster</b>	30
<b>Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Algodão</b>	30
<b>Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Poliéster</b>	30
<b>Filamentos de Poliamida</b>	150

A resistência à abrasão de uma costura é um dos critérios essenciais para avaliar o comportamento da linha durante o uso do vestuário. As costuras são, muitas vezes, expostas a abrasões no uso do vestuário, como é o caso dos botões, das costuras ornamentais, das costuras de calças de ganga, com acabamentos de lavagem com pedra e, das costuras de recobrimento dos calções dos ciclistas. Frequentemente, estas costuras mostram sinais de desgaste após curtos períodos de utilização, com um padrão de costura desgastado ou costuras totalmente rompidas.

Para valorizar devidamente a resistência à abrasão das costuras, de diversos tipos de linhas de costura, os laboratórios de investigação *COATS* utilizam um equipamento *ABRASÃO DE COSTURAS (SAM)* para este fim. Neste equipamento as costuras são preparadas sob uma tensão previamente definida. Os provetes são friccionados a uma pressão anteriormente fixada mediante uma espiral giratória de aço cromado, portanto multidirecional e reprodutível. Quando o primeiro ponto de costura romper o ensaio termina. A máquina *SAM* simula, mas não padroniza muitas das variáveis de abrasão do uso do vestuário [7].

A Tabela 3.8 apresenta a resistência à abrasão das costuras em número de ciclos até à rotura do primeiro ponto de costura. Estas foram efetuadas com diversos tipos de linhas de costura e produzidas com a mesma massa linear, mas de diferentes matérias-primas. As linhas com alma apresentam uma resistência à abrasão mais elevada do que as linhas de fio, sendo mais elevada nas linhas de multifilamentos [10].

**Tabela 3.8** - Resistência à abrasão das costuras de diferentes linhas de costura (Teste Martindale Modificado) [10]

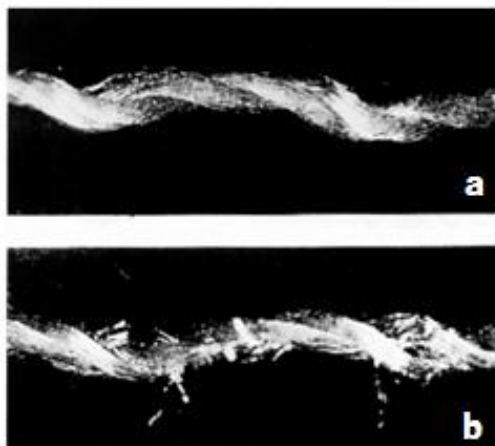
<b>Tipos de Linhas de costura</b>	<b>Número de Ciclos</b>
<b>Fio de algodão</b>	4800
<b>Fibras de Poliéster</b>	7600
<b>Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Algodão</b>	17000
<b>Alma de Filamentos de Poliéster Recobertos por Fibras de Poliéster</b>	17000
<b>Filamentos de Poliéster</b>	24000
<b>Filamentos de Poliamida</b>	130000

### 3.3.4.3 Lubrificação

O tratamento superficial das linhas de costura é indispensável para a formação de pontos de costura sem defeitos. Um tratamento irregular e incorreto pode ser a causa de tensões adicionais nas linhas de costura durante o processo costura. Logo, o agente lubrificante deve em primeiro lugar cumprir com duas condições: garantir um atrito uniforme e o mais baixo possível e proteger a linha de costura contra o aquecimento da agulha. A linha de costura deve ser tratada com um agente lubrificante apropriado, que atua como um componente de lubrificação, permitindo uma passagem uniforme da linha, sob as condições dinâmicas no processo de costura [130].

As linhas de costura constituídas por fibras sintéticas necessitam de níveis de lubrificante mais elevados do que as constituídas por fibras naturais, sendo para as de fibras de poliéster de aproximadamente 7%. O coeficiente de atrito e as forças de atrito diminuem significativamente com um nível de aplicação de 2% de lubrificante. A percentagem de lubrificação apresenta uma tendência de aumento do alongamento de rotura e de diminuição dos valores da carga eletrostática [128].

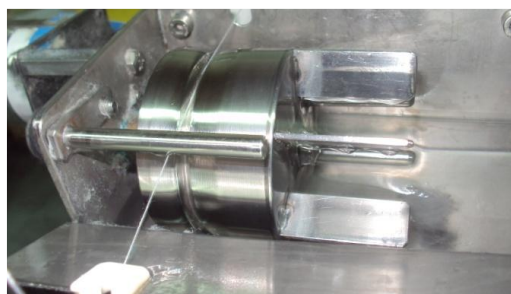
A diferença entre uma lubrificação com qualidade e sem qualidade reflete-se no aumento da rotura da linha durante o processo de costura. Também poderá existir deterioramento da linha de costura na passagem pelo tecido, e conseqüentemente um deterioramento prematuro da costura. A Figura 3.11 (a) ilustra uma linha de costura lubrificada com qualidade sem deterioramento da linha de costura após o processo de costura. A Figura 3.11 (b) ilustra uma linha de costura deteriorada, após o processo de costura, causada por uma lubrificação sem qualidade [7].



**Figura 3.11** – Lubrificação com qualidade (a) e lubrificação sem qualidade (b) [7]

Os agentes tradicionais de lubrificação das linhas são as parafinas que diminuem o coeficiente de atrito, silicones que protegem contra o aquecimento da agulha e os agentes anti estáticos na prevenção de carga estática [125].

Estes agentes podem ser aplicados pelo método de esgotamento após tingimento ou pelo método do rolo de contacto (Figura 3.12), em que os lubrificantes são aplicados a partir de um rolo nas linhas de costura. Este método é o mais comum [129].

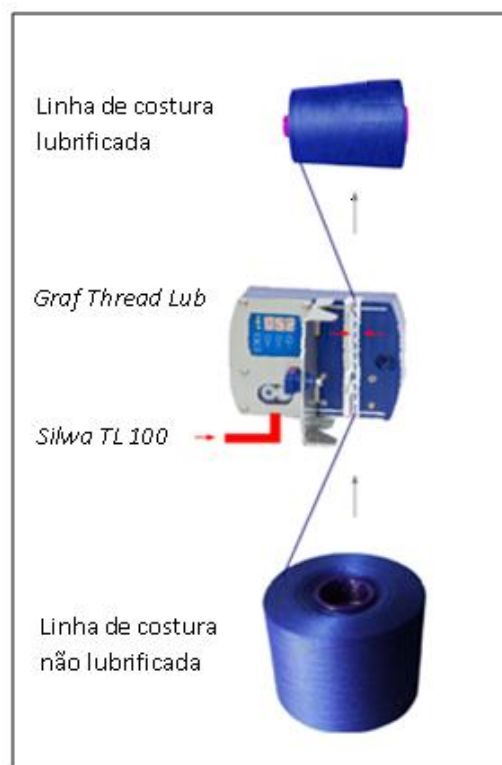


**Figura 3.12** - Lubrificação em rolo de contacto

Um sistema de lubrificação *Graf Threadlub* (Figura 3.13), desenvolvido pela empresa alemã *Graf*, permite uma lubrificação rigorosa, garantindo uma tensão constante da linha e uma excelente lubrificação [131].

Este sistema de lubrificação torna-se vantajoso ao possuir um sistema de dosagem de alta precisão para lubrificação a quente, permite o ajuste da percentagem de lubrificação entre 0.5 e 10%, é altamente fiável devido ao controlo permanente do movimento do fluido. Este está

otimizado para trabalhar em máquinas de bobinagem e acabamento a velocidades elevadas, adapta-se a qualquer máquina de bobinar, possui requisitos mínimos de manutenção, um consumo baixo de energia, uma alta flexibilidade devido ao seu tamanho pequeno e está especialmente desenvolvido para utilizar em conjunto com o lubrificante *Silwa TL100*. Este lubrificante pode ser utilizado em todas as linhas de costura e de bordar e pode ser aplicado por rolo de contacto a frio. É baseado em óleos especiais de silicone, ceras e aditivos, 100% ativo (livre de água) e sem alterações na viscosidade. É muito estável, fácil de manusear, garante excelentes propriedades de atrito, de costurabilidade e com picos de tensão baixos. Possui uma elevada proteção contra aquecimentos, propriedades de abrasão mínimas e não amarelece quando exposta a óxidos de azoto durante o armazenamento. Não tem tendência para a pulverização na aplicação, não contamina quando devidamente aplicado, garantia de excelentes propriedades anti estáticas e do desempenho funcional das linhas no processo de costura [132].



**Figura 3.13** - Graf Threadlub [132]

A percentagem de lubrificação pode ser definida como o aumento do peso (como percentagem do peso original), após a aplicação do lubrificante. A qualidade da lubrificação deve ser mensurada por propriedades mais adequadas ao processo de costura, como o atrito e a as tensões geradas

na agulha, pois as funções do lubrificante são determinadas pela viscosidade e não pela adição do peso [125].

#### **3.3.4.4 Alteração das propriedades mecânicas após o processo de costura**

A redução da resistência de rotura da linha de costura no processo de costura varia em função da magnitude das tensões, que atuam sobre a linha, e da sua capacidade para suportar o efeito de degradação destas tensões. Esta redução deve-se às alterações das propriedades mecânicas das fibras, por cargas dinâmicas sofridas e/ou por alterações na estrutura da linha [70].

Uma falha da costura torna o vestuário inutilizável, embora o tecido possa ficar em boas condições. Portanto, a resistência à tração da costura deve ser elevada para evitar as falhas provocadas pelo impacto das tensões com origem no processo de costura [71].

Do ponto de vista da formação do ponto de costura, a linha é exposta a grandes tensões quando penetra, juntamente com a agulha, o material a costurar. Devido ao reduzido espaço de contacto com a agulha, a linha de costura é exposta a uma grande pressão assim como a forças de atrito e a flexões, o que resulta numa considerável deformação [103].

Crow e Chamberlain [72] concluíram que a redução da resistência de rotura da linha após confeção ultrapassa 60%. Mais tarde, outros investigadores observaram que a redução da resistência de rotura, das linhas de algodão, pode ser entre 30 a 40% após o processo de costura, devido a danos estruturais, tensões dinâmicas e térmicas [70, 73, 74, 133]. Um estudo mais recente sobre as propriedades de tensão das linhas de algodão mercerizado, revelou uma redução da resistência de rotura de 30% e cerca de 20% no alongamento de rotura e no módulo de elasticidade [72]. Estudos de microscopia eletrónica de varrimento, em linhas costuradas, confirmaram danos estruturais como o deslocamento dos cabos, a alteração da torção em locais específicos e fibras soltas da superfície da linha. Estes danos ocorrem com mais frequência no momento do aperto da laçada, onde surge a máxima tensão, flexão e abrasão de fio contra fio [70, 73, 74, 133].

Midha *et al.* [71] estudaram a influência, nas propriedades das linhas, do processo de costura a velocidades elevadas e em diferentes etapas. Na primeira etapa a linha é retirada do cone ou suporte até ao primeiro elemento-guia da máquina de costura. Na segunda etapa passa pelo regulador de tensão da linha da agulha antes de passar através do tecido e do olhal da agulha. Na terceira etapa depois de passar através do tecido, do olhal da agulha e do regulador de tensão da



linha da agulha. A última etapa após interagir com a linha da lançadeira e formar o ponto de costura. A perda mais elevada de resistência e alongamento de rotura surgiu nas linhas de fio de algodão, seguida pelas linhas de fio de fibras poliéster, sendo menor nas linhas com alma de poliéster. No entanto, as linhas de algodão evidenciaram menor perda no módulo de elasticidade. A interação com a linha da lançadeira na formação do ponto, na fase final da costura, é a principal causa da redução da resistência e alongamento de rotura e do módulo de elasticidade em todas as linhas de costura. A passagem da linha através do olhal da agulha e do tecido tem pouca influência na redução das propriedades mecânicas. A passagem pelo regulador de tensão da linha da agulha não influencia as propriedades mecânicas das linhas de fibras de poliéster, nem as linhas com alma de poliéster, mas contribui, substancialmente, para a perda de resistência e alongamento de rotura das linhas de costura de fio de algodão.



## CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 Filamentos de *lyocell*

#### 4.1.1 Materiais

Foram adquiridos cerca de 20 quilos de filamentos de *lyocell*, com uma massa linear de 120 denier com 40 filamentos, na empresa *Acelon Chemicals & Fiber Corp.* (Taiwan). A única com disponibilidade a nível mundial para o fornecimento deste material. Apesar de a empresa produzir outras massas lineares, a de 120 denier foi a única disponível para fornecimento.

Segundo as especificações do fornecedor, os filamentos utilizados foram produzidos a partir de polpa de madeira dura. Na Tabela 4.1 apresentam-se as propriedades dos filamentos de *lyocell*.

**Tabela 4.1** - Propriedades dos filamentos de *lyocell*

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
<b>Massa Linear</b>	120 denier
<b>Tenacidade de Rotura</b>	0.2928 N/tex
<b>Alongamento de Rotura</b>	4.65%
<b>Encolhimento à Ebulição</b>	1.6%
<b>Grau de Polimerização</b>	> 500

#### 4.1.2 Torção

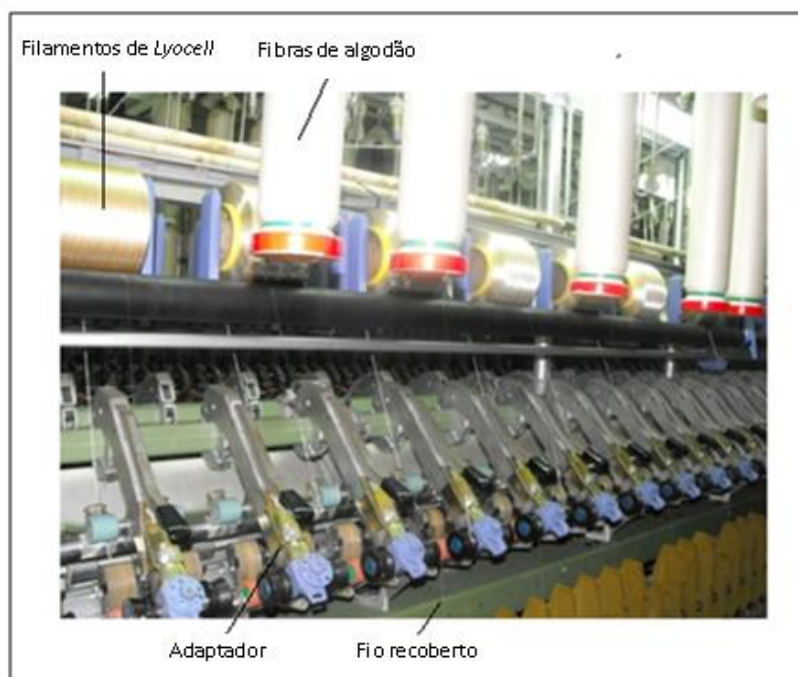
Procedeu-se à torção de quatro bobinas de filamentos de *lyocell* com 66, 100, 150, 200, 250 e 300 voltas/m, no sentido S e num torcedor de dupla torção *ICBT*. A torção dos filamentos de *lyocell* foi realizada no sentido S, pois na operação de recobrimento os fios são torcidos no sentido S para depois retorcerem no sentido Z, de modo a garantir o seu desempenho no processo de costura. A torção dos filamentos, anterior ao recobrimento teve como objetivo melhorar as propriedades mecânicas das linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão.

### 4.1.3 Caracterização dos filamentos de *lyocell*

Após a torção das quatro bobinas de filamentos de *lyocell*, caracterizou-se a massa linear, resistência e alongamento de rotura e tenacidade dos filamentos de acordo com a variação do número de voltas/m de torção. A caracterização da massa linear realizou-se segundo a norma NP EN ISO 2060:1996, utilizando-se para o efeito uma dobadoira e uma balança *Kern 770* com uma precisão de 0,0001g e uma capacidade de 120 g. Para a caracterização da resistência a alongamento de rotura a norma seguida foi a NP EN ISO 2062:1997, utilizando-se um dinamómetro *Hounsfield H10KS* e uma célula de medida de força com uma capacidade máxima de 100 N. Após a determinação do número de voltas/m de torção a aplicar aos filamentos foram torcidas 10 bobinas de filamentos de *lyocell* para a fase do recobrimento dos filamentos com fibras de algodão.

### 4.1.4 Recobrimento

A Figura 4.1 apresenta uma visualização geral do processo de recobrimento dos filamentos de *lyocell*.



**Figura 4.1** - Recobrimento dos filamentos de *lyocell*

O recobrimento, com fibras de algodão, realizou-se na empresa indiana *VARDHMAN GROUP*. As fibras de algodão utilizadas não foram mercerizadas, possuíam um comprimento médio de fibra entre 31 e 33 mm, um índice *micronaire* entre 3.5 e 4.9 e meia branqueação. Nesta operação utilizaram-se 10 bobinas de filamentos de *lyocell* torcidos no sentido S e com 150 voltas/m e 2 bobinas com filamentos singelos ou sem torção. O recobrimento efetuou-se num contínuo de fiação *PLATT SACOLOWELL* com um adaptador *MERLIN para* uma percentagem de recobrimento teórico de 30%.

O recobrimento (REC) calculou-se com base na massa linear dos filamentos utilizando a seguinte relação:

$$\text{REC (\%)} = \left( 1 - \left( \frac{\text{Ne Final}}{\text{Ne Fil}} \right) \right) \times 100$$

(Eq. 4.1)

Onde:

- Ne Final - massa linear pretendida após recobrimento (Ne);
- Ne Fil - massa linear do filamento a utilizar como alma (Ne).

Após a operação de recobrimento obtiveram-se fios com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão. Estes fios juntaram-se a 2 e a 3 cabos numa ajuntadeira *SSM* e posteriormente retorcidos a 2 e a 3 cabos num torcedor *MURATA* de dupla torção.

## 4.2 Linhas de costura

Após a retorção a 2 e a 3 cabos obtiveram-se linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão, com uma massa linear de 30/2 e 30/3 Ne respetivamente.

As linhas de costura de fio de algodão produziram-se a partir de fibras longas de algodão penteado, gasado, mercerizado e com meia branqueação. Estas são as mais aplicadas na indústria de confeção em vestuário para posterior tingimento em peça e por serem as linhas de costura que se pretende substituir. Para o efeito utilizaram-se linhas de costura com uma massa linear de 30/2 e 30/3 Ne.

A utilização de uma massa linear similar permitiu uma comparação das propriedades entre as linhas de costura de fio de algodão e as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão.

A Tabela 4.2 apresenta a identificação das amostras, utilizadas nesta investigação, com a respetiva descrição para melhor entendimento do leitor, onde:

- Os três primeiros dígitos significam a massa linear (Ne) e o número de cabos, sendo “302” para 30/2 Ne e “303” para 30/3 Ne;
- E os últimos dígitos – significam, “FT” para a alma de filamentos torcidos no sentido S, “FNT” para a alma de filamentos singelos e “CO” para linhas de fio de algodão.

**Tabela 4.2** - Identificação das linhas de costura

<b>Identificação</b>	<b>Cabos</b>	<b>Descrição</b>
<b>302FT</b>	2	Linhas com alma de filamentos de <i>lyocell</i> recobertos por fibras de algodão e torcidos com 150 voltas/m no sentido S
<b>302FNT</b>	2	Linhas com alma de filamentos de <i>lyocell</i> singelos (sem torção)
<b>303FT</b>	2	Linhas com alma de filamentos de <i>lyocell</i> recobertos por fibras de algodão e torcidos com 150 voltas/m no sentido S
<b>302CO</b>	3	Linhas de fio de algodão (penteado, gasado e mercerizado)
<b>303CO</b>	3	Linhas de fio de algodão (penteado, gasado e mercerizado)

### 4.3 Caracterização das propriedades das linhas de costura

#### Massa linear

Os ensaios de caracterização realizaram-se segundo a norma NP EN ISO 2060:1996, utilizando-se para o efeito uma dobadoira e uma balança *Kern 770* com uma precisão de 0.0001g e uma capacidade de 120 g.

#### Diâmetro

Para a caracterização do diâmetro a norma seguida foi a ASTM D 204, e utilizou-se um medidor de espessura *Mitutoyo N° 2046F*. Em cada tipo de linha mediu-se o diâmetro em 10

pontos separados de pelo menos de 305 mm. Colocaram-se paralelamente 4 linhas de costura na base do medidor de espessura sem alterar a torção.

### **Irregularidade, imperfeições e pilosidade**

Para a caracterização da irregularidade, das imperfeições e da pilosidade, utilizou-se um regularímetro *Uster Tester 3*. Este mede as variações de massa em fios, em mechas, em fitas de fibra cortada e, num curto espaço de tempo. Determina distintos parâmetros de qualidade, como por exemplo a irregularidade  $U_m$  (%) e o coeficiente de variação  $CV_m$  (%), as imperfeições (pontos finos, pontos grosso e nepes), a pilosidade  $H$  e o desvio padrão da pilosidade  $sh$  [134]. A velocidade de ensaio de 400 m/min e o tempo de ensaio de 2,5 minutos especificaram-se segundo a norma ASTM D 1425:1996. Os ensaios realizaram-se num comprimento de 1000 metros por amostra. Para cada tipo de amostra analisaram-se 2 cones de linha e em cada cone de linha analisaram-se 3000 metros, devido à escassez de amostras.

### **Torção**

Os ensaios de caracterização realizaram-se segundo a norma NP EN ISO 2061:1997, utilizando um torciómetro *Mesdanlab Twistronic* e uma pinça.

### **Estabilidade Dimensional**

Para a caracterização do encolhimento em água à ebulição e ao calor a seco, a norma seguida foi a ASTM D 2259:2002. Utilizou-se uma dobadoira com um perímetro de 1 m, uma escala graduada de 1 mm e uma estufa *INDELAB*. O molhante utilizado foi o *Tinovetine JU* da *Ciba*.

Para calcular o encolhimento, a equação utilizada foi a seguinte:

$$\text{Encolhimento (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

(Eq. 4.2)

Onde:

A – comprimento original mm;

B – comprimento final mm.

### Lubrificação e atrito

As linhas de costura lubrificaram-se num sistema de lubrificação *Graf Threadlub MC-PIC 200* e utilizou-se uma máquina de bobinar linhas *HACOBA H1250*. O sistema de lubrificação foi previamente calibrado pelo procedimento interno fornecido pela empresa *Graf*. O lubrificante aplicado foi o *SILWA TL100*. Para calcular a quantidade pretendida de lubrificante a aplicar utilizou-se a seguinte expressão:

$$\text{Taxa de Lubrificação (g/min)} = \frac{\text{Velocidade de bobinagem (m/min)} \times \text{Aplicação lubrificante (\%)}}{\text{Massa linear (Nm)} \times \text{Atividade do lubrificante (\%)}}$$

(Eq. 4.3)

Os parâmetros são:

- Velocidade de bobinagem (m/min) - velocidade do fio durante a bobinagem (m/min);
- Aplicação lubrificante (%) - quantidade pretendida de lubrificante no fio (%);
- Massa linear (Nm) - massa linear do fio;
- Atividade lubrificante (%) - teor de matéria sólida do lubrificante utilizado (%) sendo o lubrificante utilizado 100% ativo.

Para estudar a influência da quantidade de lubrificante aplicado no coeficiente de atrito e posteriormente no processo de costura as amostras lubrificaram-se de modo a se obter uma quantidade pretendida de lubrificante de 1, 3 e 5%. Também se utilizaram amostras sem lubrificação neste estudo.

Como o sistema de lubrificação supracitado só permite a definição de uma casa decimal, os valores obtidos foram corrigidos. Para determinar a percentagem de lubrificante efetivamente aplicada calculou-se o aumento do peso (como percentagem do peso inicial), após a aplicação do lubrificante. Para tal, utilizou-se uma balança *Uwe HGS 300*, com uma capacidade de 300g e uma precisão de 0.01g. A expressão utilizada foi a seguinte:

$$\text{Aplicação Lubrificante Obtida (\%)} = \frac{(\text{PF} - \text{PI})}{\text{PI}} \times 100$$

(Eq. 4.4)



Onde:

- PF é o peso final (após aplicação do lubrificante);
- PI é o peso inicial (antes da aplicação do lubrificante).

O procedimento utilizado para a medição do coeficiente de atrito entre fios e materiais sólidos foi de acordo com a norma ASTM 3108:2007. De acordo com esta norma, fazendo passar o fio à volta de um objeto sólido, o coeficiente de atrito correspondente pode ser lido diretamente na escala do aparelho, calibrada de 0 a 1.

A escala do aparelho é calibrada em valores de coeficiente de atrito para um objeto de 25 mm de diâmetro. O uso de outros diâmetros pode efetuar-se com a aplicação de valores de correção tabelados. Esta norma baseia-se no aparelho inventado por *Buckle* e *Pollitt*, no qual as tensões atuam de tal forma que o coeficiente de atrito pode ser indicado por um apontador na escala [120].

Para a caracterização do coeficiente de atrito, das linhas/aço, foi utilizada uma peça cilíndrica em aço polido, com uma rugosidade de 4-6  $\mu\text{m}$ , com um diâmetro de 14.5 mm e uma velocidade de ensaio de 55 m/min. Para os resultados obtidos que segundo a norma utilizada para diâmetros inferiores a 25 mm e valores de atrito entre 0.10 – 0.15 a correção é a soma de 0.01.

### **Resistência e alongamento de rotura em seco, em molhado e em geometria de laçada.**

Na caracterização da resistência e alongamento de rotura em seco e molhado, a norma seguida foi a NP EN ISO 2062:1997. Em geometria de laçada, a norma seguida foi a BS 1932:1996 parte 2. Segundo esta, a relação da resistência de rotura em geometria de laçada é calculada dividindo a média da resistência de rotura de laçada por duas vezes a média da resistência de rotura. A partir da expressão de *Burtonwood e Chamberlain* (Eq. 3.9) calculou-se a eficiência de laçada para as diferentes amostras.

Para a caracterização da resistência e alongamento de rotura em molhado, as amostras foram submersas durante 10 minutos numa solução de água com 0.1% de um molhante não iónico. O molhante utilizado foi *Tinovetine JU* da *Ciba*. Os ensaios efetuaram-se imediatamente após a retirada das amostras, previamente submersas na solução.

Utilizou-se um dinamómetro *Hounsfield H10KS* e uma célula de medida da força com uma capacidade máxima de 100 N. Os valores obtidos para o módulo de elasticidade foram calculados pelo programa informático *Q-MAT*, entre 0.02 e 0.05% de alongamento.

#### **4.4 Variação da tensão na linha da agulha**

Na análise da variação das tensões geradas na linha da agulha utilizaram-se as diferentes amostras, com uma variação da quantidade pretendida de lubrificante de 1, 3 e 5%, e sem lubrificação. Na realização deste ensaio as únicas variáveis foram as diversas amostras de linhas de costura e com distintas quantidades de lubrificante. No sentido de estabelecer uma relação entre o sinal digital armazenado no ficheiro do computador e o valor correspondente em gramas, foi efetuada uma calibração para o sensor da linha de agulha descrito por Ferreira [75].

O sistema utilizado para a aquisição, armazenamento e análise dos ensaios efetuados é formado por um conjunto de dispositivos de aquisição de dados, nomeadamente, sensores extensómetros tipo *strain gauge*, sensores piezoelétricos, *encoders* (codificadores rotativos) digitais, *LVDT* (*Linear Variable Differential Transformer*) e *hardware* para condicionamento e processamento de sinais. Os dispositivos estão ligados a uma placa de aquisição de dados que se encontra instalada num computador. Um programa informático desenvolvido em *Labview* permite efetuar várias tarefas, nomeadamente [135] :

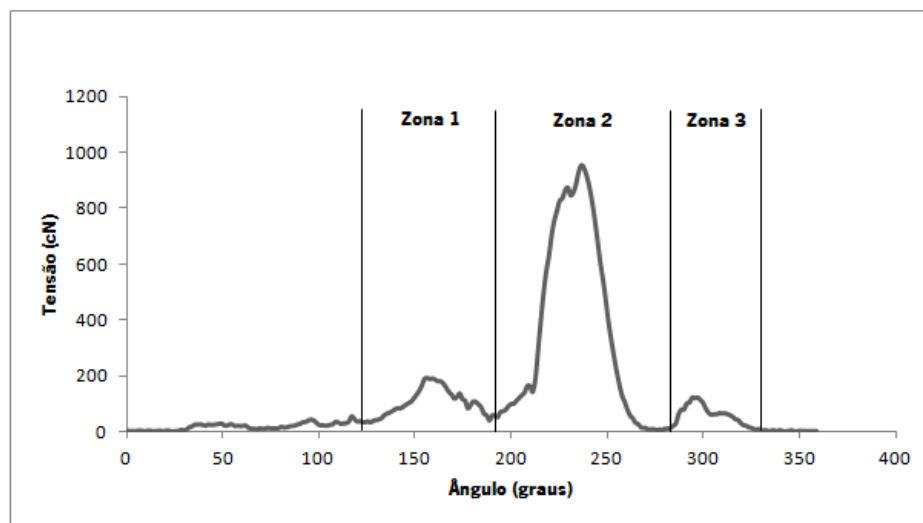
- Calibração de todos os dispositivos;
- Visualização em tempo real da representação gráfica dos resultados de cada um dos parâmetros em análise de cada ensaio;
- Possibilidade de exportação da informação sobre os sinais em formato de texto para folhas de cálculo para posterior análise estatística;
- Funções de processamento do sinal: filtragem digital, rotinas para extração de valores relevantes em cada sinal, representação gráfica em diferentes tipos de escalas;
- Funcionalidades, de estatística para avaliar mais rapidamente os resultados.

Os valores de tensão fornecidos por este sistema são em centinewtons, o que significa que os dados são a força exercida na linha da agulha, mas o termo comumente utilizado é “tensão na linha da agulha” e não a “força na linha da agulha”.

Efetuarão-se 10 ensaios em cada tipo de linha de costura e por cada quantidade pretendida de lubrificante numa camada de tecido de estrutura de sarja cujas propriedades se encontram na Tabela 5.27. A comparação foi efetuada em três zonas pré-determinadas que incluem os principais picos de tensão definidos na Figura 3.1. Em cada costura e por zona obtiveram-se 19 picos máximos de tensão.

As costuras efetuaram-se numa máquina de costura PFAFF 1183, a uma velocidade de 3000 R.P.M., com uma densidade de 3 pontos/cm e o ponto de costura selecionado foi o ponto preso 301. Utilizaram-se agulhas da GROZ-BECKERT de ponta redonda e número métrico 80 para as amostras 302FNT e 302CO, e de número métrico 100 para as amostras 303FT e 303CO. As restantes condições de costura foram mantidas constantes para as diferentes linhas de costura.

A Figura 4.2 apresenta uma ilustração da variação média da tensão na linha da agulha, durante um ciclo completo de costura na máquina de ponto preso. Para a análise dos resultados obtidos definiram-se 3 zonas do ciclo completo de costura (Figura 4.2).



**Figura 4.2** - Variação média da tensão na linha de agulha e zonas definidas num ciclo completo de costura na máquina de ponto preso

Comparando a Figura 4.2 com a Figura 3.1 visualiza-se que na zona 1 ocorre o pico 3, quando o freio começa o movimento ascendente. Na zona 2 ocorre o pico 4 e o pico 5, onde o arrastador empurra o tecido e quando o freio está na posição mais elevada. Nesta zona ocorre a tensão máxima gerada na linha da agulha. Na zona 3 ocorre o pico 1, onde a agulha penetra o material.

#### 4.5 Resistência das costuras

Para análise das propriedades dos tecidos utilizados com estrutura de sarja (Tabela 5.27) e estrutura de tafetá (Tabela 5.31), a norma utilizada foi a NP 4114:1991. Para a contextura foi a NP EN 1049-2:1995, para a massa linear da teia e trama foi a NP 4105:1991 e para a massa por unidade de superfície do tecido em gramas/m<sup>2</sup> foi a NP EN 12127:1999. O fator de cobertura foi calculado utilizando a expressão (Eq. 4.5).

Os provetes foram preparados no tecido com estrutura de sarja. As costuras foram efetuadas numa máquina de costura *PFAFF 1183*, a uma velocidade de 1500 R.P.M., com uma densidade de 5 pontos/cm e o ponto de costura selecionado foi o ponto preso 301. Utilizaram-se agulhas da GROZ-BECKERT de ponta redonda e número métrico 80 para as amostras 302FNT e 302CO, e de número métrico 100 para as amostras 303FT e 303CO. Subsequentemente prepararam-se 5 provetes por cada tipo de linha de costura e quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

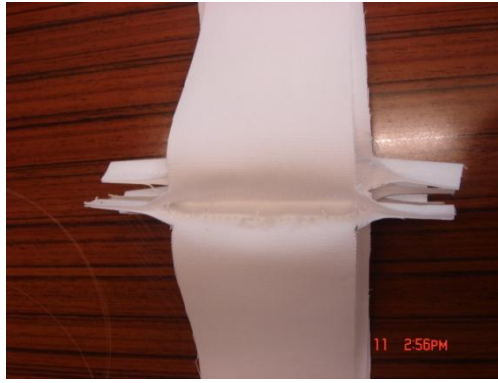
Com a velocidade utilizada, no processo de costura, pretendeu-se obter costuras retilíneas e com uma distância uniforme, a todo o comprimento da costura e relativamente à borda do tecido.

Para a realização dos ensaios foi aplicada a norma NP EN ISO 13935-1:2001, utilizou-se um dinamómetro Hounsfield H10KS e uma célula de medida de força com uma capacidade máxima de 5000 N.

A Figura 4.3 ilustra um provete montado nas maxilas do dinamómetro e na Figura 4.4 visualiza-se o provete com a costura rompida.



**Figura 4.3** - Proвете para ensaio da resistência à tração da costura no dinamómetro



**Figura 4.4** - Provete ensaiado na resistência à tração da costura

Para a determinação da eficiência da costura (Eq. 3.2) efetuaram-se ensaios de resistência à tração do tecido (o mesmo tecido utilizado nos ensaios de resistência da costura). A norma utilizada foi a NP EN ISO 13934-1:2001. Prepararam-se 5 provetes do tecido no sentido da teia (sentido utilizado no ensaio de resistência da costura).

Para clarificar se o fator de cobertura e a massa por unidade de superfície do tecido em estrutura de sarja influenciaram a resistência da costura e, conseqüentemente, a eficiência da costura, caracterizaram-se as propriedades da costura em 3 tipos de tecidos com estrutura tafetá e diferentes fatores de cobertura e massas por unidade de superfície. As costuras efetuaram-se da mesma forma, alternando-se somente a densidade de pontos de costura de 5 para 3 pontos/cm. A diminuição da densidade de pontos deveu-se ao facto dos tecidos serem muito leves, facilitando desta forma o seu manuseamento no processo de costura. Para a realização dos ensaios de resistência da costura a norma e o equipamento foram os mesmos. As restantes condições de costura foram mantidas constantes para as diferentes linhas de costura. O fator de cobertura ( $K_c$ ) calculou-se utilizando a seguinte expressão [124]:

$$K_c = K_1 + K_2 - \frac{K_1 + K_2}{28}$$

(Eq. 4.5)

O fator de cobertura da teia ( $K_1$ ) e da trama ( $K_2$ ) calcularam-se através das seguintes expressões:

$$K_1 = \frac{n_1}{\sqrt{N_1}} \quad K_2 = \frac{n_2}{\sqrt{N_2}}$$

(Eq. 4.6)

Onde:

- $n_1$  — fios por centímetro
- $N_1$  — tex da teia
- $n_2$  — passagens por centímetro
- $N_2$  — tex da trama

### **Resistência à abrasão**

Na caracterização da resistência à abrasão a norma seguida foi a BS 5690:1991, com um abrasímetro *Testrite* modelo *MARTINDALE*. Como desvio à norma utilizaram-se os provetes de tecido com costuras e não somente o tecido.

Os provetes foram preparados no tecido com estrutura de sarja. As costuras foram efetuadas numa máquina de costura *PFAFF 1183*, a uma velocidade de 1500 R.P.M., com uma densidade de 3 pontos/cm e o ponto de costura selecionado foi o ponto preso 301. Utilizaram-se agulhas da GROZ-BECKERT de ponta redonda e número métrico 80 para as amostras 302FNT e 302CO, e de número métrico 100 para as amostras 303FT e 303CO. As linhas de costura aplicadas foram as obtidas com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

Com a velocidade utilizada, no processo de costura, pretendeu-se obter costuras cuidadosamente separadas por 0.5 cm e expostas à abrasão durante a realização do ensaio. As costuras foram efetuadas numa camada de tecido, utilizando-se a mesma linha de costura na agulha e na bobina. As restantes condições de costura foram mantidas constantes para as diferentes linhas de costura.

Na medição da resistência à abrasão das costuras contabilizou-se o número de ciclos até à rotura do primeiro ponto, por paragem e visualização das costuras de 50 em 50 ciclos.

### **4.6 Propriedades mecânicas das linhas de costura após o processo de costura**

Este ensaio foi realizado com o objetivo de se medir a alteração das propriedades mecânicas, na linha da agulha, após o processo de costura.

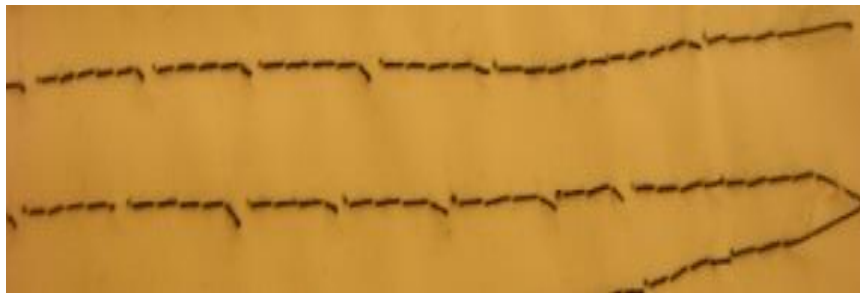
Os provetes foram preparados no tecido com estrutura de sarja. As costuras foram efetuadas numa máquina de costura *PFAFF 1183*, a uma velocidade de 4000 R.P.M., com uma densidade de 3 pontos/cm e o ponto de costura selecionado foi o ponto preso 301. Utilizaram-se agulhas da GROZ-BECKERT de ponta redonda e número métrico 80 para as amostras 302FNT e 302CO, e de

número métrico 100 para as amostras 303FT e 303CO. As linhas de costura aplicadas foram as obtidas com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

Com a velocidade utilizada, no processo de costura, pretendeu-se provocar alterações nas propriedades mecânicas das diferentes linhas de costura.

As costuras foram realizadas em duas camadas de tecido, empregando-se na laçadeira e em todas as costuras, uma linha de cor preta. Esta foi aplicada com o objetivo de facilitar a visualização da linha da bobina. Desta forma facilitou-se o corte, com ajuda de uma lâmina, da linha da bobina no intervalo de laçada da costura (Figura 4.5), sem correr risco de alterar as propriedades mecânicas da linha da agulha.

Retiraram-se cuidadosamente as linhas da laçadeira, com ajuda de uma pinça, para evitar alguma abrasão ou a perda de torção.



**Figura 4.5** - Provete para analisar as propriedades mecânicas após a costura

Para a caracterização da resistência de rotura das linhas de costura após o processo de costura, a norma seguida foi a NP EN ISO 2062:1997.

A alteração da resistência de costura (%) calculou-se utilizando a seguinte expressão [71]:

$$\text{Alteração da resistência de rotura (\%)} = \frac{R_1 - R_2}{R_2} \times 100$$

(Eq. 4.7)

Onde:

$R_1$  – resistência de rotura da linha após o processo de costura (N)

$R_2$  – resistência de rotura da linha antes do processo de costura (N)

#### 4.7 Caracterização morfológica

Para uma melhor interpretação dos resultados obtidos efetuaram-se microscopias eletrônicas de varrimento (SEM) nas amostras de linhas de costura. Nas amostras onde se efetuaram os ensaios de resistência de rotura antes e após o processo de costura e em geometria de laçada.

O equipamento empregue foi o *Pegasus X4M (EDS/EBSD)*, sendo as amostras revestidas com 30 Nm de filme de Au/Pd. As condições de obtenção de cada imagem estão definidas na parte inferior da própria imagem, e significam o seguinte:

- mag – amplitude;
- HFW – dimensão da imagem (mm ou  $\mu\text{m}$ );
- HV – potência do feixe (kV);
- Mode – SE (detetor de eletrões secundários);
- WD – distância de trabalho (mm).

#### 4.8 Tingimento em peça

Este ensaio tem como objetivo verificar as diferenças perceptíveis de cor, após o processo de tingimento em peça, entre os tecidos e as diversas linhas de costura.

Os provetes foram preparados no tecido com estrutura de sarja. Os provetes de tecidos foram costurados com as amostras 302FNT, 302CO, 303FT e 303CO. As costuras foram efetuadas numa máquina de costura doméstica *HUSQVARNA Viking H Class E10*. Foi aplicado o ponto de costura em ziguezague. As linhas de costura aplicadas foram as obtidas com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

O tecido utilizado de algodão não mercerizado é, geralmente empregue na confeção de calças. O ponto de costura utilizado teve como objetivo melhorar a perceção da cor das linhas de costura em relação à cor do tecido, após o processo de tingimento em peça. As costuras das diferentes linhas de costura foram efetuadas na mesma sequência a fim de facilitar a perceção de alguma diferença de cor. Subsequentemente foram preparados provetes só com as amostras 302FNT, 302CO e as linhas com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de algodão (302PA), para a visualização do efeito salpicado de cor mais claro, ou seja, da cor cru dos filamentos.

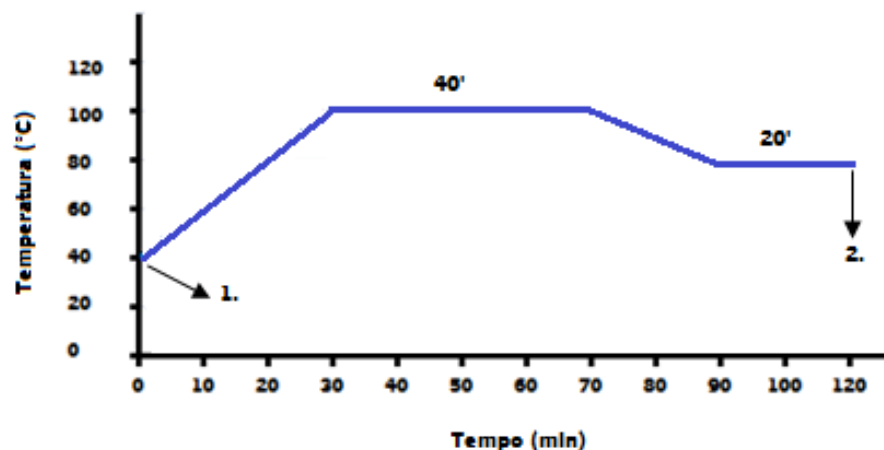


Os provetes foram ensaboados com o detergente *KIERALON OLB NEW* da *BASF* sem branqueador ótico (para não influenciar o tingimento da cor). O ensaboamento teve como objetivo remover impurezas, óleos, gorduras e ceras, produtos auxiliares e melhorar a absorção dos corantes por parte dos têxteis. Foi realizado durante 20 minutos em água à ebulição, com uma relação de banho 1:50 e uma solução de 2 g/l de detergente. No final as amostras enxaguaram-se em água corrente várias vezes.

Os corantes diretos utilizados no processo de tingimento em peça foram:

- *Sirius Brown RL* - Classe A da *DYSTAR*;
- *Sirius Red F3B* - Classe B da *DYSTAR*;
- *Sirius L Red Violet RL* - Classe A da *DYSTAR*;
- *Sirius Black VSF h/c* - Classe C da *DYSTAR* – corantes de alta afinidade que permitem verificar problemas de distribuição do corante e são, normalmente, de boa solidez à lavagem;
- *Sirius Turquoise S-FBL* - Classe A da *DYSTAR*.

Efetuararam-se os tingimentos com 0.1 e 0.5% de concentração de corante, com uma relação de banho 1:10 e com 5 g/l de sal. Os provetes foram tingidos num equipamento da *Datacolor AHIBA /R* e a uma velocidade de 30 rotações por minuto. A Figura 4.6 apresenta o processo de tingimento por esgotamento utilizado.



**Figura 4.6** - Processo de tingimento em peça por esgotamento

O corante e o sal foram adicionados no início (1.), sucedendo-se uma rampa de aquecimento com um gradiente de 2°C/min e mantendo-se o banho a uma temperatura de 100°C durante 40 minutos. Seguindo-se uma rampa de arrefecimento com um gradiente de 1°C/min e mantendo-se o banho a uma temperatura de 80°C durante 20 minutos. No final as amostras foram enxaguadas em água morna e várias vezes em água fria (2.).

#### **4.9 Tratamento estatístico dos resultados obtidos**

Os dados foram analisados estatisticamente com o apoio do programa estatístico *SPSS 18 para Windows*. Este é um poderoso sistema de análises estatísticas e manuseamento de dados, num ambiente gráfico, em que a utilização mais frequente, para a maioria das análises a efetuar se resume à seleção das respetivas opções em menus e caixas de diálogo. Contudo, o sistema dispõe de um editor de comandos, a que o utilizador mais avançado poderá recorrer a fim de realizar determinado tipo de análises mais complexas e elaboradas [136].

A análise da variância é uma metodologia estatística cujo objetivo é decidir se existem ou não diferenças significativas entre as variâncias de várias amostras de uma variável numérica, definidas por distintos tratamentos ou níveis de influência de um fator. Neste trabalho, foi aplicada a metodologia *ANOVA* para análise da variância que, de um modo resumido, calcula a variabilidade total existente na característica ou variável em análise. Esta variabilidade é devida, essencialmente a duas causas: determinista, que é o facto de se sujeitarem as amostras a tratamentos distintos (variabilidade entre tratamentos); aleatória ou erro experimental, que engloba todas as restantes fontes de variabilidade, com exceção de diferentes tratamentos (variabilidade residual ou erro experimental). Estas variabilidades são estimativas das variâncias (entre tratamentos e residual respetivamente). Isto é:

$$\text{Variabilidade Total} = \text{Variabilidade entre tratamentos} + \text{Erro experimental}$$

(Eq. 4.8)

A estatística de teste é a estatística  $F$ , que é uma razão entre variâncias, que sob o pressuposto de que as observações têm uma distribuição normal segue uma distribuição  $F$  de *Snedecor*.

$$F = \frac{\text{Variância entre Tratamentos}}{\text{Variância Residual}} \sim F_{(\alpha^1; g_{\text{num}}^2; g_{\text{den}}^3)}$$

(Eq. 4.9)

Se a estatística F é demasiado grande, então é porque a variância entre tratamentos é preponderante em relação à variância residual, isto é, os diferentes tratamentos a que a amostra foi sujeita conduz a resultados estatisticamente diferentes.

Na sequência de uma análise da variância em que se conclua que não existem diferenças significativas entre as médias dos diversos tratamentos em análise, faz-se um teste suplementar a fim de identificar quais são as médias estatisticamente diferentes, o teste utilizado, neste estudo foi *HSD-Tuckey* (Honestly Significant Difference). Este agrupa os tratamentos em grupos homogêneos, sendo o critério de agrupamento o facto de não existirem diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

---

<sup>1</sup> Nível de significância

<sup>2</sup> Graus de liberdade do numerador

<sup>3</sup> Graus de liberdade do denominador

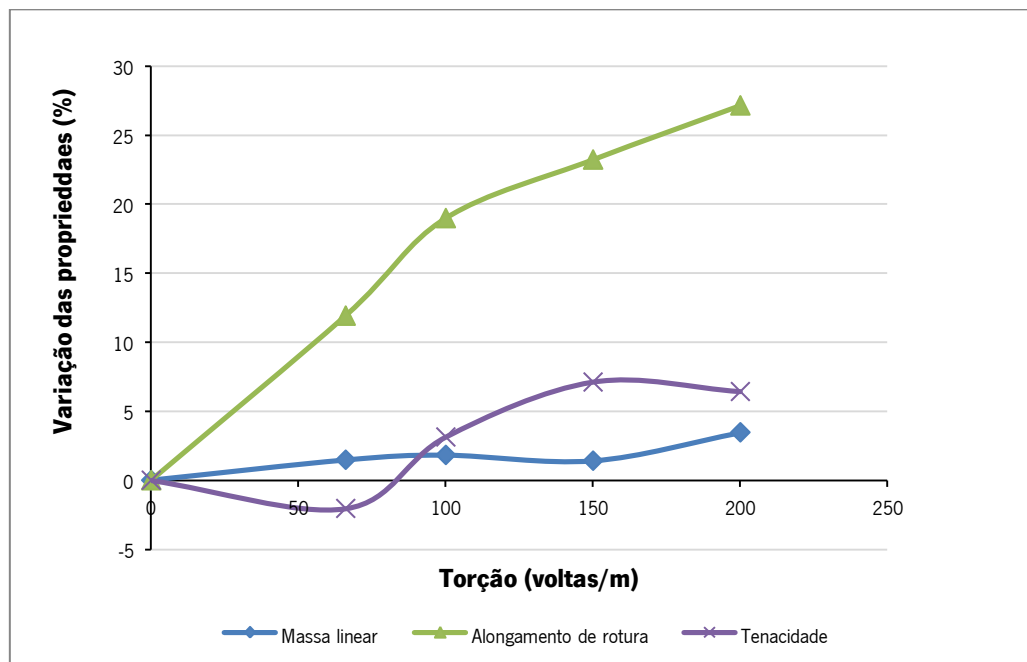


## CAPITULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Filamentos de *lyocell*

Os filamentos torcidos com 250 e 300 voltas/m foram rejeitados, uma vez que não apresentaram diferença estatisticamente significativa em termos de tenacidade, para uma probabilidade de 0.05, quando comparados com os filamentos torcidos com 200 voltas/m. Também torcem sobre o seu próprio eixo, impedindo a operacionalidade em termos têxteis.

Na Figura 5.1 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos com a variação do número de voltas por metros de torção efetuada no sentido S e Z respetivamente.



**Figura 5.1** - Propriedades físicas obtidas no sentido S

O valor mais elevado de tenacidade foi encontrado nas 150 voltas/m. Para valores superiores a 150 voltas/m de torção a tenacidade dos filamentos de *lyocell* diminui (Figura 5.1).

Em linhas de costura de fio, com alma ou de filamentos, as fibras presentes no fio não possuem adesão suficiente entre elas, portanto devem ser reforçadas pela torção. Na torção as fibras paralelas ao eixo do fio inclinam para um determinado ângulo à volta do mesmo, causando

um momento de torção. As fibras do exterior causam forças de compressão na direção das fibras do núcleo, conduzindo a uma maior coesão entre as fibras no fio e, portanto a um reforço do fio.

A partir das 150 voltas/m o momento de torção e as forças de compressão aumentaram. Este aumento provocou forças transversais na estrutura do fio, o que se refletiu numa deformação do fio e, em consequência, numa redução da tenacidade e num aumento do alongamento de rotura [104].

## **5.2 Propriedades físicas das linhas de costura**

Por falta de material produziram-se 3 amostras de 302FNT (linhas com alma de filamentos *lyocell* sem torção recobertos por fibras de algodão com uma massa linear 30/2 Ne). Efetuou-se uma análise da variância a um fator (*ANOVA*) às 10 amostras de cada tipo das restantes linhas de costura.

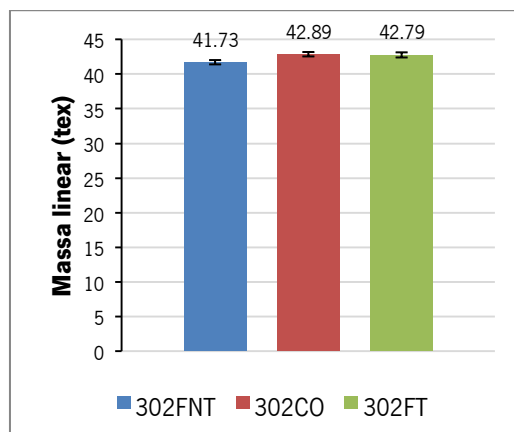
Constatou-se que em termos de tenacidade não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre elas, para uma probabilidade associada de 0.05. Desta forma selecionaram-se 3 amostras de cada tipo de linhas de costura. Como fator de decisão selecionaram-se as amostras com valores de tenacidade mais elevados, e por serem suficientes na caracterização das restantes propriedades.

No decorrer desta investigação constatou-se que a torção dos filamentos de *lyocell*, anteriormente à operação de recobrimento, prejudicou as propriedades mecânicas das linhas de costura, verificando-se uma diminuição da tenacidade e do módulo inicial. Desta forma não se caracterizaram algumas propriedades das amostras 302FT (linhas com alma de filamentos *lyocell* torcidos com 150 voltas/m no sentido S e recobertos por fibras de algodão com uma massa linear 30/2 Ne).

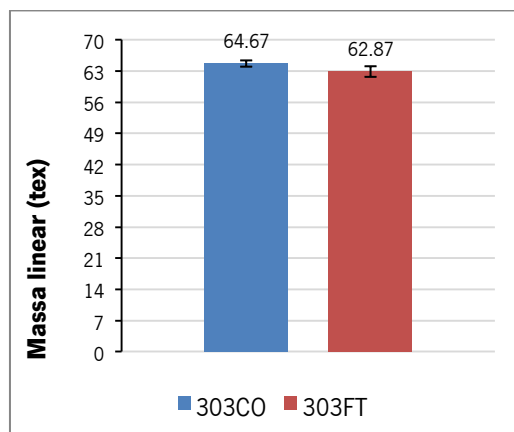
Prosseguiu-se a investigação com as restantes amostras 302FNT, 303FT (linhas com alma de filamentos *lyocell* torcidos com 150 voltas/m no sentido S e recobertos por fibras de algodão com uma massa linear 30/3 Ne) e as 302CO e 303CO (linhas de costura de fio de algodão com uma massa linear 30/2 e 30/3 Ne respetivamente).

### 5.2.1 Massa linear

Na Figura 5.2 e na Figura 5.3 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos em relação à massa linear, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.



**Figura 5.2** – Comparação da massa linear das amostras com 2 cabos



**Figura 5.3** – Comparação da massa linear das amostras com 3 cabos

Nas linhas de costura torcidas a 2 cabos o valor mais baixo encontra-se nas amostras 302FNT. Para as torcidas a 3 cabos o comportamento é muito similar às de 2 cabos, obtendo-se o valor mais baixo de massa linear nas amostras 303FT. A massa específica da fibra de *lyocell* é de 1.52 g/cm<sup>3</sup> [137] igual à massa específica da fibra de algodão [138]. Logo, os valores inferiores de

massa linear encontrados nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão podem ser atribuídos aos diferentes processos de fiação.

### 5.2.2 Torção

Na Figura 5.4 e na Figura 5.5 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos em relação à torção, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

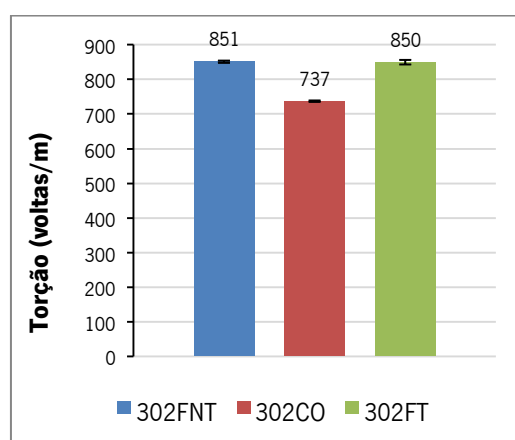


Figura 5.4 – Comparação da torção das amostras com 2 cabos

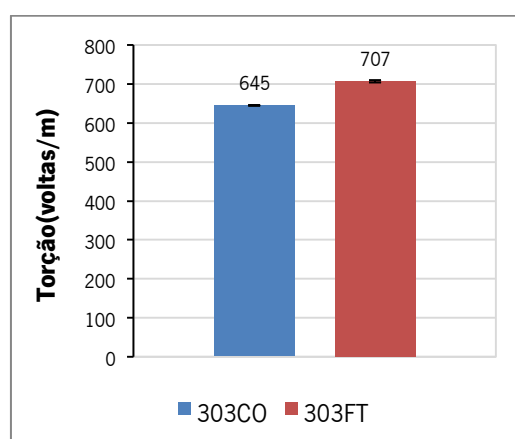


Figura 5.5 – Comparação da torção das amostras com 3 cabos

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à torção entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 2; 57)}$  (anexo 3). Com a aplicação do teste de



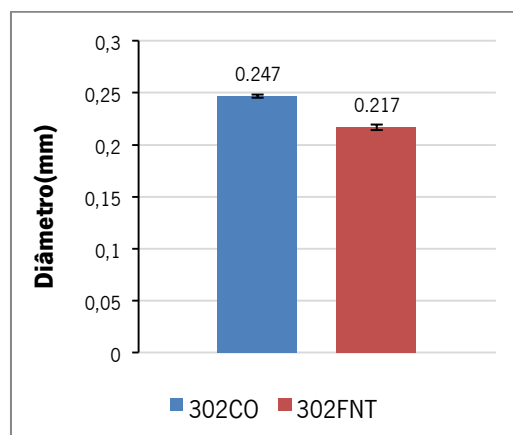
*Tuckey* constata-se que as médias, das 3 amostras de cada tipo de linha de costura, estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 3). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação à torção entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à torção entre as amostras 302FT, 302FNT e 302CO, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 8; 171)}$ . Entre as amostras 303FT e 303CO verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 114)}$  (anexo 3). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em relação à torção entre as amostras 302FT, 302FNT e 302CO e as entre amostras 303FT e 303CO. As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão apresentam uma torção final superior às linhas de costura de fio de algodão.

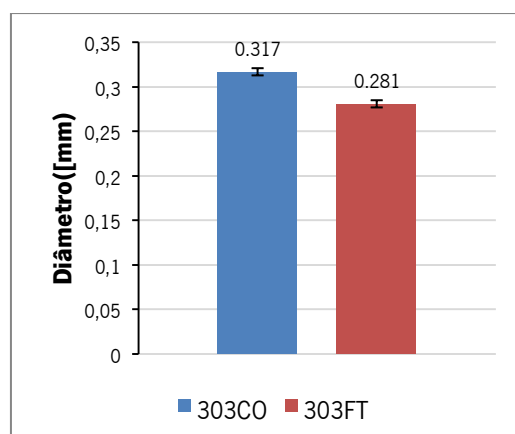
A torção simples dos fios singelos com alma é normalmente superior à dos fios singelos de fibras de algodão. Desta forma obtém-se uma coesão adequada das fibras de recobrimento com a alma, de maneira a minimizar o deslizamento das mesmas. A torção final é equilibrada de maneira a eliminar o encrespamento, e portanto se a torção simples é superior a torção final também é superior.

### 5.2.3 Diâmetro

Na Figura 5.6 e na Figura 5.7 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos em relação ao diâmetro, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.



**Figura 5.6** – Comparação do diâmetro das amostras com 2 cabos



**Figura 5.7** – Comparação do diâmetro das amostras com 3 cabos

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao diâmetro entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 2; 27)}$  (anexo 4). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias, das 3 amostras de cada tipo de linha de costura, estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 4). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação ao diâmetro entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao diâmetro entre as amostras 302FNT e 302CO e entre as amostras 303FT e 303CO, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 54)}$  (anexo 4). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em relação ao diâmetro entre as amostras 302FNT e 302CO e entre as amostras 303FT e 303CO. Desta forma as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão apresentam um diâmetro inferior em comparação com as linhas de costura de fio de algodão. Este facto deve-se essencialmente aos valores de torção serem superiores, o que aumenta a coesão entre as fibras diminuindo o diâmetro das linhas de costura. Porém, o diâmetro é influenciado por outros fatores como o comprimento e finura da fibra, o processo de fiação e as condições de tensão e compressão em diferentes processos.

#### **5.2.4 Irregularidade, imperfeições e pilosidades**

Na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2 são apresentados os resultados obtidos em relação regularidade *Uster*, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

**Tabela 5.1** – Regularidade Uster das amostras com 2 cabos

Propriedade	Unidade	302FNT	302CO
<b>Irregularidade (1000 metros)</b>	(Um %)	6.85	7.27
<b>Pontos Finos (1000 metros)</b>	(-50%)	0	0
<b>Pontos Grossos (1000 metros)</b>	(+50%)	0	2
<b>Neps (1000 metros)</b>	(+200%)	3	6
<b>Pilosidade (1000 metros)</b>	-	6.87	3.34

**Tabela 5.2** – Regularidade Uster das amostras com 3 cabos

Propriedade	Unidade	303FT	303CO
<b>Irregularidade (1000 metros)</b>	(Um %)	5.62	6.60
<b>Pontos Finos (1000 metros)</b>	(-50%)	0	0
<b>Pontos Grossos (1000 metros)</b>	(+50%)	0	1
<b>Neps (1000 metros)</b>	(+200%)	1	2
<b>Pilosidade (1000 metros)</b>	-	7.43	3.44

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), para todos os parâmetros estudados entre as diferentes linhas de costura, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 1; 4)}$  (anexo 5). Com a aplicação do teste de *Tuckey* (anexo 5) constata-se que as médias, das amostras 302FNT e 302CO e das amostras 303FT e 303CO, estão agrupadas no mesmo grupo homogéneo. Excetua-se a pilosidade (H) em todas as amostras e irregularidade (Um%) para as amostras torcidas com 3 cabos. Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em termos de irregularidade e em relação às imperfeições (pontos grossos e neps), mas as linhas de costura de fio de algodão apresentam valores superiores.

As linhas com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão apresentam-se mais regulares em termos de massa linear e ao longo do seu comprimento, o que poderá ser atribuído a diferenças no processo de fiação. Em termos de pilosidade apresentam-se com valores superiores. Esta diferença deve-se, essencialmente, ao facto de as linhas de costura de fio de algodão passarem por um processo de gasagem ao contrário das linhas de costura com alma. A gasagem quando aplicada às linhas de costura elimina as pilosidades à sua volta, produzindo assim uma superfície lisa [106].

### 5.2.5 Estabilidade dimensional

Na Tabela 5.3 e na Tabela 5.4 são apresentados os resultados obtidos em relação ao encolhimento à ebulição, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

**Tabela 5.3** - Encolhimento à ebulição das amostras com 2 cabos

Encolhimento em Água à Ebulição (%)					
Amostras	A (mm)	B (mm)	DP	CV (%)	Encolhimento (%)
302C03	49.8	48.6	<b>0.057</b>	<b>0.12</b>	<b>2.34</b>
302C04	49.8	48.7			
302C09	49.8	48.6			
<b>Média</b>	<b>49.8</b>	<b>48.6</b>			
302FNT1	49.8	49.1	<b>0,029</b>	<b>0.06</b>	<b>1.44</b>
302FNT2	49.8	49.05			
302FNT3	49.8	49.1			
<b>Média</b>	<b>49.8</b>	<b>49.1</b>			

**Tabela 5.4** - Encolhimento à ebulição das amostras com 3 cabos

Encolhimento em Água à Ebulição (%)					
Amostras	A (mm)	B (mm)	DP	CV (%)	Encolhimento (%)
303C03	49.8	48.4	<b>0.057</b>	<b>0.12</b>	<b>2.74</b>
303C05	49.8	48.5			
303C09	49.8	48.4			
<b>Média</b>	<b>49.8</b>	<b>48.4</b>			
303FT9	49.8	49.1	<b>0.029</b>	<b>0.06</b>	<b>1.44</b>
303FT10	49.8	49.1			
303FT11	49.8	49.05			
<b>Média</b>	<b>49.8</b>	<b>49.1</b>			

Em termos de estabilidade dimensional em água à ebulição, constata-se que as linhas com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão tiveram um encolhimento menor do que as linhas de costura de fio de algodão. Este facto deve-se a duas razões principais. Por um lado as fibras de *lyocell* em húmido incham, mas depois de secarem recuperam praticamente o seu diâmetro inicial, existindo também uma diminuição irrecuperável do comprimento das fibras, ou seja, um encolhimento [42]. Por outro lado o menor encolhimento em húmido que se verifica no *lyocell*, é devido a este possuir um módulo de elasticidade superior ao algodão [39]. Os

filamentos de *lyocell* funcionam como alma da linha de costura e são responsáveis pela maior estabilidade dimensional em condições húmidas, em comparação com as linhas de costura de fio de algodão.

O algodão em estado húmido incha, aumentando o diâmetro e diminuindo o comprimento. O inchamento induzido durante a mercerização provoca alterações na morfologia da fibra que incluem a deconvolução, a diminuição do tamanho do lúmen e uma secção transversal mais circular [17]. A Tabela 3.5 apresenta um encolhimento entre 4 e 8% para as linhas de fio de algodão em água à ebulição. Nos resultados obtidos nas linhas de costura de algodão este encolhimento foi entre 2.5 e 3%, sendo justificado pelo facto de as linhas de costura de algodão serem de qualidade mercerizado.

Em termos de estabilidade dimensional e, nomeadamente, em relação ao encolhimento ao calor a seco a 180°C, todas as linhas de costura mantiveram a sua condição inicial uma vez que não existiu encolhimento. Uma explicação para este facto é que as fibras de *lyocell* apresentam uma temperatura inicial de degradação entre os 305 e 315°C [42]. As fibras de algodão decompõem-se antes de fundir e a degradação por ação do calor apresenta-se acima dos 180°C, a autoignição aos 400°C e a carbonização aos 430°C [139]. No entanto, em temperaturas acima dos 200°C encontram-se à beira da decomposição térmica e do início da despolimerização. Acima dos 140°C a resistência de rotura e a viscosidade diminuem. Logo, observa-se uma descoloração distinta começando por um amarelecimento que se transforma num tom acastanhado à medida que a decomposição térmica evolui [17].

A Tabela 5.5 apresenta as propriedades físicas, das linhas de costura analisadas nesta investigação.

**Tabela 5.5** - Propriedades físicas das linhas de costura

<b>Propriedade</b>	<b>Unidade</b>	<b>302FNT</b>	<b>302CO</b>	<b>303FT</b>	<b>303CO</b>
<b>Massa Linear</b>	(tex)	41.73	42.89	62.87	64.67
<b>Diâmetro</b>	(mm)	0.217	0.247	0.281	0.317
<b>Irregularidade (1000 metros)</b>	(Um %)	6.85	7.27	5.62	6.60
<b>Pontos Finos (1000 metros)</b>	(-50%)	0	0	0	0
<b>Pontos Grossos (1000 metros)</b>	(+50%)	0	2	0	1
<b>Neps (1000 metros)</b>	(+200%)	3	6	1	2
<b>Pilosidade (1000 metros)</b>	-	6.87	3.34	7.43	3.44
<b>Torção</b>	(voltas/m)	851	737	707	645
<b>Encolhimento em Agua à Ebulição</b>	(%)	1.44	2.34	1.44	2.74
<b>Encolhimento ao Calor Seco a 180 °C</b>	(%)	0	0	0	0

### 5.3 Propriedades mecânicas das linhas de costura

#### 5.3.1 Resistência e alongamento de rotura e tenacidade

A Figura 5.8 apresenta as curvas típicas tenacidade - alongamento, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

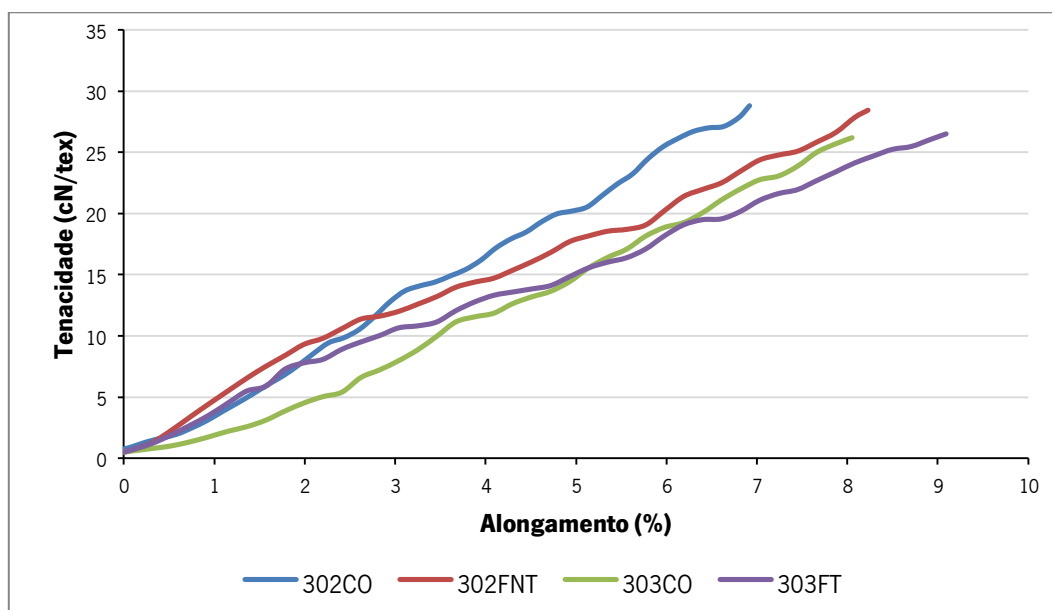
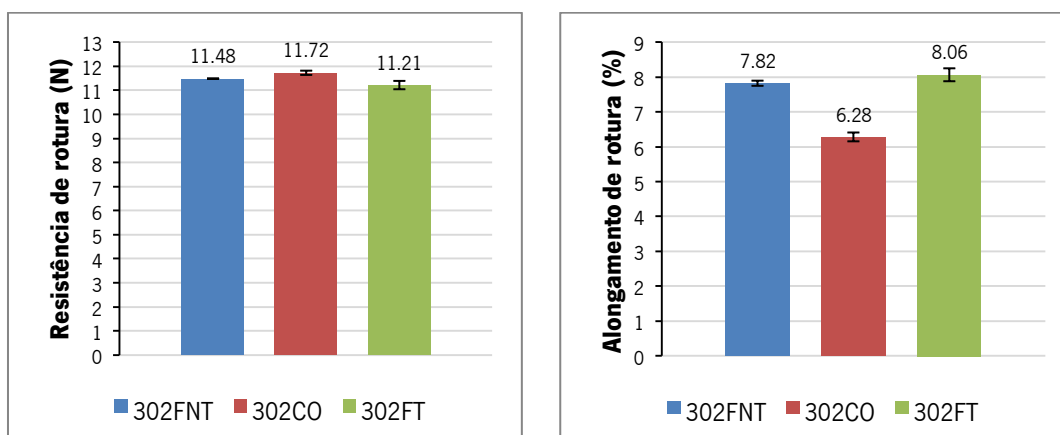
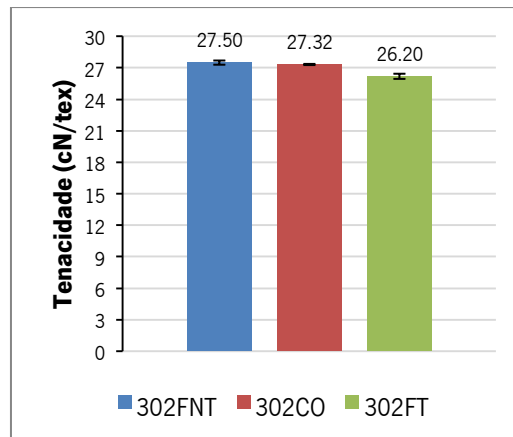


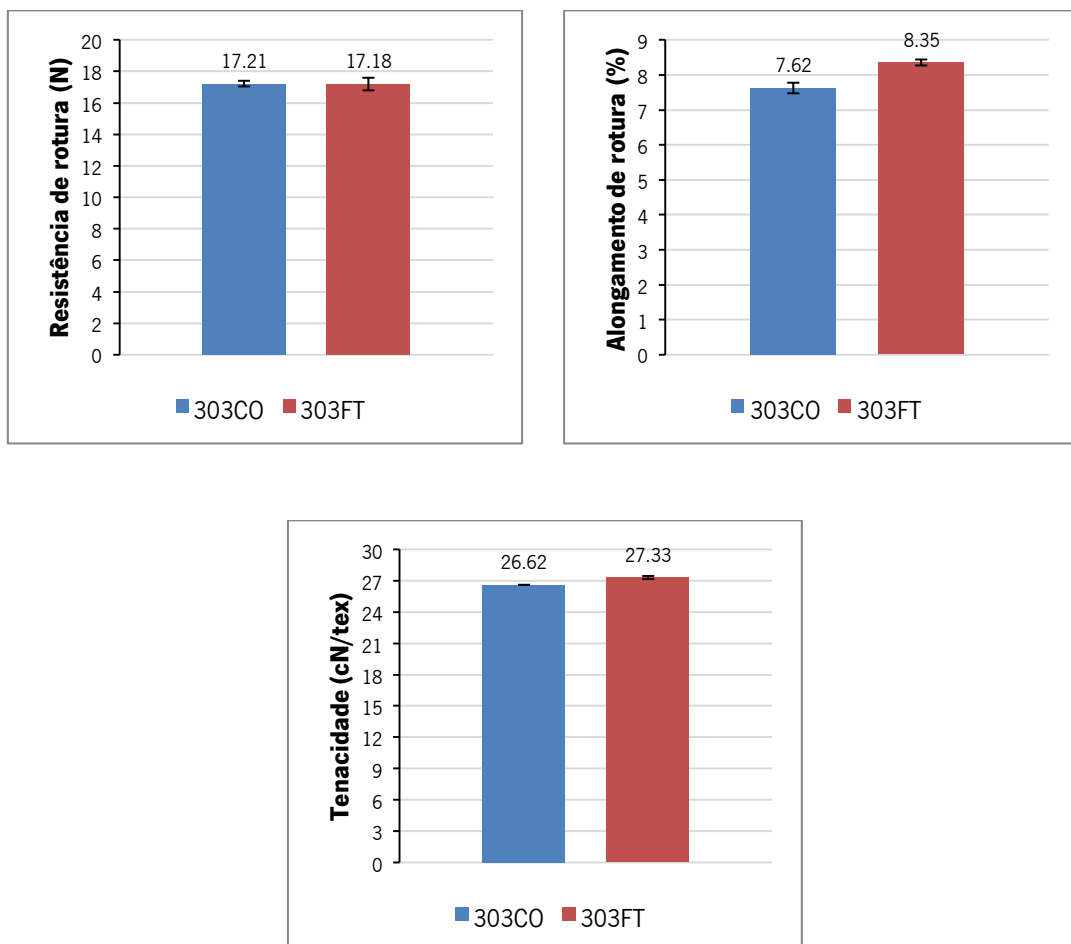
Figura 5.8 - Curvas típicas tenacidade-alongamento

Na Figura 5.9 e na Figura 5.10 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos em relação à resistência e alongamento de rotura e à tenacidade, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.





**Figura 5.9** – Comparação da resistência e alongamento de rotura e tenacidade nas amostras com 2 cabos



**Figura 5.10** – Comparação da resistência e alongamento de rotura e tenacidade nas amostras com 3 cabos

Nas amostras torcidas com 2 cabos, as linhas com alma de filamentos *lyocell* singelos ou sem torção recobertos por fibras de algodão (302FNT) apresentaram o valor mais elevado de

tenacidade, seguido das linhas de costura de fio de algodão (302CO) e o valor inferior obteve-se nas linhas com alma de filamentos *lyocell* torcidos com 150 voltas/m no sentido S e recobertos por fibras de algodão (302FT). Nas torcidas com 3 cabos, as linhas com alma de filamentos *lyocell* torcidos com 150 voltas/m no sentido S e recobertos por fibras de algodão (303FT) apresentam o valor de tenacidade mais elevado e inferior nas linhas de costura de fio de algodão (303CO).

Relativamente ao alongamento de rotura e nas amostras torcidas com 2 cabos, o valor mais elevado obteve-se nas amostras 302FT, seguido das 302FNT e o inferior nas 302CO. Nas amostras torcidas com 3 cabos o valor mais elevado encontrou-se nas amostras 303FT e o inferior nas 303CO.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à tenacidade entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 2; 57)}$  (anexo 6). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias, das 3 amostras de cada tipo de linha de costura, estão agrupadas no mesmo grupo homogéneo (anexo 6). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação à tenacidade entre as 3 amostras de cada tipo de linha de costura.

Em relação à resistência de rotura conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa entre as 3 amostras 303FT, pois  $F_{obs} > F_{(0.05; 2; 57)}$ . Com a aplicação do teste de *Tuckey* verifica-se que as médias não estão agrupadas no mesmo grupo homogéneo (anexo 6). A média da amostra 303FT10 possui um valor inferior e é agrupada num grupo diferente das médias das amostras 303FT9 e 303FT11. Verifica-se o mesmo resultado em relação à massa linear (Tabela 5.6).

**Tabela 5.6** - Análise das médias para a massa linear das amostras 303FT

<i>Tuckey HSD</i>	N	Massa linear (tex)	
		$\alpha=0.05$	
		1	2
<b>303FT10</b>	20	61.5	
<b>303FT11</b>	20		63.4
<b>303FT9</b>	20		63.7

A resistência de rotura da amostra 303FT10 é mais baixa devido ao facto de a massa linear ser mais baixa, e para uma mesma estrutura de fios quanto mais baixa for a massa linear menor será



a sua resistência de rotura. A diferença da massa linear pode ter origem no processo de fiação, pois em relação à torção e ao diâmetro (anexo 3 e anexo 4) não se constatou diferença estatisticamente significativa entre a amostra 303FT10 e as amostras 303FT9 e 303FT11.

A Tabela 5.7 apresenta a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e alongamento de rotura e para os valores de tenacidade mais elevados, entre as amostras 302FT e 302FNT.

**Tabela 5.7** - Análise da variância a um fator (*ANOVA*) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FT e 302FNT

Amostras	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		F <sub>(0.05; 5; 114)</sub>
	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	
<b>302FNT - 302FT</b>	4.99	<0.001	6.58	<0.001	15.25	<0.001	2.17

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), entre as amostras 302FT e as 302FNT, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 114)}$  (Tabela 5.7). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa nas propriedades estudadas. O facto dos filamentos nas amostras 302FT serem torcidos no sentido S e se efetuar uma nova torção no mesmo sentido durante a operação de recobrimento, aumentou o momento de torção destas amostras, provocando uma perda de tenacidade e um aumento do alongamento de rotura. Ao torcer, as fibras paralelas ao eixo do fio inclinam para um determinado ângulo à volta do mesmo, o que causa um momento de torção. Um aumento da torção causa um elevado momento de torção. Consequentemente existe um aumento das forças de compressão das fibras do exterior na direção das fibras do núcleo, o que provoca forças transversais na estrutura do fio. Refletindo-se numa deformação do fio, e em consequência numa redução da tenacidade, do módulo de elasticidade e num aumento do alongamento de rotura [104]. Perante os resultados obtidos decidiu-se pela não continuação da análise das propriedades das amostras 302FT, pois a torção dos filamentos influenciou negativamente as propriedades mecânicas.

A Tabela 5.8 apresenta a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e alongamento de rotura e para os valores de tenacidade mais elevados, entre as amostras 302FNT e as 302CO.

**Tabela 5.8** - Análise da variância a um fator (*ANOVA*) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FNT e 302CO.

Amostras	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		F <sub>(0.05; 5; 114)</sub>
	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	
<b>302FNT – 302CO</b>	2.89	0.017	131.71	<0.001	0.682	0.638	2.17

A Tabela 5.9 apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre as amostras 302FNT e as 302CO.

**Tabela 5.9** - Análise das médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 302FNT e 302CO

<i>Tuckey HSD</i>	N	Tenacidade (cN/tex)	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$		$\alpha=0.05$	
		1	1	2	1	2
<b>302C03</b>	20	27.26		11.82	6.23	
<b>302C09</b>	20	27.36	11.69	11.69	6.18	
<b>302C04</b>	20	27.36	11.65	11.65	6.42	
<b>302FNT2</b>	20	27.35	11.47	11.47		7.90
<b>302FNT3</b>	20	27.43	11.49	11.49		7.76
<b>302FNT1</b>	20	27.73	11.47			7.80
<b>p-value</b>		0.734	0.434	0.052	0.184	0.764

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à tenacidade entre as amostras 302FNT e as 302CO, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 5; 114)}$  (Tabela 5.8). Com a aplicação do teste de *Tuckey* conclui-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (Tabela 5.9). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em termos de tenacidade entre as amostras 302FNT e as 302CO.

Em termos de alongamento de rotura verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 114)}$  e as médias não estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo. Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em termos de alongamento de rotura entre as amostras 302FNT e as 302CO. Os valores superiores de alongamento de rotura nas amostras torcidas com 2 cabos, das linhas de

costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão em relação às linhas de costura de fio de algodão, são pelo facto de serem duas estruturas diferentes. Nas linhas com alma o alongamento de rotura depende, principalmente, da alma de filamentos. Estes são os responsáveis pelo maior alongamento de rotura pois o *lyocell* é uma fibra artificial que apresenta um maior alongamento de rotura relativamente ao algodão (Tabela 2.2).

A Tabela 5.10 apresenta a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e alongamento de rotura e para os valores de tenacidade mais elevados, entre as amostras 303FT e 303CO.

**Tabela 5.10** - Análise da variância a um fator (*ANOVA*) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 303FT e 303CO

Amostras	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		F <sub>(0.05; 5; 114)</sub>
	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	
<b>303FT – 303CO</b>	2.95	0.015	27.08	<0.001	2.15	0.034	2.17

A Tabela 5.11 apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre as amostras 303FT e as 303CO.

**Tabela 5.11** - Análise das médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre 303FT e 303CO

<i>Tuckey HSD</i>	N	Tenacidade (cN/tex)	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$		$\alpha=0.05$	
		1	1	2	1	2
<b>303C09</b>	<b>20</b>	26.62		17.41	7.64	
<b>303C05</b>	<b>20</b>	26.62	17.04	17.04	7.76	
<b>303C03</b>	<b>20</b>	26.62	17.20	17.20	7.46	
<b>303FT10</b>	<b>20</b>	27.22	16.74			8.27
<b>303FT11</b>	<b>20</b>	27.27	17.29	17.29		8.34
<b>303FT9</b>	<b>20</b>	27.50		17.52		8.44
<b>p-value</b>		0.141	0.170	0.302	0.097	0.630

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à tenacidade entre as amostras 303FT e as 303CO, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 5; 114)}$  (Tabela 5.10). Com a aplicação do teste de *Tuckey* contacta-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogéneo (Tabela 5.11). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em termos de tenacidade entre as amostras 303FT e as 303CO.

Em termos de alongamento de rotura verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 114)}$  e as médias não estão agrupadas no mesmo grupo homogéneo. Este facto deve-se pelas mesmas razões apontadas nas amostras torcidas com 2 cabos.

Verificou-se perda de tenacidade nas amostras 302FT e o mesmo fenómeno não se constatou nas amostras 303FT. Nestas amostras foram aplicados filamentos de *lyocell* torcidos com 150 voltas/m. Este facto pode ser justificado pelo fator de torção, pois na Figura 3.5 verifica-se que o fator de torção para um 30 Ne, para posterior retorção a 3 cabos, é aproximadamente 125 e para posterior retorção a 2 cabos é aproximadamente 145. Aplicando a expressão (Eq. 3.8), temos uma torção simples de 794 voltas/m no fio para retorcer a 2 cabos e 685 voltas/m no fio para retorcer a 3 cabos. O valor de torção para retorcer a 2 cabos é superior ao valor de torção para retorcer a 3 cabos, e com aumento da torção aumenta o momento de torção e conseqüentemente diminui a tenacidade. Conclui-se que a torção, nos fios singelos para retorcer a 2 cabos nas amostras 302FT, atingiu um valor crítico a partir do qual a tenacidade diminui, contrariamente às amostras 303FT.

A Tabela 3.6 apresenta, para as linhas de costura de fio de algodão, um alongamento de rotura que pode variar entre 5 e 8% e uma tenacidade que pode variar ente 23 e 28 cN/tex. Os valores obtidos de 6.28 e de 7.62%, em relação ao alongamento de rotura, e de 27.32 e de 26.62 cN/tex em relação à tenacidade, nas amostras 302CO e 303CO respetivamente, encontram-se de acordo com os valores teoricamente apresentados.

### **5.3.2 Módulo de elasticidade**

Na Tabela 5.12 e na Tabela 5.13 são apresentados os resultados obtidos em relação ao módulo de elasticidade, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

**Tabela 5.12** - Módulo de elasticidade das amostras com 2 cabos

<b>Módulo de Elasticidade <math>E_0</math> (N/tex)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>302FNT</b>	4.42	0.27	6.11
<b>302FT</b>	3.85	0.19	4.94
<b>302CO</b>	4.13	0.23	5.57

**Tabela 5.13** – Módulo de elasticidade das amostras com 3 cabos

<b>Módulo de Elasticidade <math>E_0</math> (N/tex)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>303FT</b>	3.59	0.14	3.90
<b>303CO</b>	2.81	0.17	6.05

A Tabela 5.14 apresenta a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao módulo de elasticidade.

**Tabela 5.14** - Análise da variância a um fator (*ANOVA*) do módulo de elasticidade

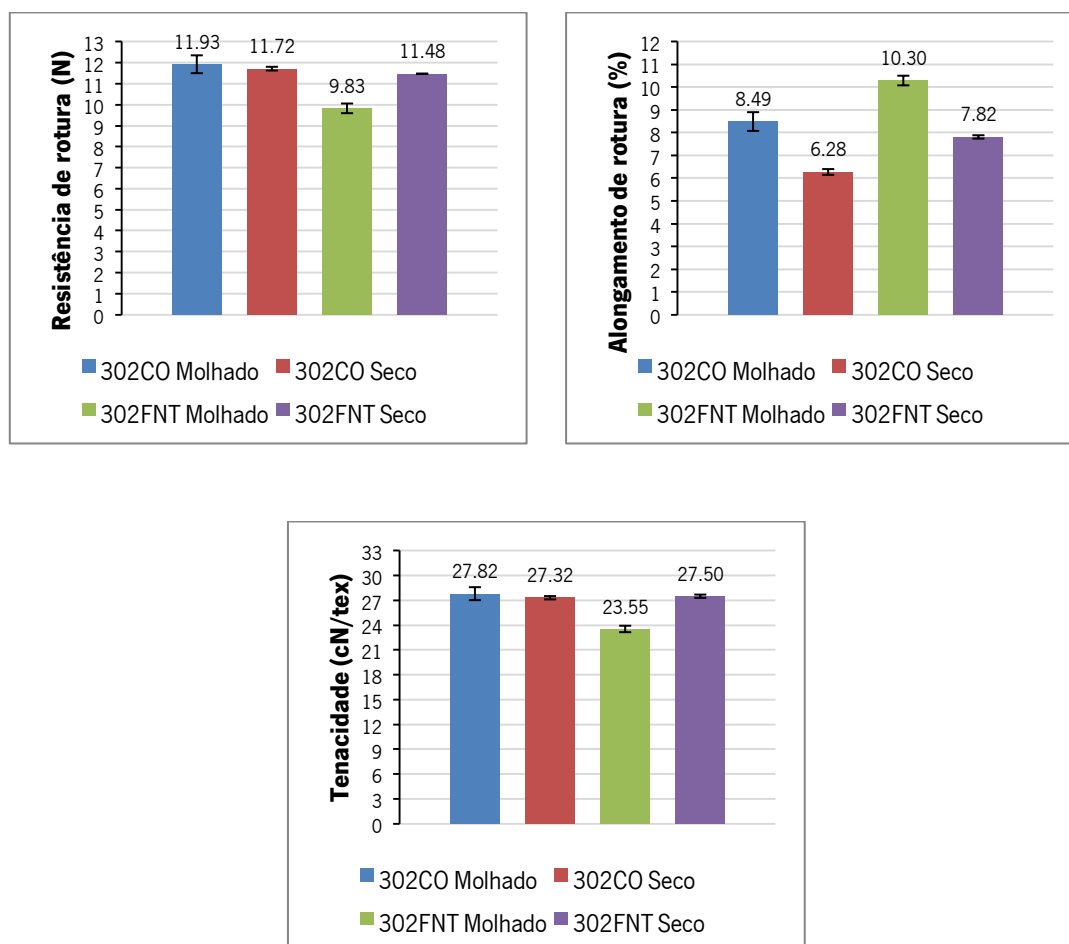
<b>Módulo de Elasticidade <math>E_0</math> (N/tex)</b>			
<b>Amostras</b>	<b><math>F_{obs}</math></b>	<b>p-value</b>	<b><math>F_{(0.05; 1; 38)}</math></b>
<b>302FT - 302FNT</b>	56.7	<0.001	4.10
<b>302FNT - 302CO</b>	12.5	0.001	4.10
<b>303FT - 303CO</b>	248.6	<0.001	4.10

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao módulo de elasticidade entre todas as comparações efetuadas, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 1; 38)}$  (Tabela 5.14). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em termos módulo de elasticidade, entre as amostras 302FT, 302FNT e as 302CO, e entre as amostras 303FT e as 303CO. O módulo de elasticidade das linhas de costura com alma de filamentos *lyocell* singelos ou sem torção recobertos por fibras de algodão (302FNT) apresentou um valor superior comparado com o das linhas com alma de filamentos *lyocell* torcidos com 150 voltas/m no sentido S e recobertos por fibras de algodão. Este resultado confirmou o que tinha sido referido no ponto 5.3.1, ou seja, um aumento do número de voltas de torção diminui o módulo de elasticidade. Deste modo, a torção dos filamentos, anterior à operação de recobrimento, influencia negativamente as propriedades mecânicas dos fios.

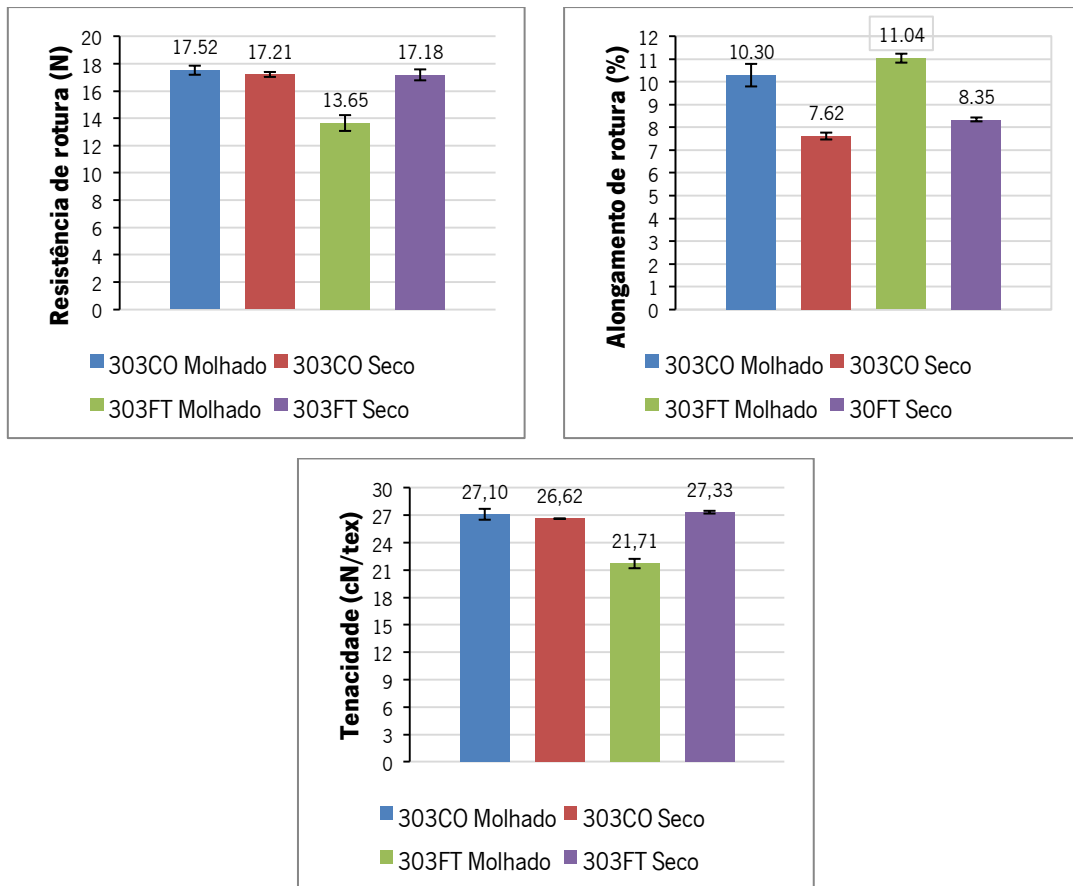
Constata-se que os valores do módulo de elasticidade são superiores nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT), quando comparados com as linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO). Este facto deve-se à alma ser constituída por filamentos de *lyocell*, pois apresenta um módulo de elasticidade superior ao algodão [39].

### 5.3.3 Resistência e alongamento de rotura e tenacidade em molhado

Na Figura 5.11 e na Figura 5.12 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos (anexo 7) em relação à resistência e alongamento de rotura e à tenacidade no estado molhado e no estado seco, das amostras seleccionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.



**Figura 5.11** - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre o estado seco e molhado, nas amostras com 2 cabos



**Figura 5.12** - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre o estado seco e molhado, nas amostras com 3 cabos

A Tabela 5.15 apresenta a análise da variância a um fator (*ANOVA*), entre o estado seco e o estado molhado, em relação à resistência e alongamento de rotura e tenacidade.

**Tabela 5.15** - Análise da variância a um fator (*ANOVA*) da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre estado seco e molhado

Amostras	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		$F_{(0.05; 5; 114)}$
	$F_{obs}$	p-value	$F_{obs}$	p-value	$F_{obs}$	p-value	
<b>302FNT</b>	103.50	<0.001	274.08	<0.001	102.40	<0.001	2.17
<b>303FT</b>	441.02	<0.001	421.02	<0.001	428.86	<0.001	
<b>302CO</b>	5.24	<0.001	192.44	<0.001	3.51	<0.001	
<b>303CO</b>	2.35	0.045	302.74	<0.001	2.40	0.042	

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação a todas as propriedades estudadas entre o estado seco e o molhado, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 114)}$  (Tabela 5.15). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa no mesmo tipo de linhas de costura entre o estado e o estado molhado.

Na Figura 5.11 e na Figura 5.12 verifica-se que, nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT), a tenacidade e a resistência de rotura diminuem no estado molhado, aumentando o alongamento de rotura. Nas linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO) existe um aumento em todas as propriedades, sendo o aumento mais acentuado no alongamento de rotura e menos acentuado na tenacidade e resistência de rotura. Comparando os resultados obtidos para as amostras 302FT e 303FT em seco e molhado respetivamente, verifica-se uma diminuição da tenacidade e resistência de rotura entre 15 e 20% e um aumento do alongamento de rotura entre 25 e 30%. Para as amostras 302CO e 303CO verifica-se um aumento da tenacidade e resistência de rotura entre 1 e 2% e um aumento do alongamento de rotura entre 25 e 30%.

Ao contrário do algodão todas as fibras de celulose regenerada perdem propriedades de tração em húmido (Tabela 2.2). Contudo, nas fibras de *lyocell* esta perda de resistência é significativamente menor do que nas fibras de modal, viscose e outras fibras celulósicas. Em todos os casos, o inchamento (que ocorre com água ou soluções alcalinas) provoca uma diminuição da tenacidade e do módulo de elasticidade das fibras de celulose regenerada, não se modificando significativamente o fator de orientação cristalino. Isto indica que a alteração das propriedades mecânicas é da responsabilidade da orientação das regiões amorfas [42].

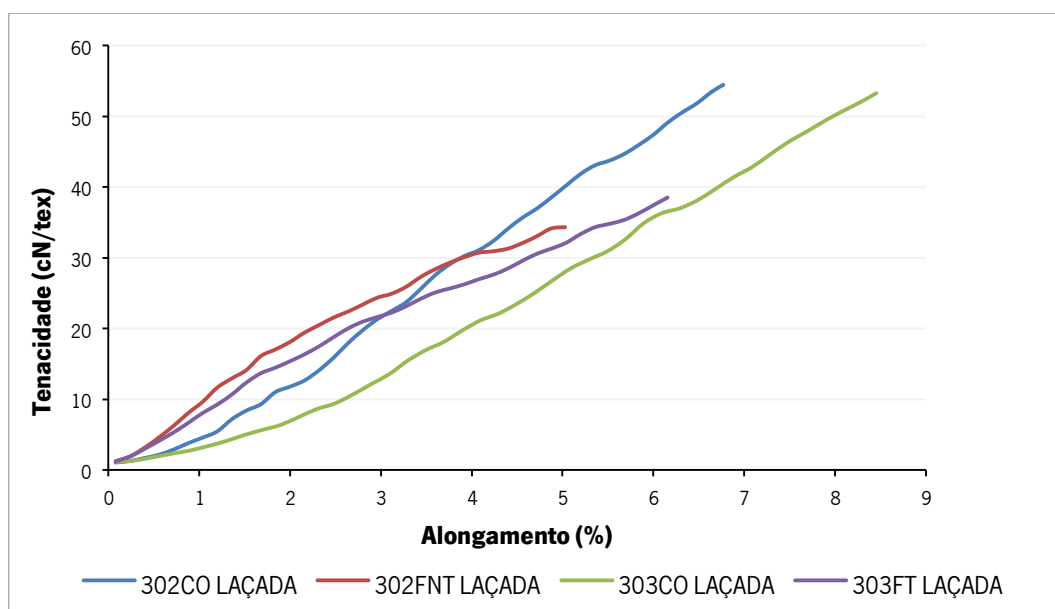
A fibra de algodão seca, construída a partir das suas fibrilas de celulose, é relativamente dura e áspera. As moléculas de celulose são mantidas firmemente juntas dentro das fibrilas e unidas por ligações entre as moléculas que se situam próximas umas das outras. Todavia, a água é capaz de penetrar na rede de celulose da fibra de algodão e introduzir-se nos capilares e nos espaços entre as fibrilas e em áreas com menos ligações das próprias fibrilas, unindo-se por meio ligações químicas para grupos nas moléculas da celulose. Deste modo, as moléculas de água tendem a reforçar as moléculas de celulose, além de diminuir as forças que as mantêm juntas e a rigidez de toda a estrutura de celulose. A água atua deste modo como uma espécie de “plastificante” para o algodão, penetrando na massa das moléculas de celulose e permitindo que estas se movam mais livremente umas em relação às outras. A celulose é amaciada e consegue alterar a sua forma mais facilmente sob efeitos ou forças aplicadas [140]. As propriedades de tração das fibras de



algodão variam apreciavelmente com o teor de humidade da fibra. A resistência à tração aumenta com o teor de humidade até uma humidade relativa de 100% [17].

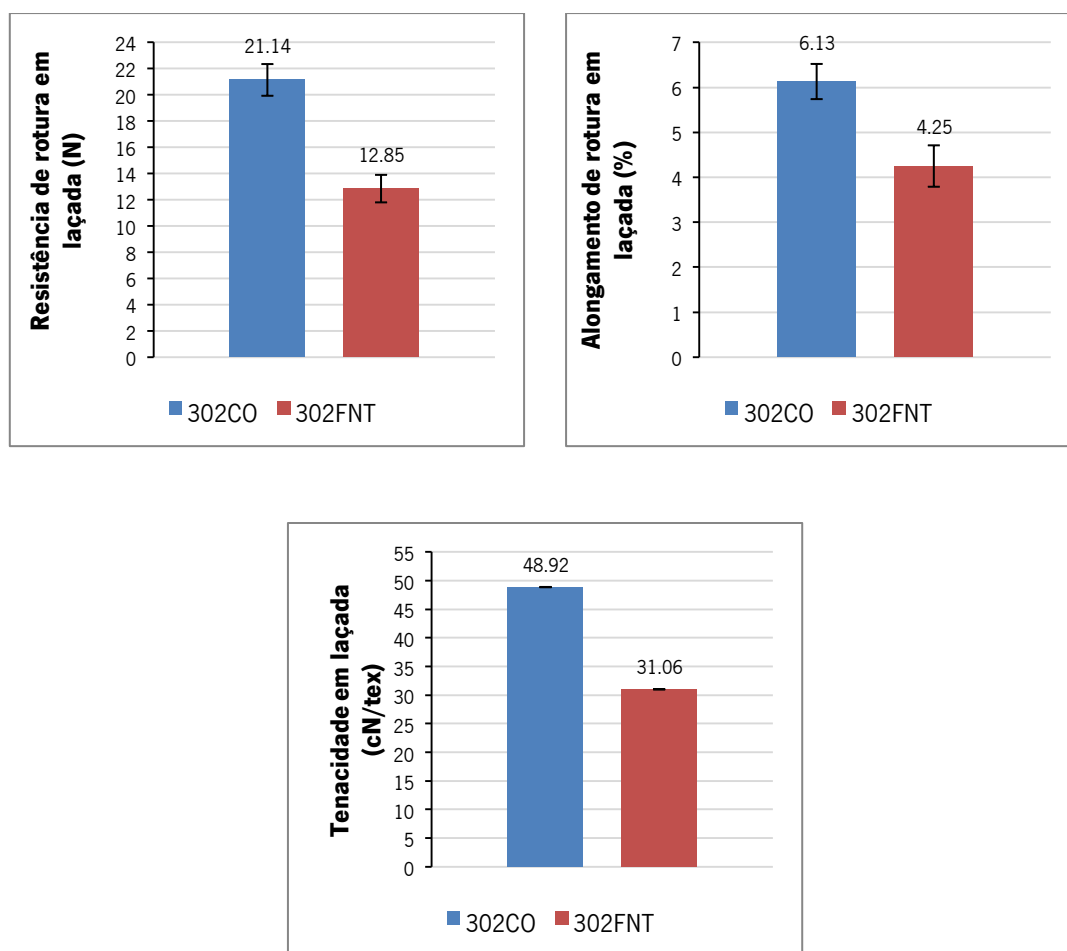
### 5.3.4 Resistência e alongamento de rotura e tenacidade em geometria de laçada

A Figura 5.13 apresenta as curvas tenacidade - alongamento em geometria de laçada, das amostras seleccionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

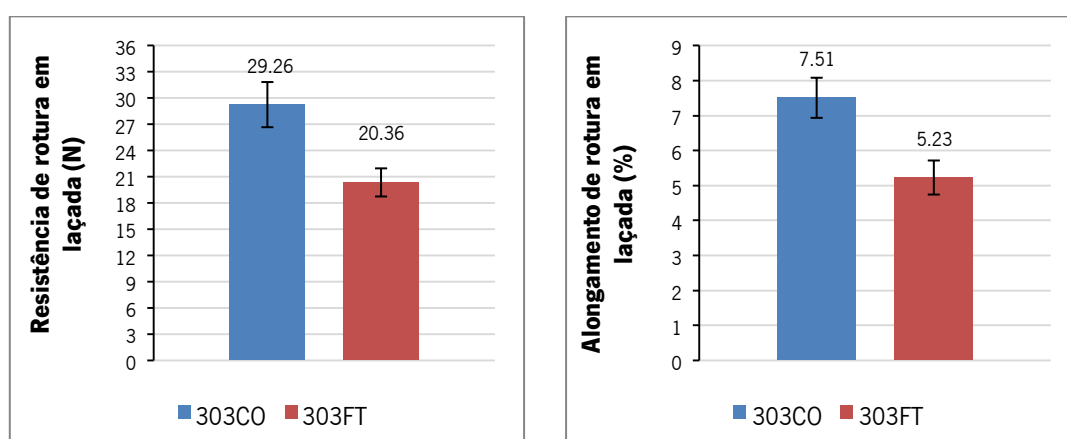


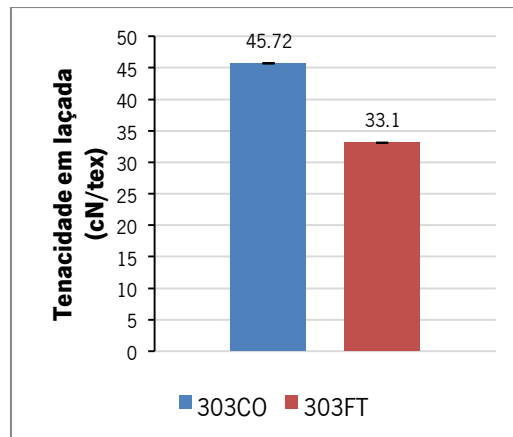
**Figura 5.13** - Curvas típicas tenacidade – alongamento em geometria de laçada

Na Figura 5.14 e na Figura 5.15 apresenta-se uma comparação dos resultados obtidos em relação à resistência e alongamento de rotura e à tenacidade em geometria de laçada, das amostras seleccionadas com 2 e 3 cabos respetivamente



**Figura 5.14** - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, nas amostras com 2 cabos





**Figura 5.15** - Comparação da tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, nas amostras com 3 cabos

Utilizando a expressão (Eq. 3.9) obtém-se a eficiência de laçada das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos (Tabela 5.16).

**Tabela 5.16** - Eficiência da laçada para as amostras estudadas

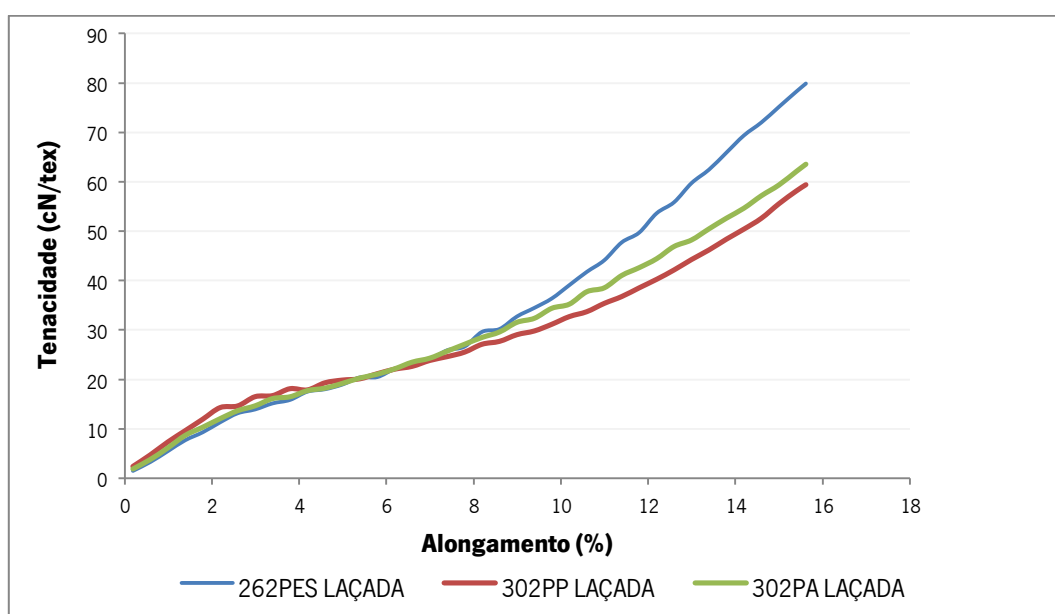
Eficiência de Laçada (%)	
<b>302CO</b>	90.18
<b>302FNT</b>	55.96
<b>303CO</b>	85.01
<b>303FT</b>	59.25

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação a todas as propriedades estudadas em geometria de laçada, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 1; 38)}$  (anexo 8). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa na tenacidade, na resistência e no alongamento de rotura em geometria de laçada, entre as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT) e as linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO).

Os valores de tenacidade, de resistência e alongamento de rotura em laçada, são inferiores nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão, analogamente às linhas de costura de fio de algodão. Constatando-se o mesmo em relação à eficiência de laçada, com valores cerca de 37.95% mais baixos para as amostras a 2 cabos, e cerca 30.3% mais baixos para as amostras a 3 cabos.

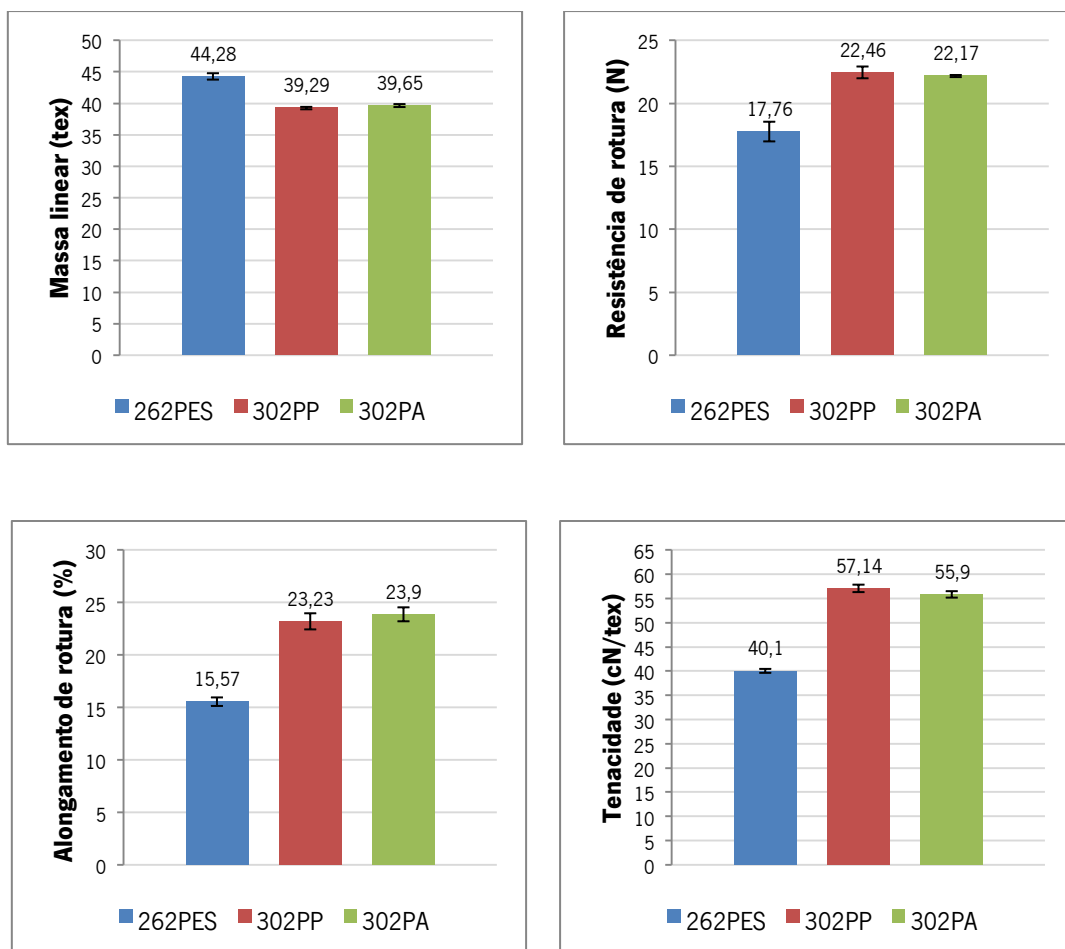
Com o objetivo de se verificar um comportamento similar nas linhas de costura de fibras de poliéster (262PES), realizou-se o mesmo estudo de caracterização das propriedades em geometria de laçada. Compararam-se a propriedades com as das linhas com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de poliéster (302PP) e recobertos por fibras de algodão (302PA).

A Figura 5.16 apresenta as curvas tenacidade - alongamento em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.



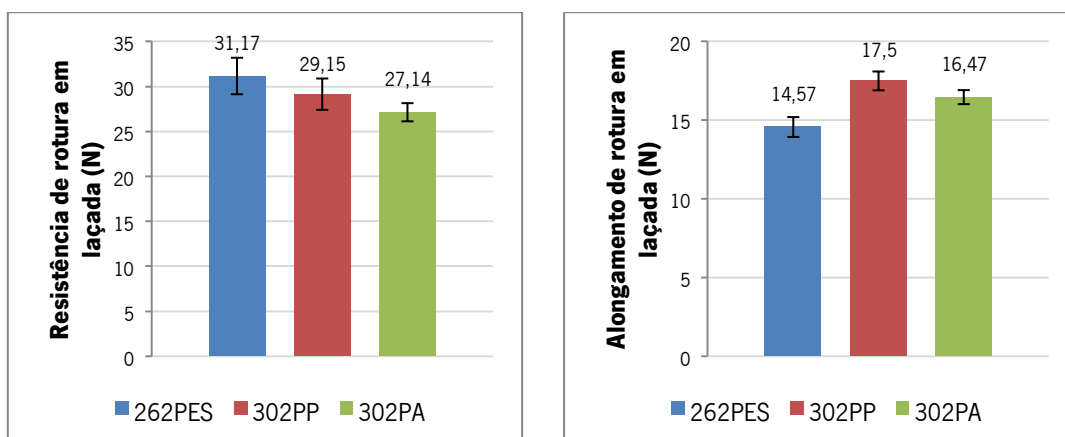
**Figura 5.16** - Curvas típicas tenacidade-alongamento, em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA

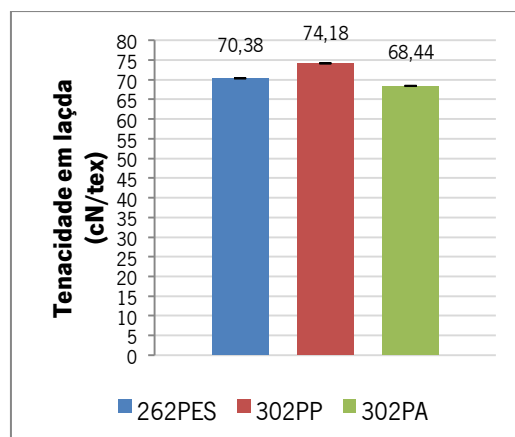
Na Figura 5.17 são apresentados os resultados obtidos em relação à massa linear, resistência e alongamento de rotura e tenacidade, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.



**Figura 5.17** - Massa linear, tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 262PES, 302PP e 302PA

Na Figura 5.18 são apresentados os resultados obtidos em relação à massa linear, resistência e alongamento de rotura e tenacidade, em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.





**Figura 5.18** - Massa linear, tenacidade, resistência e alongamento de rotura, em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA

Utilizando a expressão (Eq. 3.9), obtemos a eficiência de laçada para as amostras 262PES, 302PP e 302PA (Tabela 5.17).

**Tabela 5.17** - Eficiência de laçada das amostras 262PES, 302PP e 302PA

Eficiência de Laçada (%)	
<b>262PES</b>	87.75
<b>302PP</b>	64.90
<b>302PA</b>	61.26

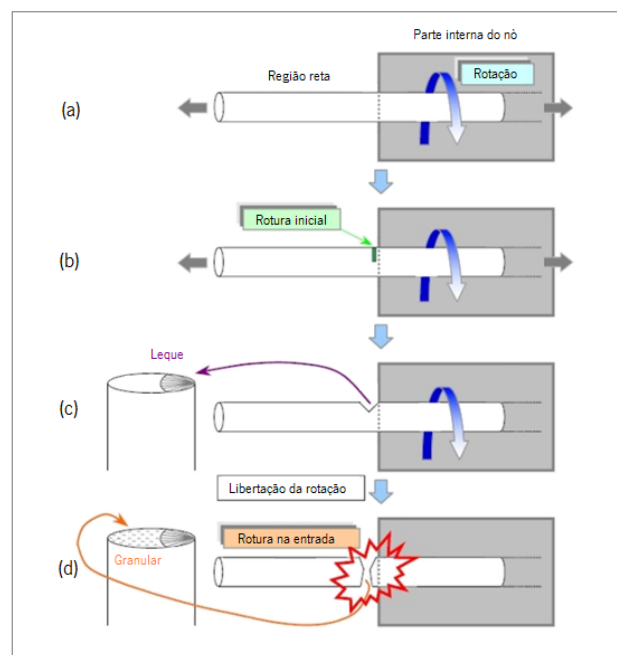
Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação a todas as propriedades estudadas em geometria de laçada, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 2; 57)}$  (anexo 9). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa na tenacidade, na resistência e no alongamento de rotura em geometria de laçada, entre as linhas de costura de fibras de poliéster (262PES) e as linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de poliéster (302PP) e recobertos por fibras de algodão (302PA).

As linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de poliéster são mais resistentes que os recobertos por fibras de algodão, pelo facto das fibras de recobrimento em poliéster serem mais compridas, proporcionando uma maior fricção entre os filamentos que compõem a alma, o que aumenta a resistência de rotura da linha [126].

O valor mais elevado de eficiência de laçada encontra-se nas linhas de costura de fibras de poliéster (262PES). Os valores das linhas com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de poliéster (302PP) e recobertas por fibras de algodão (302PA) são inferiores cerca de 26.04 e 30.19% respetivamente.

Pelos resultados obtidos constata-se que as linhas com alma são menos eficientes em geometria de laçada do que as linhas de fio. Nas linhas de costura com alma a resistência e alongamento de rotura dependem principalmente da alma de filamentos.

Quando um filamento é submetido a uma força num estado dobrado (laçada), rebenta mais facilmente do que quando submetido a um ensaio de tração. O início da rotura dá-se pela extensão elevada das camadas exteriores, e que o mesmo efeito é observado no caso de um nó no filamento [141]. Uehara *et al.* propuseram um mecanismo de rotura dos nós em filamentos (Figura 5.19) e este mecanismo de rotura compara-se ao de geometria em laçada, mas sem as pontas dos filamentos [142].

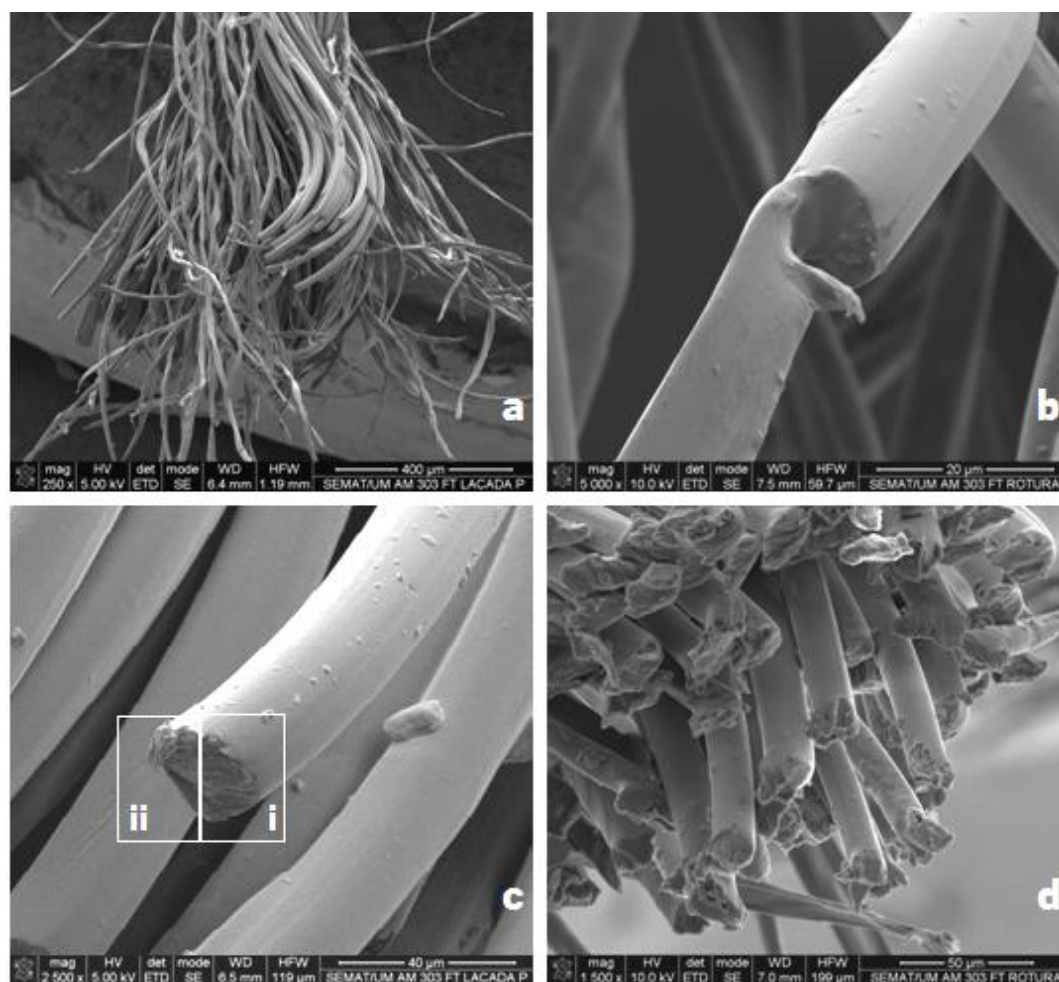


**Figura 5.19** - Mecanismo de rotura do nó num filamento [142]

Um filamento com nó rebenta precisamente na parte exterior da entrada do nó. A rotura nunca ocorre na parte reta do filamento. A Figura 5.20 (a) apresenta os filamentos de *lyocell* a romperem à entrada da parte fletida, após o ensaio de tração em geometria de laçada.

O filamento na parte interna do nó roda mas na parte externa não. Assim, o filamento começa a rodar abruptamente logo que entra no nó. Esticar o filamento induz uma diferença do efeito de rotação até ao limite de rotação do filamento (Figura 5.19 a). A região externa do filamento no nó pode ser exposta a um momento de rotação mais elevado do que a parte do núcleo. Deste modo, o filamento começa a rotura num certo ponto da sua parte externa (Figura 5.19 b) [142]. A Figura 5.20 (b) apresenta uma visualização da rotura inicial na parte externa do filamento de *lyocell*.

As fendas iniciais vão-se propagar em direções radiais a partir do ponto de rotura inicial. Se as propriedades físicas do filamento forem homogêneas na secção transversal, as fendas vão-se propagar à mesma velocidade. Portanto, a área das fendas vai-se propagar como um leque (Figura 5.19 c) [142]. A Figura 5.20 (c) apresenta uma visualização da área das fendas iniciais (i) no filamento de *lyocell*.

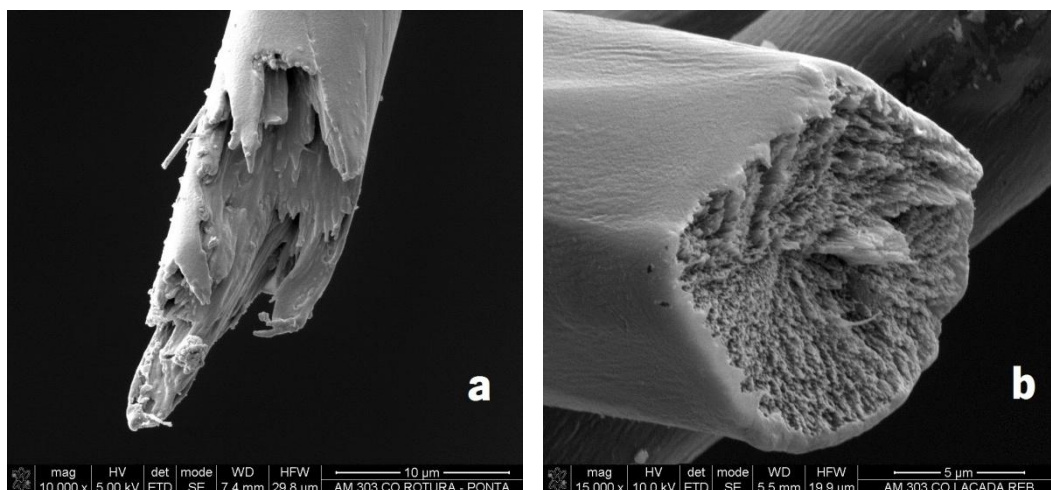


**Figura 5.20** - Visualização SEM do tipo de roturas dos filamentos de *lyocell* (303FT)



Simultaneamente, a secção transversal residual do filamento é gradualmente reduzida. Rebentando num determinado ponto, devido à força de torção (Figura 5.19 d), e apresentando-se a morfologia com uma irregularidade granular na área (ii). A Figura 5.20 (d) apresenta uma morfologia de fratura de tensão dos filamentos de *lyocell*, após o ensaio de tração, em se apresenta em forma de pêndulo com cabeça de cogumelo. Esta é devida, na maior parte dos casos, a uma rotura a velocidades elevadas que pode ser atribuído a uma exposição súbita dos filamentos à força de tração [126].

As fibras de algodão podem exibir fraturas com fendas axiais ou com aparência granular. As fendas axiais são consideradas o tipo de fraturas mais fracas. A fratura com aparência granular ocorre através da secção transversal da fibra e com uma textura rugosa [126]. A Figura 5.21 (a) apresenta uma fratura com fendas axiais, enquanto a Figura 5.21 (b) apresenta uma fratura com aparência granular. Obtidas nos ensaios de resistência de rotura de laçada, das amostras 303CO.



**Figura 5.21:** Visualização SEM do tipo de roturas das fibras de algodão (303CO)

Nos ensaios de resistência de laçada as fibras de algodão exibem menos fraturas com fendas axiais e mais fraturas com aparência granular devido à flexão aguda das fibras.

À medida que a fratura se propaga a linha de costura perde propriedades e parte das fibras deslizam e outra parte das fibras fraturam. As fibras de algodão em forma de laçada podem mais facilmente reorganizar-se, e suportar mais uniformemente as tensões sofridas do que as fibras/filamentos que não são do tipo das linhas de costura de fio. As fibras nas linhas de costura de fio possuem uma maior liberdade de movimento através da secção transversal da linha de costura, diminuindo desta forma o efeito das tensões sofridas nas regiões de elevada concentração

de tensões (Figura 3.9). Isto leva a uma melhor distribuição das tensões sofridas por parte das fibras. Portanto, as linhas de costura de fio possuem uma maior tenacidade e alongamento de rotura em geometria de laçada e para uma mesma massa linear, do que as linhas de costura com alma, pois estas sofrem maiores perdas de tenacidade e alongamento de rotura [126].

A resistência de uma linha de costura em geometria laçada deveria atingir cerca de duas vezes a resistência de um simples ensaio de tração, mas é de apenas 80 a 90% para linhas de costura de fio de algodão [2]. Os fios de algodão apresentam uma relação entre a resistência de rotura do nó e a resistência de rotura de 91% [141]. Como o efeito do nó é similar ao efeito de laçada, conclui-se que os valores obtidos de eficiência de laçada de 90.18% e 85.01% para as linhas de fio de algodão são similares aos valores teóricos apresentados.

O ensaio de resistência de laçada é realizado num ponto de costura único, mas no processo de costura é relevante o efeito de fletir uma linha de costura numa requerida estrutura geométrica e o efeito da formação do ponto, e este ensaio não contempla estes dois aspetos. A caracterização das propriedades de tração das costuras (com as diferentes linhas de costura) torna-se importante para concluir acerca da resistência das costuras.

### 5.3.5 Propriedades de atrito

A Figura 5.22 apresenta uma comparação dos resultados obtidos em termos de coeficiente de atrito, onde se verifica que o valor do coeficiente de atrito diminui com o aumento da lubrificação.

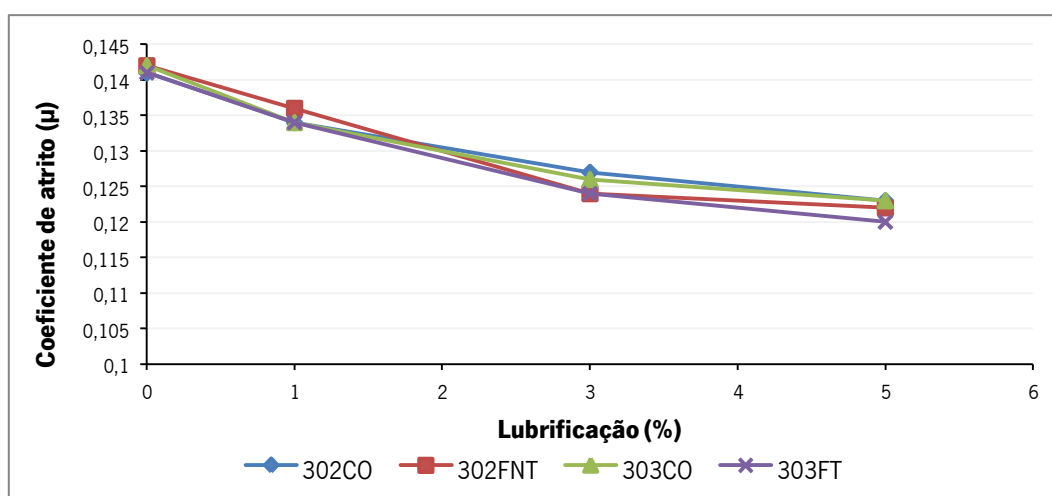


Figura 5.22 - Coeficiente de atrito - lubrificação

A Tabela 5.18 apresenta as taxas de lubrificação calculadas (Eq. 4.3) para se obter uma quantidade de 1, 3 e 5% de lubrificante 100% ativo *Silwa TL100*. Também foram utilizadas neste estudo amostras sem lubrificação. Como o sistema de lubrificação *Graf Threadlub* só permite a definição de uma casa decimal, os resultados corrigidos

**Tabela 5.18** - Taxas para obtenção de 1, 3, 5% de quantidade de *SILWA TL100*.

Amostr as	Massa Linear Nm	Velocidade de Bobinagem (m/min)	Taxa de Lubrificação de 1% (g/min)		Taxa de Lubrificação de 3% (g/min)		Taxa de Lubrificação de 5% (g/min)	
			Calculada	Corrigida	Calculada	Corrigida	Calculada	Corrigida
<b>302C0</b>	23.49	800	0.34	0.3	1.02	1	1.70	1.7
<b>302FN T</b>	23.87	800	0.34	0.3	1.01	1	1.68	1.7
<b>303C0</b>	15.48	800	0.52	0.5	1.55	1.6	2.58	2.6
<b>303FT</b>	15.77	800	0.51	0.5	1.52	1.5	2.54	2.5

A Tabela 5.19 apresenta a percentagem de lubrificante aplicada, pelo cálculo do aumento do peso após a aplicação do lubrificante (Eq. 4.4).

**Tabela 5.19** - Percentagem de *SILWA TL100* aplicada.

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Lubrificante Aplicado (%)	PF (g)	PI (g)
<b>302C0</b>	1	0.48	22.81	22.70
	3	2.11	23.25	22.77
	5	3.84	23.52	22.65
<b>302FNT</b>	1	0.55	22.19	22.07
	3	2.46	22.11	21.58
	5	4.15	22.82	21.91
<b>303C0</b>	1	0.44	34.20	34.05
	3	2.47	34.45	33.62
	5	4.33	34.90	33.45
<b>303FT</b>	1	0.57	33.29	33.10
	3	2.52	33.77	32.94
	5	4.14	34.50	33.13

Os valores obtidos diferem dos valores realmente esperados, devido ao arredondamento no sistema de lubrificação *Graf Threadlub*. No entanto, o pretendido é estudar o coeficiente de atrito e as tensões geradas na linha da agulha para as diferentes quantidades de lubrificação pretendidas.

Os valores obtidos de coeficiente de atrito são apresentados na Tabela 5.20 bem como os valores corrigidos. Segundo a norma utilizada para diâmetros inferiores a 25 mm e valores de atrito entre 0.10 – 0.15, a correção é a soma de 0.01.

**Tabela 5.20** - Coeficientes de atrito obtidos e corrigidos por amostra e quantidade pretendida de lubrificante

Amostras	QPL <sup>1</sup> (%)	μ Obtido					μ Corrigido					Média	DP	CV (%)
		1'	2'	3'	4'	5'	1'	2'	3'	4'	5'			
302CO	0	0.125	0.14	0.12	0.13	0.14	0.135	0.15	0.13	0.14	0.15	<b>0.141</b>	0.0089	6.34
	1	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	<b>0.134</b>	0.0055	4.09
	3	0.11	0.125	0.12	0.11	0.12	0.12	0.135	0.13	0.12	0.13	<b>0.127</b>	0.0067	5.28
	5	0.11	0.115	0.12	0.11	0.11	0.12	0.125	0.13	0.12	0.12	<b>0.123</b>	0.0045	3.64
302FNT	0	0.12	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.14	0.14	<b>0.142</b>	0.0084	5.89
	1	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	<b>0.136</b>	0.0055	4.03
	3	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	<b>0.124</b>	0.0055	4.42
	5	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	<b>0.122</b>	0.0045	3.67
303CO	0	0.12	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13	0.15	0.15	0.15	0.13	<b>0.142</b>	0.0110	7.71
	1	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	<b>0.134</b>	0.0055	4.09
	3	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	<b>0.126</b>	0.0055	4.35
	5	0.11	0.11	0.115	0.12	0.11	0.12	0.12	0.125	0.13	0.12	<b>0.123</b>	0.0045	3.64
303FT	0	0.13	0.135	0.12	0.14	0.13	0.14	0.145	0.13	0.15	0.14	<b>0.141</b>	0.0074	5.26
	1	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	<b>0.134</b>	0.0055	4.09
	3	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	<b>0.124</b>	0.0055	4.42
	5	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	<b>0.122</b>	0.0045	3.67

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao coeficiente de atrito entre as amostras sem lubrificação e as amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1%, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 7; 32)}$  (anexo 10). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 10). Conclui-se que não existe

<sup>1</sup> QPL – Quantidade Pretendida de Lubrificante

diferença estatisticamente significativa em relação ao coeficiente de atrito entre as amostras sem lubrificação e as amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1%. No entanto, os valores médios são inferiores, concluindo que a quantidade de lubrificante aplicada já produz efeitos no coeficiente de atrito das linhas de costura.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao coeficiente de atrito entre as amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1 e de 3%, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 7; 32)}$  (anexo 10). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em relação ao coeficiente de atrito quando a quantidade pretendida de lubrificante aumenta de 1 para 3%. Em relação ao coeficiente de atrito entre as amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 3 e de 5%, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 7; 32)}$  (anexo 10). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 10). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação ao coeficiente de atrito quando a quantidade pretendida de lubrificante aumenta de 3 para 5%. No entanto, verifica-se que os valores médios de coeficiente de atrito são inferiores com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

No que concerne ao coeficiente de atrito, entre as amostras torcidas com 2 cabos e as amostras torcidas a 3 cabos, para uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%, obtém-se um valor igual de 0.125 ( $F_{obs}$ ) que é menor que 5.32 ( $F_{(0.05; 1; 8)}$ ). Estes resultados demonstram que o coeficiente de atrito não é influenciado pelas diferentes estruturas das linhas de costura.

Assim conclui-se que o coeficiente de atrito é influenciado pela quantidade pretendida de lubrificante, diminuindo com o aumento da quantidade pretendida de lubrificante. Não se obteve diferença entre a quantidade pretendida de lubrificante de 3 e de 5% e a recomendação do produtor do lubrificante é para uma aplicação 2 e 4%. Deste modo, não se estudaram quantidades de lubrificante acima de 5%, uma vez que também poderá ocorrer migração do lubrificante para o tecido após o processo de costura, devido ao excesso na quantidade de lubrificante aplicado.

### **5.3.6 Resistência à abrasão**

Na Tabela 5.21 e na Tabela 5.22 são apresentados os resultados obtidos e a análise de variância a um fator (*ANOVA*) em relação à resistência à abrasão das costuras num teste de *Martindale* modificado, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

**Tabela 5.21** - Resistência à abrasão das costuras das amostras com 2 cabos

	Amostras	N	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 1; 6)</sub>
Resistência à Abrasão (ciclos)	302CO	4	2825	40.82	1.99	411.857	<0.001	5.99
	302FNT	4	2050	32.27	1.14			

**Tabela 5.22** - Resistência à abrasão das costuras das amostras com 3 cabos

	Amostras	N	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 1; 6)</sub>
Resistência à Abrasão (ciclos)	303CO	4	2500	40.82	2.33	270.00	<0.001	5.99
	303FT	4	1750	81.65	3.27			

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência à abrasão, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 1; 6)}$ . Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa, em relação à resistência à abrasão, entre as costuras efetuadas com as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão, e as costuras efetuadas com linhas de costura de fio de algodão. A resistência à abrasão é inferior nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell*, que pode ser explicado pela resistência à abrasão inferior do *lyocell* e pela diferente estrutura das linhas de costura.

A Tabela 5.23 apresenta as propriedades mecânicas, das linhas de costura analisadas nesta investigação.

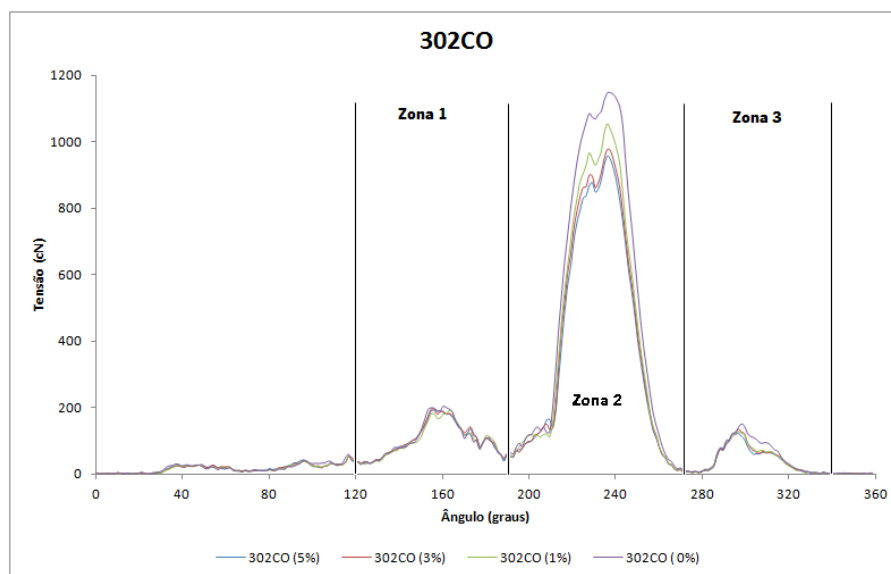
**Tabela 5.23** - Propriedades mecânicas das linhas de costura

Propriedade	Unidade	302FNT	302CO	303FT	303CO
Resistência de Rotura	(N)	11.48	11.72	17.18	17.21
Alongamento de Rotura	(%)	7.82	6.28	8.35	7.62
Tenacidade	(cN/tex)	27.50	27.32	27.33	26.62
Módulo de Elasticidade E <sub>0</sub>	(N/tex)	4.42	4.13	3.59	2.81
Resistência de Rotura Molhado	(N)	9.83	11.93	13.65	17.52
Alongamento de Rotura Molhado	(%)	10.30	8.49	11.04	10.30
Tenacidade Molhado	(cN/tex)	23.55	27.82	21.71	27.10
Resistência de Rotura em Laçada	(N)	12.85	21.14	29.26	20.36
Alongamento de Rotura em Laçada	(%)	4.25	6.13	5.23	7.51
Eficiência de Laçada	(%)	55.96	90.18	59.25	85.01
Coefficiente de Atrito (μ)	-	0.124	0.123	0.122	0.123
Resistência à Abrasão (Martindale modificado)	Ciclos	2050	2825	1759	2500

## 5.4 Costurabilidade

### 5.4.1 Variação das tensões na linha da agulha

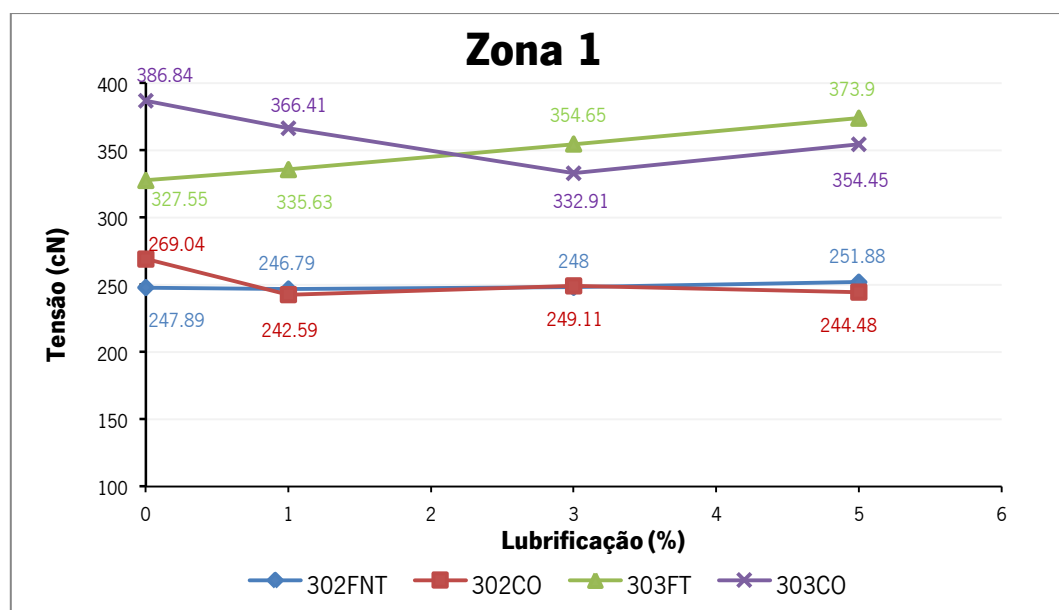
A Figura 5.23 representa a variação da tensão da linha da agulha, durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso, para as amostras 302CO e quantidades pretendidas de lubrificante. A representação da variação da tensão da linha da agulha durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso das amostras 302FNT, 303CO e 303FT encontra-se no anexo 11.



**Figura 5.23** - Variação da tensão da linha da agulha (302CO)

Verifica-se que as tensões máximas sofridas pela linha da agulha são na zona 2 e influenciadas pela lubrificação. As tensões diminuem com o aumento das quantidades pretendidas de lubrificante.

Na Figura 5.24 apresentam-se os resultados obtidos em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1, nas diferentes amostras de linhas de costura e quantidades pretendidas de lubrificante.



**Figura 5.24** – Tensões máximas da linha da agulha na zona 1

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1 para as amostras 302FNT, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1 e para qualquer quantidade pretendida de lubrificante.

Em relação às amostras 302CO, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Efetuando uma análise da variância a um fator (*ANOVA*) somente às quantidades pretendidas de lubrificante de 1, 3 e 5%, obtemos um valor de 0.211 ( $F_{obs}$ ) que é menor que 3.35 ( $F_{(0.05; 2; 27)}$ ). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1 e para as quantidades pretendidas de lubrificante de 1, 3 e 5%. O valor inferior de tensão encontra-se na quantidade pretendida de lubrificante de 1%.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1, para as amostras 303CO e 303FT, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa nas tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1 para as diferentes quantidades pretendidas de lubrificante.

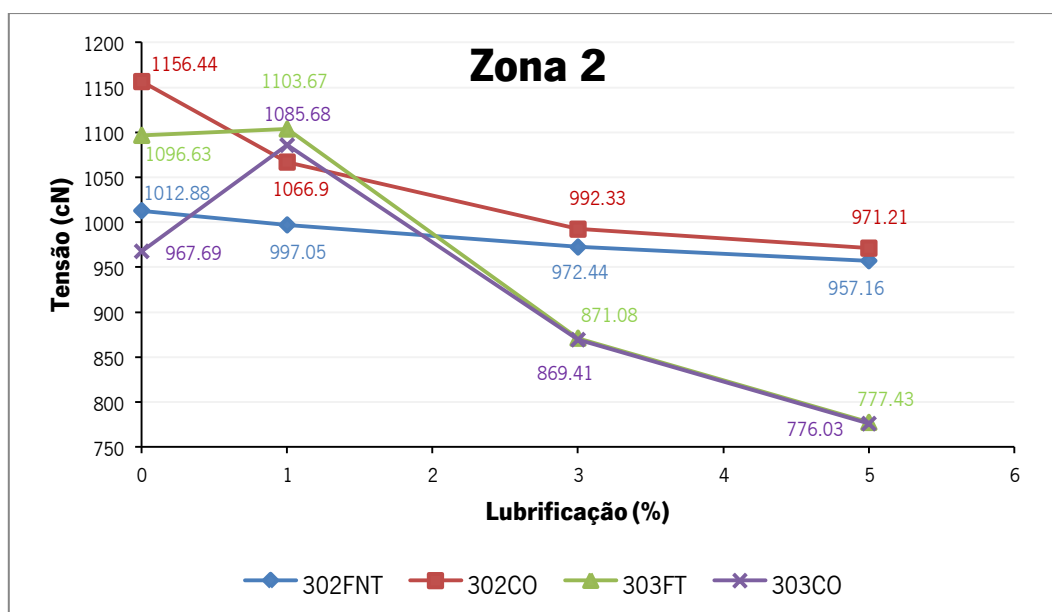


Nas amostras 303FT o valor superior de tensão encontra-se na quantidade pretendida de lubrificante de 5% diminuindo quando é de 3% seguido de 1%. O valor inferior de tensão encontra-se nas amostras sem qualquer lubrificação.

Em relação às amostras 303CO e efetuando-se uma análise da variância a um fator (*ANOVA*) entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 1 e 5% obtém-se um valor de 0.847 ( $F_{obs}$ ) e entre 3 e 5% e um valor de 4.217 ( $F_{obs}$ ), ambos menores que 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 18)}$ ). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias das quantidades pretendidas de lubrificante de 1, 3 e 5% estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 1 entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 1 e 5% e entre 3 e 5%. O valor inferior de tensão encontra-se na quantidade pretendida de lubrificante de 3%.

Na zona 1, quando o freio começa o movimento ascendente, a lubrificação tem pouca influência nas tensões máximas geradas na linha da agulha durante a formação do ponto de costura. As amostras 302FNT não apresentaram diferenças nas tensões máximas geradas na linha da agulha nas quantidades pretendidas de lubrificante de 0, 1, 3 e 5%. As amostras 302CO apresentaram um comportamento similar, uma vez que não apresentaram diferenças nas tensões máximas geradas na linha da agulha nas quantidades pretendidas de lubrificante de 1, 3 e 5%. Verificando-se o valor inferior de tensão na quantidade pretendida de lubrificante de 1%. Nas amostras 303FT os valores inferiores de tensão ocorrem quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 0 e 1%. Em relação às amostras 303CO o valor inferior encontra-se na quantidade pretendida de lubrificante é de 3%. Entre a quantidade pretendida de lubrificante de 1 e 5% não apresenta diferença.

Na Figura 5.25 apresentam-se os resultados obtidos em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 2, nas diferentes amostras de linhas de costura e quantidades pretendidas de lubrificante.



**Figura 5.25** – Tensões máximas da linha da agulha na zona 2

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 2 para as amostras 302FNT, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 2 e para qualquer quantidade pretendida de lubrificante.

Nas amostras 302CO verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 3; 36)}$ . Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa entre as quantidades pretendidas de lubrificante. Efetuando uma análise da variância a um fator (*ANOVA*) entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e 5% obtemos um valor de 2.967 ( $F_{obs}$ ) que é menor que 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 18)}$ ). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias das quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e 5% estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas amostras 302CO entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e 5%, verificando-se o valor inferior de tensão para uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

Na zona 2, onde ocorre a tensão máxima gerada na linha da agulha durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso, os valores inferiores de tensões encontram-se quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 5%. Tanto nas amostras 302FNT como nas amostras

302CO e sem diferença estatisticamente significativa com a quantidade pretendida de lubrificante de 3%.

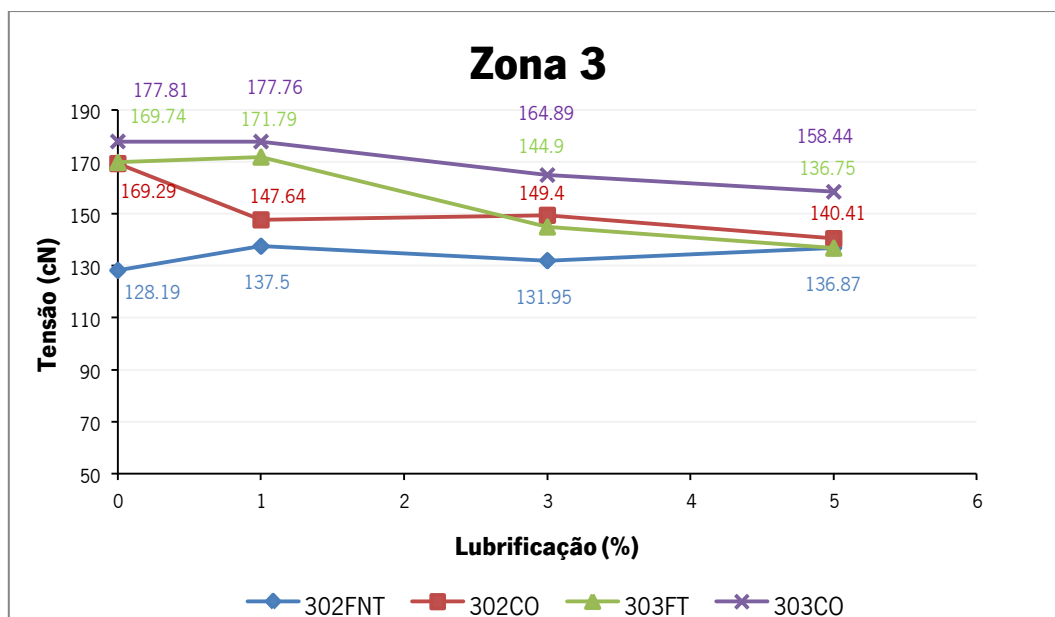
Na análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 2 para as amostras 303FT e 303CO, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa entre as quantidades pretendidas de lubrificante para as amostras 303CO e 303FT. Efetuando-se uma análise da variância a um fator (*ANOVA*) somente às quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e 5% obtemos um valor de 7.550 ( $F_{obs}$ ) para as amostras 303CO e de 7.935 ( $F_{obs}$ ) para as 303FT ambos superiores a 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 18)}$ ).

As amostras 303FT e 303CO apresentam o mesmo comportamento das amostras 302FNT e 302CO, ou seja, os valores mais baixos das tensões máximas geradas na linha da agulha e na zona 2 surgem quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 5%.

Na zona 2 quando o arrastador empurra o tecido e o freio está na posição mais elevada é onde ocorre a tensão máxima gerada na linha da agulha durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso. Esta permite concluir se a quantidade pretendida de lubrificante tem influência nas tensões geradas na linha da agulha. Com o aumento da quantidade pretendida de lubrificante até 5% os valores de tensão diminuem em todas as amostras estudadas. Para um bom desempenho das linhas de costura, no processo de costura, deve-se aplicar uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

Na análise do coeficiente de atrito não se obtiveram diferenças entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e de 5%. Com a análise das tensões geradas na linha da agulha verificou-se que se deve aplicar uma quantidade pretendida de lubrificante 5 e não de 3%, pois diminuem a tensões geradas na linha da agulha.

Na Figura 5.26 apresentam-se os resultados obtidos em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 3, nas diferentes amostras de linhas de costura e quantidades pretendidas de lubrificante.



**Figura 5.26** – Tensões máximas da linha da agulha na zona 3

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 3 para as amostras 302FNT, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 3; 36)}$  (anexo 12). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias são agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas tensões geradas na linha da agulha e para qualquer quantidade pretendida de lubrificante.

Em relação às amostras 302CO e efetuando a análise da variância a um fator (*ANOVA*) às quantidades pretendidas de lubrificante de 1 e de 3% obtém-se um valor de 0.388 ( $F_{obs}$ ) que é menor que 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 38)}$ ). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias, das quantidades pretendidas de lubrificante de 1 e de 3%, estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação às tensões geradas na linha da agulha, nas quantidades pretendidas de lubrificante de 1 e de 3%. Entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e de 5% obtém-se um valor de 15.986 ( $F_{obs}$ ) que é maior que 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 38)}$ ). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em relação às tensões geradas na linha da agulha nas quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e de 5%, verificando-se o valor inferior de tensão para uma quantidade pretendida de lubrificante de 5%.

Os valores inferiores das tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 3, em que a agulha penetra o material, ocorrem quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 5%, tanto nas amostras 302FNT como nas 302CO.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação às tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 3 para as amostras 303FT e 303CO, para as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e 5%, obteve-se um valor de 1.821 ( $F_{obs}$ ) e de 4.111 ( $F_{obs}$ ) respectivamente, ambos menores que 4.41 ( $F_{(0.05; 1; 38)}$ ). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias, das quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e de 5%, estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 12). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas tensões máximas geradas na linha da agulha, nas quantidades pretendidas de lubrificantes de 3 e de 5%. Os valores inferiores das tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 3 ocorrem quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 5%.

Desta forma, as amostras 303FT e 303CO apresentam um comportamento similar às amostras 302FNT e 302CO. Na zona 3, onde a agulha penetra o material o comportamento é similar à zona 2, ou seja, com o aumento da quantidade pretendida de lubrificante até 5% os valores de tensão diminuem em todas as amostras estudadas. Não existindo diferença entre as quantidades pretendidas de lubrificante de 3 e de 5%.

Para estudar a influência das diferentes estruturas de linhas de costura nas tensões geradas na linha agulha, durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso, efetuou-se uma análise da variância a um fator (*ANOVA*), entre as amostras a dois cabos (302FNT e 302CO) e as amostras a 3 cabos (303CO e 303FT). Os resultados são apresentados na Tabela 5.24 e na Tabela 5.25 respectivamente. Para a realização deste estudo as amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5% na zona 2, onde ocorrem a tensões máximas na linha da agulha.

**Tabela 5.24** - Tensão na linha da agulha e análise da variância a um fator (*ANOVA*) das amostras com 2 cabos

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Zona	Média	$F_{obs}$	p-value	$F_{(0.05;1;18)}$
302CO	5	2	971.21	0.855	0.367	4.41
302FNT	5		957.16			

**Tabela 5.25** - Tensão na linha da agulha e análise da variância a um fator (*ANOVA*) das amostras com 3 cabos

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Zona	Média	$F_{obs}$	p-value	$F_{(0.05;1;18)}$
303CO	5	2	776.03	0.001	0.972	4.41
303FT	5		777.43			

A Tabela 5.26 apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha para todas as amostras na zona 2.

**Tabela 5.26** - Análise da média das tensões na linha da agulha na zona 2

<b><i>Tuckey HSD</i></b>						
<b><math>\alpha=0.05</math></b>						
<b>N</b>	<b>Quantidade Lubrificante Pretendida (%)</b>	<b>Amostras</b>	<b>1</b>	<b>Quantidade Lubrificante Pretendida (%)</b>	<b>Amostras</b>	<b>1</b>
<b>10</b>	5	303CO	776.03	5	302FNT	971.21
	5	303FT	777.43	5	302CO	957.16
<b>p-value</b>			1.000	<b>p-value</b>		0.964

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação às tensões geradas na linha da agulha na zona 2, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 1; 18)}$  (Tabela 5.24 e Tabela 5.25) para todas as amostras. Analisando a Tabela 5.26 (teste de *Tuckey*) verifica-se as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo. Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa nas tensões máximas geradas na linha da agulha na zona 2, entre as diferentes estruturas de linhas de costura estudadas.

Nas mesmas condições de costura e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 5% as diferentes linhas de costura não apresentam diferenças. As costuras efetuadas revelam esteticamente uma aparência similar, não sendo influenciadas pelas diferentes linhas de costura.

Os resultados obtidos demonstram que as tensões máximas geradas na linha da agulha são influenciadas, essencialmente, pela lubrificação e não pelas diferentes estruturas das linhas de costura.

## **5.5 Propriedades mecânicas das linhas de costura após o processo de costura**

A Tabela 5.27 apresenta as propriedades do tecido com estrutura de sarja utilizado nos ensaios das diferentes amostras de linhas de costura.

**Tabela 5.27** - Propriedades do tecido com estrutura de sarja

Propriedades	Tecido
<b>Composição</b>	100% Algodão
<b>Estrutura</b>	Sarja $\frac{1}{2}A_1$
<b>Fios/cm – Passagens/cm</b>	63 - 33
<b>tex da Teia - tex da Trama</b>	17,2 – 28,9
<b>Massa por unidade de superfície (g/m<sup>2</sup>)</b>	209.31
<b>Fator de Cobertura</b>	18

A Tabela 5.28 apresenta os valores obtidos e as alterações sofridas nas amostras a 2 e 3 cabos.

**Tabela 5.28** - Propriedades mecânicas das amostras com 2 e 3 cabos antes e após o processo de costura

	Etapa	302CO	302FNT	303CO	303FT
<b>Resistência de Rotura (N)</b>	Antes costura	10.78	11.13	15.34	16.68
	Após costura	6.62	5.95	11.2	8.69
	<b>Alteração (%)</b>	<b>-39</b>	<b>-46</b>	<b>-27</b>	<b>-48</b>
<b>Alongamento de Rotura (%)</b>	Antes costura	6.22	7.90	7.46	8.68
	Após costura	5.29	6.20	6.92	8.02
	<b>Alteração (%)</b>	<b>-15</b>	<b>-21</b>	<b>-7</b>	<b>-8</b>
<b>Tenacidade (cN/tex)</b>	Antes costura	25.32	26.56	23.75	26.31
	Após costura	15.55	14.22	17.33	13.70
	<b>Alteração (%)</b>	<b>-39</b>	<b>-46</b>	<b>-27</b>	<b>-48</b>
<b>Módulo de Elasticidade E<sub>o</sub> (N/tex)</b>	Antes costura	4.10	4.25	2.93	3.75
	Após costura	2.09	1.71	1.68	0.85
	<b>Alteração (%)</b>	<b>-49</b>	<b>-60</b>	<b>-43</b>	<b>-77</b>

Pelos valores obtidos verifica-se que em todas as propriedades estudadas existe uma perda. Esta apresenta-se com valores mais elevados nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT) relativamente às linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO).

A Figura 5.27 apresenta as linhas retiradas após (esquerda) e antes (direita) o processo de costura (direita). Verifica-se uma alteração da forma após o processo de costura, como uma espécie de frisado permanente.



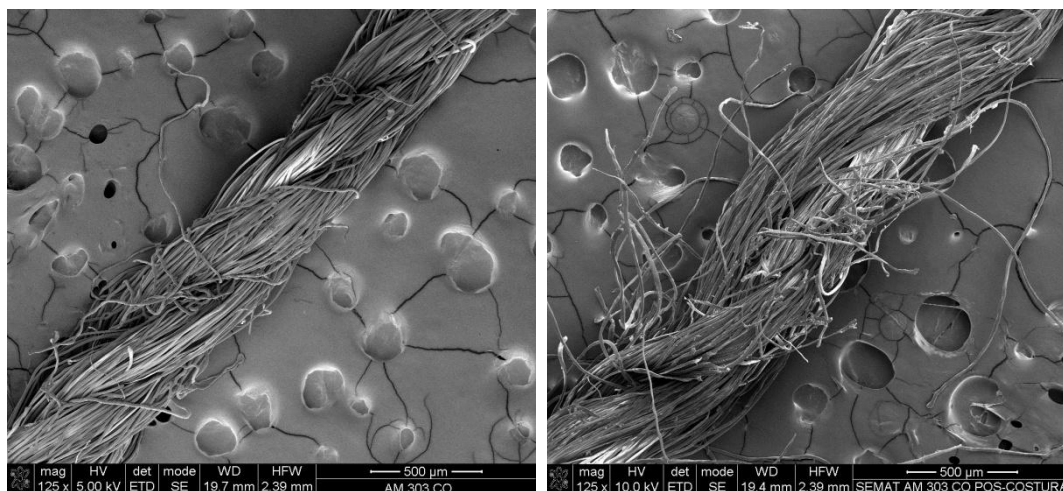
**Figura 5.27** - Linhas de costura após (esquerdo) e antes (direito) o processo de costura

O número de cabos pode influenciar a extensão da perda de resistência de rotura após o processo de costura, devido a uma maior contribuição das forças transversais obtidas através da pressão intercabos, e portanto o aumento de cabos deve reduzir a perda de resistência de rotura [74]. Nas linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO) verifica-se que a perda de resistência de rotura é mais elevada nas amostras com 2 cabos em comparação com as amostras a 3 cabos. Nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão os valores de perda de resistência de rotura são similares nas amostras 2 e 3 cabos, o que evidencia que o facto de aumentar o número de cabos não diminuiu a perda de resistência de rotura após o processo de costura.

A redução da resistência de rotura após o processo de costura é um efeito cumulativo de desintegração estrutural e de perda na resistência de rotura da fibra. O arrastamento das fibras da superfície da linha e o deslocamento dos cabos durante a formação da laçada são os fatores dominantes na redução da resistência de rotura da linha de costura após o processo de costura [70].

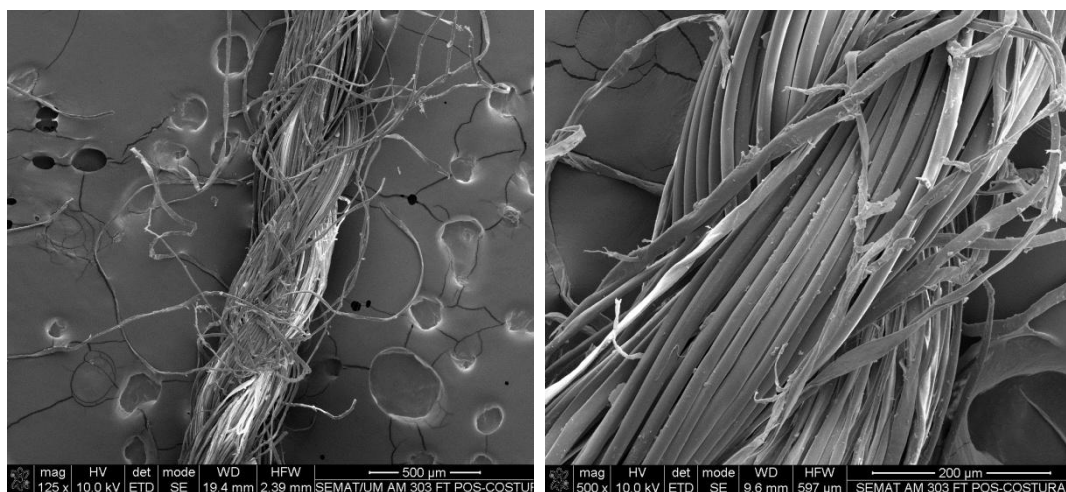
Em linhas de costura de fio as fibras arrastadas da estrutura causam uma perda significativa na resistência e alongamento de rotura [71]. A Figura 5.28 apresenta a amostra da linha de algodão (303CO) antes e após o processo de costura, onde se verifica o arrastar das fibras da superfície e o deslocamento dos cabos.





**Figura 5.28** - Visualização SEM da linha de costura de fio de algodão (303CO) antes do processo de costura (esquerda) e após o processo de costura (direita)

A Figura 5.29 apresenta a amostra da linha com alma de *lyocell* (303FT), após o processo de costura, onde se verifica que também existe o arrastar das fibras da superfície e o deslocamento dos cabos.



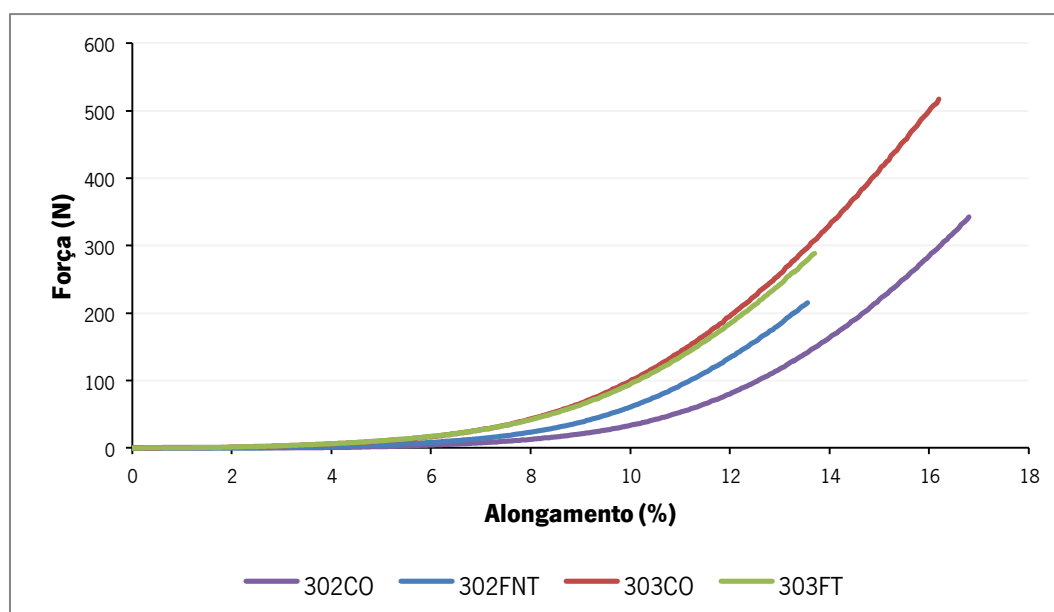
**Figura 5.29** - Visualização SEM da linha de costura com alma de *lyocell* (303FT) após o processo de costura

Nas linhas com alma a resistência e alongamento de rotura dependem principalmente da alma de filamentos. O arrastar das fibras da superfície, até a uma certa medida, não tem um efeito significativo na alteração destas propriedades [71]. No entanto, a linha no processo de costura é

fletida em ângulos de aproximadamente  $180^\circ$ , e nesse momento a linha é exposta a efeitos térmicos e de fricção entre a agulha e o material a costurar [103]. Esta flexão da linha da agulha tem uma geometria similar ao ensaio de resistência de laçada e que sofre uma tensão no momento da formação da laçada. Este movimento pode provocar alteração ou mesmo roturas iniciais nos filamentos de *lyocell* que conduz a uma perda mais elevada das propriedades mecânicas após o processo de costura.

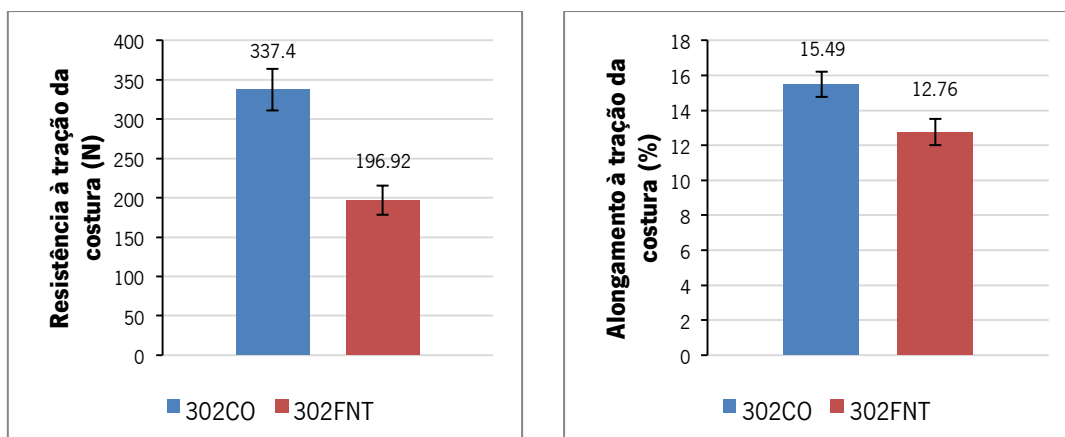
## 5.6 Qualidade da costura

Na Figura 5.30 apresentam-se as curvas típicas de força-alongamento das costuras, obtidas durante os ensaios de resistência à tração da costura no tecido com estrutura de sarja.

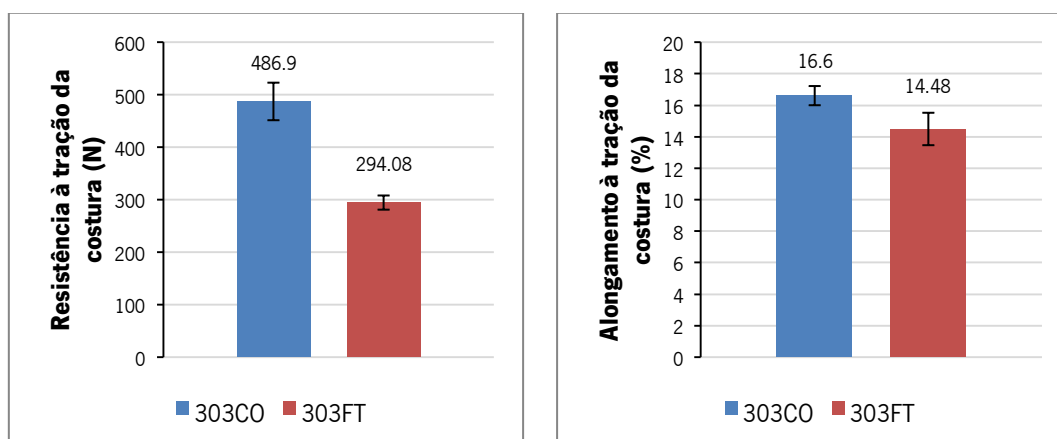


**Figura 5.30** - Curvas típicas força-alongamento da costura.

Na Figura 5.31 e na Figura 5.32 são apresentados os resultados obtidos em relação à resistência e alongamento à tração das costuras, para as amostras a 2 cabos e 3 cabos respetivamente.



**Figura 5.31** – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos



**Figura 5.32** – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e alongamento à tração da costura, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05;1;8)}$  (anexo 13). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa entre as costuras realizadas com as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocel* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT) e as costuras realizadas com as linhas de costura de algodão (302CO e 303CO). As linhas de costura de fio de algodão apresentam valores superiores de resistência e alongamento à tração da costura.

A Tabela 5.29 apresenta os resultados obtidos em termos de resistência e alongamento à tração do tecido com estrutura de sarja, para determinação da eficiência da costura.

**Tabela 5.29** - Resistência e alongamento à tração da sarja

	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Resistência à Tração da Sarja (N)</b>	989.20	67.46	6.82
<b>Alongamento à Tração do Sarja (%)</b>	14.72	0.62	4.23

Aplicando a expressão (Eq. 3.2) obtém-se a eficiência da costura para cada tipo de amostra (Tabela 5.30).

**Tabela 5.30** - Eficiência da costura das amostras com 2 e 3 cabos na sarja

<b>Amostras</b>	<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	<b>Resistência à Tração do Tecido (N)</b>	<b>Eficiência da Costura (%)</b>
<b>302C0</b>	338.48	989.20	34.22
<b>302FNT</b>	196.92	989.20	19.91
<b>303C0</b>	486.90	989.20	49.22
<b>303FT</b>	294.08	989.20	29.73

As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão apresentam uma eficiência da costura inferior em relação às linhas de costura de fio de algodão. Cerca de 41.82% para as amostras a 2 cabos e 39.60% para a amostra a 3 cabos.

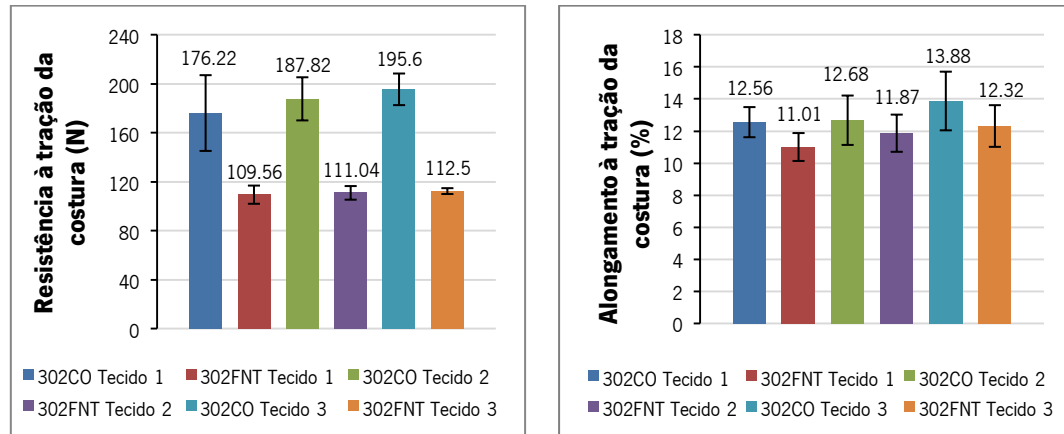
Com o objetivo de clarificar se as propriedades, como o fator de cobertura e a massa por unidade de superfície do tecido utilizado com estrutura de sarja, influenciaram a resistência e alongamento à tração da costura e conseqüentemente a eficiência da costura das diferentes linhas de costura, foi efetuado um estudo em 3 tipos de tecidos com diferentes massas por unidade de superfície e diferentes fatores de cobertura.

Na Tabela 5.31 são apresentados os resultados obtidos para caracterização dos tecidos com estrutura de tafetá.

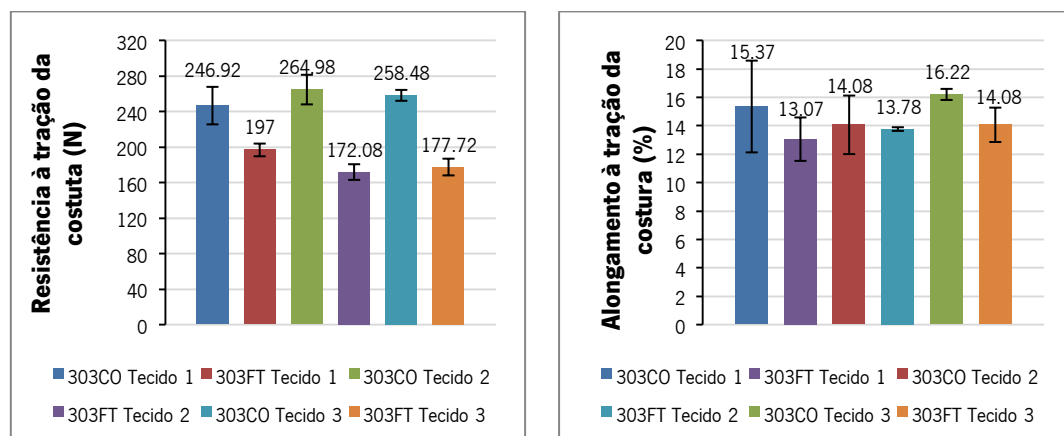
**Tabela 5.31** - Propriedades dos tecidos com estrutura de tafetá

<b>Propriedades</b>	<b>Tecido 1</b>	<b>Tecido 2</b>	<b>Tecido 3</b>
<b>Composição</b>	100% Algodão	100% Algodão	100% Algodão
<b>Estrutura</b>	Tafetá $\frac{1}{1}A_1$	Tafetá $\frac{1}{1}A_1$	Tafetá $\frac{1}{1}A_1$
<b>Fios/cm – Passagens/cm</b>	31 - 16	34 - 24	33 - 32
<b>tex da Teia - tex da Trama</b>	19.2 – 18.5	19.2 – 18.5	19.2 – 18.5
<b>Massa por Unidade de Superfície (g/m<sup>2</sup>)</b>	91.24	109.25	126.70
<b>Fator de Cobertura</b>	9.78	11.86	12.87

Na Figura 5.33 e na Figura 5.34 são apresentados os resultados obtidos em relação à resistência e alongamento à tração das costuras, para as amostras a 2 cabos e 3 cabos respectivamente, nos tecidos com estrutura de tafetá.



**Figura 5.33** – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos nos tecidos tafetá



**Figura 5.34** – Resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos nos tecidos tafetá

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e ao alongamento à tração da costura para cada tipo de linha de costura e tecido, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 2; 12)}$  (anexo 14). Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias estão agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 14). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa, em relação à resistência e ao alongamento à tração da costura, entre os 3 tecidos com estrutura de tafetá e por cada tipo de linha de costura. Excetua-se a amostra 303FT no tecido 1, que pode ser atribuído a variações na elaboração das costuras. Os diferentes fatores de cobertura e as diferentes massas por unidade de superfície dos três tecidos utilizados não

influenciaram a resistência e alongamento à tração das costuras efetuadas pelas diferentes linhas de costura.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação ao alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos e em todos os tecidos, verifica-se que  $F_{obs} < F_{(0.05; 5; 24)}$ . Com a aplicação do teste de *Tuckey* constata-se que as médias são agrupadas no mesmo grupo homogêneo (anexo 14). Conclui-se que não existe diferença estatisticamente significativa em relação ao alongamento à tração das costuras efetuadas pelas amostras com dois cabos e em todos os tecidos. As amostras com 3 cabos apresentam um comportamento similar. As linhas de costura de fio de algodão apresentam valores superiores de alongamento à tração da costura em relação às linhas de costura com alma filamentos de *lyocel* recobertos por fibras de algodão, nas amostras a 2 e a 3 cabos e em todos os tecidos.

Na análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência à tração da costura das amostras com 2 cabos e em todos os tecidos, verifica-se que  $F_{obs} > F_{(0.05; 5; 24)}$  (anexo 14). Conclui-se que existe diferença estatisticamente significativa em relação à resistência à tração das costuras efetuadas pelas amostras com dois cabos e em todos os tecidos. As amostras com 3 cabos apresentam um comportamento similar. As linhas de costura de fio de algodão apresentam valores superiores de resistência à tração da costura em relação às linhas de costura com alma filamentos de *lyocel* recobertos por fibras de algodão, nas amostras a 2 e a 3 cabos e em todos os tecidos.

Para determinar a eficiência da costura das diferentes amostras de linhas de costura determinou-se a resistência e alongamento à tração dos tecidos com estrutura de tafetá, cujos resultados se apresentam na Tabela 5.32.

**Tabela 5.32** - Resistência e alongamento à tração dos 3 tecidos tafetá

	<b>Tecidos</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Resistência à Tração (N)</b>	Tecido 1	450.20	14.51	3.22
	Tecido 2	449.60	14.20	3.16
	Tecido 3	482.60	24.53	5.08
<b>Alongamento à Tração (%)</b>	Tecido 1	7.97	0.25	3.19
	Tecido 2	9.62	0.16	1.67
	Tecido 3	15.82	0.33	2.09

Aplicando a expressão (Eq. 3.2), obtemos a eficiência de costura em cada tipo de tecido para as amostras a 2 cabos e a para as amostras a 3 cabos (Tabela 5.33 e Tabela 5.34 respetivamente).

**Tabela 5.33** - Eficiência da costura das amostras com 2 cabos nos 3 tecidos tafetá

Linhas de costura	Tecidos	Resistência à Tração da Costura (N)	Resistência à Tração do Tecido (N)	Eficiência da Costura (%)
<b>302CO</b>	Tecido 1	176.22	450.20	39.14
	Tecido 2	187.82	449.60	41.77
	Tecido 3	195.60	482.60	40.53
<b>302FNT</b>	Tecido 1	109.56	450.20	24.34
	Tecido 2	111.04	449.60	24.70
	Tecido 3	112.50	482.60	23.31

**Tabela 5.34** - Eficiência da costura das amostras com 3 cabos nos 3 tecidos tafetá

Linhas de costura	Tecidos	Resistência à Tração da Costura (N)	Resistência à Tração do Tecido (N)	Eficiência da Costura (%)
<b>303CO</b>	Tecido 1	246.92	450.20	54.84
	Tecido 2	264.98	449.60	58.94
	Tecido 3	258.48	482.60	53.56
<b>303FT</b>	Tecido 1	197.00	450.20	43.76
	Tecido 2	172.08	449.60	38.27
	Tecido 3	177.72	482.60	36.83

As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão apresentam uma eficiência da costura inferior em relação às linhas de costura de fio de algodão, em qualquer dos tecidos com estrutura de tafetá. Cerca de 37.81, 40.87 e 42.49%, para as amostras a 2 cabos e para o tecido 1, 2 e 3 respetivamente e de 20.2, 35.07 e 31.24%, para as amostras a 3 cabos e para o tecido 1, 2 e 3 respetivamente.

No tecido com estrutura de sarja também se obteve uma eficiência da costura inferior. Cerca de 41.82% para as amostras a 2 cabos e 39.6% para a amostra a 3 cabos.

A eficiência da costura é sempre inferior nas linhas de costura com alma em comparação à das linhas de costura de fio de algodão, independentemente da utilização de tecidos com menor massa por unidade de superfície e menor fator de cobertura. A explicação reside no facto das

linhas de costura de fio de algodão possuem uma maior tenacidade e alongamento de rotura em geometria de laçada. As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão sofrem maiores perdas de tenacidade e alongamento de rotura. Desta forma a eficiência da costura é influenciada, essencialmente, pelo tipo de linha de costura aplicada.

## 5.7 Tingimento em peça

A Figura 5.35 apresenta uma visualização do tingimento em peça, para os corantes utilizados e com concentrações de 0.1 e 0.5%, entre as linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO) e as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT).

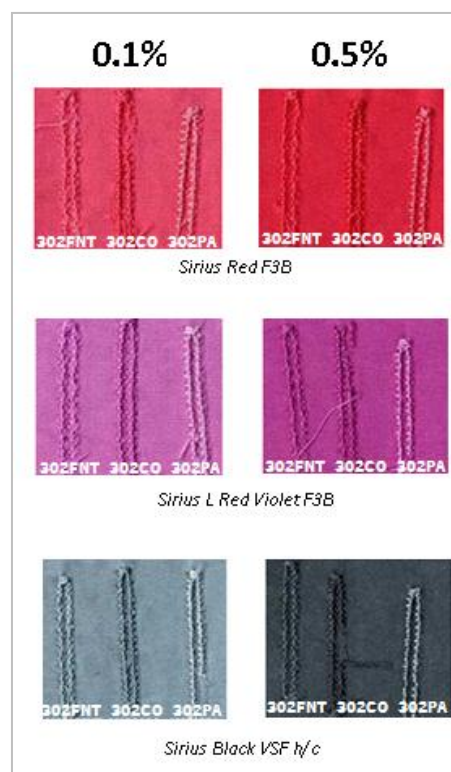


**Figura 5.35** - Tingimento em peça



Pelos resultados obtidos (Figura 5.35) no tingimento em peça, pode-se verificar que as linhas de costura de fio de algodão (302CO e 303CO) tendem a ficar com uma maior intensidade de cor, ou seja, mais escuras em relação ao tecido. Isto pode ser explicado pelo facto do tecido não ser mercerizado ao contrário das linhas de costura, e como foi descrito a mercerização melhora a afinidade ao tingimento. As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT e 303FT) apresentam uma intensidade de cor mais similar com a cor do tecido. Esta similaridade deve-se ao facto das fibras de recobrimento ocultarem alguma diferença de afinidade de tingimento dos filamentos de *lyocell* e de não serem mercerizadas como as fibras que compõem o tecido.

Na Figura 5.36 apresenta uma visualização do tingimento em peça, para os corantes utilizados e com concentrações de 0.1 e 0.5%, entre as linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão (302FNT), as linhas de costura de fio de algodão (302CO) e as linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de algodão (302PA).



**Figura 5.36** - Tingimento em peça com 302FNT, 302CO e 302PA

Nas linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de algodão os filamentos apresentam um tom de cor cru, pois o poliéster não tem afinidade com os corantes

diretos utilizados, mostrando um efeito salpicado da cor. Nas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão o mesmo efeito não se visualiza porque os filamentos de *lyocell* tingiram com os corantes diretos, não havendo necessidade de um novo tingimento para os filamentos de *lyocell*, como no caso dos filamentos de poliéster [142].

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS

Nesta investigação foram desenvolvidas linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão. Este desenvolvimento teve como principais operações o recobrimento dos filamentos de *lyocell* e posterior retorção, de forma a se obterem as linhas de costura a analisar neste trabalho de investigação. As propriedades analisadas foram comparadas com as das linhas de costura de fio de algodão, cuja aplicação se pretende substituir

A avaliação das propriedades físicas permitiu concluir que as linhas de costura desenvolvidas possuem um diâmetro e uma massa linear inferiores, em relação às linhas de costura de fio de algodão, obtendo-se linhas de costura com uma menor espessura. Este facto torna-se vantajoso, uma vez que uma espessura inferior para uma mesma aplicação permite obter costuras menos franzidas, menos afetadas pela abrasão, com um toque mais macio das costuras e possibilita a utilização de agulhas mais finas (diminuindo a possibilidade de distorção do tecido). Outra vantagem está relacionada com os valores inferiores de massa linear que permitem aos produtores de linhas de costura obter mais comprimento por unidade de peso, uma vez que o metro é a unidade de comercialização das linhas de costura.

As linhas de costura desenvolvidas apresentaram-se mais regulares em termos de massa linear ao longo do seu comprimento, demonstraram possuir menos imperfeições e apresentaram um grau mais elevado de pilosidades. Todavia, estas propriedades não influenciaram o seu desempenho no processo de costura, por não se obterem diferenças nas tensões geradas na linha da agulha, quando comparadas com as linhas de costura de fio de algodão.

Em termos de estabilidade dimensional e nomeadamente em relação ao encolhimento ao calor a seco a 180°C, todas as linhas de costura analisadas mantiveram sua condição inicial. O que significa que as costuras, produzidas com as linhas de costura analisadas permanecerão inalteradas quando expostas a tratamentos de prensagem a ferro ou prensagem permanente até 180°C. Em termos de encolhimento em água à ebulição as linhas de costura desenvolvidas apresentaram um menor encolhimento. Deste modo, as costuras produzidas com as linhas de costura desenvolvidas quando sujeitas a lavagens, devido a uma maior estabilidade dimensional, tenderiam a produzir costuras menos franzidas e a afetar menos a aparência dos tecidos frágeis, do que as costuras produzidas com as linhas de costura de fio de algodão.

A avaliação das propriedades mecânicas permitiu concluir que as linhas de costura desenvolvidas, apesar de possuírem uma massa linear inferior, mostraram tenacidades similares e com alongamentos de rotura superiores. Revelaram um módulo de elasticidade superior, indiciando que terão um melhor desempenho no processo de costura, concernente à diminuição da ocorrência de pontos falsos e de costuras franzidas, melhorando a aparência da costura.

No estado molhado, o alongamento de rotura aumentou em todas as linhas de costura analisadas. Contudo, nas linhas de costura desenvolvidas a tenacidade diminuiu ao contrário das linhas de costura de fio de algodão que aumentou. Esta diminuição da tenacidade conjuntamente com as tensões mecânicas sofridas no processo de tingimento em peça poderão ser a causa de um aumento de costuras danificadas ou destruídas.

As linhas de costura desenvolvidas apresentaram uma eficiência de laçada inferior às linhas de costura de fio de algodão, demonstrando que tenderiam a produzir costuras menos eficientes do que as costuras produzidas pelas linhas de costura de fio de algodão. A resistência à abrasão também se apresentou inferior. O facto de possuírem uma menor espessura, e conseqüentemente uma maior tendência à incorporação no tecido, nas mesmas condições de costura, não teve uma influência na melhoria da resistência à abrasão das costuras produzidas com as linhas de costura desenvolvidas.

A avaliação das propriedades de atrito demonstrou que, para todas as linhas de costura analisadas, o coeficiente de atrito é influenciado pela quantidade pretendida de lubrificante, diminuindo com o aumento da quantidade pretendida de lubrificante até 5% e não apresentando diferença com uma quantidade pretendida de lubrificante de 3%. No entanto, na análise das tensões geradas na linha da agulha durante a formação da laçada, quando ocorre a tensão máxima da linha da agulha e a agulha penetra o material, a lubrificação das linhas de costura influenciou as tensões. Estas diminuíram com o aumento da quantidade pretendida de lubrificante, obtendo-se as tensões mais baixas quando a quantidade pretendida de lubrificante é de 5%. Quando o freio começa o seu movimento ascendente, a lubrificação das linhas de costura teve pouca influência nas tensões geradas na linha da agulha. O lubrificante aplicado com uma quantidade pretendida de 5% permitiu obter um bom desempenho das linhas de costura no processo de costura. As estruturas distintas das linhas de costura não tiveram influência nas tensões geradas na linha da agulha, sendo as tensões influenciadas pela lubrificação.

Após o processo de costura e nas mesmas condições existiu uma perda superior nas propriedades mecânicas das linhas de costura desenvolvidas. Esta perda deve-se à estrutura e

composição das linhas de costura, uma vez que o tecido e as condições de costura foram as mesmas e as tensões geradas na linha da agulha demonstraram ter valores semelhantes.

As propriedades da costura das linhas de costura desenvolvidas evidenciaram um alongamento e resistência à tração da costura inferiores às linhas de costura de fio de algodão. Aquelas produzem costuras menos eficientes, independentemente do tecido utilizado.

As linhas de costura com alma de filamentos de *lyocell* recobertos por fibras de algodão demonstraram uma eficiência de laçada e eficiência de costura bastante inferiores em relação às linhas de costura de fio de algodão.

A impossibilidade de utilizar filamentos de *lyocell* com polpa de madeiras distintas e com diferentes massas lineares condicionou a investigação deste trabalho, no sentido de se criarem alternativas de modo a ultrapassar as desvantagens relativamente a algumas propriedades mecânicas.

No tingimento em peça, as linhas de costura de fio de algodão apresentaram uma intensidade de cor mais escura em relação à cor do tecido, pelo facto do tecido ser produzido por fibras de algodão não mercerizado contrariamente às fibras das linhas de costura. As linhas de costura desenvolvidas exibiram uma intensidade de cor mais similar à cor do tecido. Por um lado as fibras de recobrimento não são mercerizadas e por outro ocultam alguma diferença de afinidade dos filamentos de *lyocell* que possa ocorrer no tingimento. Nas linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por algodão não é possível ocultar alguma diferença de afinidade dos filamentos, uma vez que estes não tingem com os corantes utilizados no tingimento do algodão.

Na Tabela 6.1 apresentam-se os objetivos específicos deste trabalho de investigação e a sua satisfação.

**Tabela 6.1** – Satisfação dos objetivos

Objetivo	Atingido	Parcialmente Atingido	Não Atingido
Melhoria do desempenho no processo de costura		X	
Melhoria da eficiência e do alongamento à tração da costura			X
Obtenção de uma afinidade tintorial semelhante	X		

De uma forma geral, o objetivo de melhorar o desempenho durante o processo de costura foi atingido. Além de não evidenciarem diferenças nas tensões geradas na linha da agulha, demonstraram uma maior possibilidade de reduzir costuras franzidas e uma menor possibilidade de ocorrência de pontos falsos, quando comparadas com as linhas de costura de fio de algodão. Não obstante, apresentaram uma perda superior das propriedades mecânicas após o processo de costura e uma eficiência de laçada inferior.

Por outro lado, o objetivo de melhorar a eficiência e alongamento à tração da costura, reduzindo ou mesmo eliminando o arranjo de costuras, obtendo-se desta forma uma maior rentabilidade e com vantagens económicas, não foi alcançado. As costuras produzidas com as linhas de costura desenvolvidas mostraram-se menos eficientes. Por estas razões conclui-se que as costuras efetuadas com as linhas de costura desenvolvidas, quando submetidas ao processo do tingimento em peça e às tensões mecânicas sofridas durante este processo tenderão a produzir um maior número de costuras rompidas e conseqüentemente mais retificações.

Por último, foi conseguida uma afinidade tintorial semelhante às linhas de fio de algodão e pelo mesmo processo de tingimento em peça. Para tecidos produzidos com fibras de algodão não mercerizado as linhas de costura desenvolvidas demonstraram uma cor mais similar relativamente à cor do tecido. Com as linhas de costura desenvolvidas elimina-se a necessidade de mais que um processo de tingimento, ao contrário das linhas de costura com alma de filamentos de poliéster recobertos por fibras de algodão que necessitam de um duplo tingimento.

### **Perspetivas**

Aperfeiçoar a eficiência da costura e o alongamento à tração da costura deverá ser o foco principal para a continuidade desta investigação.

Uma alternativa passará pela extrusão de filamentos de *lyocell* com polpa de madeiras distintas e com diferentes massas lineares, permitindo obter na fase de recobrimento percentagens relativas dos componentes. Avaliar o comportamento mecânico dos diferentes tipos de filamentos de *lyocell*, com distintas massas lineares e diferentes tipos de recobrimento.

A incorporação de filamentos sintéticos em poliamida, em poliéster e outros, no interior dos filamentos de *lyocell* durante a extrusão poderá ser outra alternativa. Deste modo, objetivar-se-á melhorar as propriedades mecânicas, não influenciando o tingimento em peça, uma vez que os filamentos sintéticos ficarão recobertos pelos filamentos de *lyocell*. Contudo, com perda de parte

das vantagens ecológicas. Avaliar o comportamento mecânico com a incorporação dos filamentos sintéticos das diversas matérias-primas.

A torção dos filamentos de *lyocell* no sentido Z anteriormente à operação de recobrimento deverá ser investigada. Deverá ser realizada a análise das propriedades mecânicas e verificar se a influência negativa encontrada nos filamentos torcidos no sentido S se mantém.

A mercerização destas linhas deverá também ser um ponto a investigar para se verificar a alteração das propriedades mecânicas e a afinidade ao tingimento.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Textiles - Morphology of fibres and yarns - Vocabulary," in *ISO 8159*, ed, 1987.
- [2] R. M. Laing and J. Webster, *Stitches and Seams*. Manchester: The Textile Institute, 1998.
- [3] "Standard Test Methods for Sewing Threads," in *ASTM D 204*, ed, 1997.
- [4] J. O. Ukponmwan, *et al.*, "Sewing Threads," *Textile Progress*, vol. 30, pp. 1-91, Mar. 2000.
- [5] COATS. (2011, 04 Aug.). *Coats Sewing Solutions* [Em linha]. Disponível em: [http://www.coatssewingsolutions.com/sewingsolutions/download/Bulletin07\\_AllAboutThreads.pdf](http://www.coatssewingsolutions.com/sewingsolutions/download/Bulletin07_AllAboutThreads.pdf)
- [6] M. Araújo, *Tecnologia do Vestuário*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- [7] Anon., *The Technology of Thread and Seams*. Glasgow: J & P Coats Ltd.
- [8] D. West, "Spun polyester, prince of threads," *Textile Asia*, vol. 23, pp. 34-40, Nov. 1992.
- [9] Amann Group. (2011, 03 Mar.). *Presse internationale* [Em linha]. Disponível em: [http://www.amann.com/news/presse-international/presse-international-detail.html?tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=413&tx\\_ttnews\[backPid\]=66&cHash=54c95d44d3](http://www.amann.com/news/presse-international/presse-international-detail.html?tx_ttnews[tt_news]=413&tx_ttnews[backPid]=66&cHash=54c95d44d3)
- [10] Amann Group. (2011, 04 Apr.). *Industrial sewing threads* [Em linha]. Disponível em: <http://www.amann.com/en/download/industrial-sewing-threads.html>
- [11] A. Pyper, "Sewing thread for industrial textiles.," *International Textile Bulletin: Nonwovens, Industrial Textiles* vol. 47, pp. 6-11, Jan. 2001.
- [12] A. Fellmann, "Best seam elasticity through the use of elastic sewing threads.," *Melliand Textilberichte* vol. 85, pp. E150-E152, Nov. 2004.
- [13] M. Schneider and C. Koppenberg, "For reinforcement of composites," *TUT Textiles a Usages Techniques*, vol. 58, pp. 30-33, 2005/2006.
- [14] ASCOLITE. (2009, 04 Aug.). *The button-loss problem* [Em linha]. Disponível em: <http://www.ascolite.com>
- [15] D. West, "Sewing thread - how to choose," *Textile Asia*, vol. 24, pp. 82-87, May 1993.
- [16] M. Araújo and E. M. M. e. Castro, *Manual de Engenharia Têxtil* vol. II. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.
- [17] M. Lewin and E. M. Pearce, *Handbook of Fiber Chemistry*, Second ed. New York: Marcel Dekker; Inc., 1998.
- [18] Amann Group. (2011, 22 Dec.). *Vopsire material textile* [Em linha]. Disponível em: <http://www.amann.ro/index.php?id=61>
- [19] W. Albrecht, *et al.*, "Lyocell fibers," *Man-Made Fibers Year Book*, pp. 41-47, Sep. 1997.
- [20] U. Sayed, *et al.*, "Lyocell: Fibre of Future," *Colourage*, vol. 49, pp. 33-36, Oct. 2002.
- [21] D. T. Ward, "Lyocell: la innovación más prometedora de la industria de las fibras," *International Textile Bulletin*, vol. 44, pp. 10-17, Mar. 1998.

- [22] S. Thumm and T. Hohberg, "Lyocell filamento-un hilado con multiplas facetas," *International Textile Bulletin*, vol. 44, pp. 81-86, May 1998.
- [23] Lenzing, "A tale of two lyocells," *Norwovens Report International*, p. 22, Dec. 2004.
- [24] Anon., "Tencel production expansion," *Textile Month*, p. 4, May 2007.
- [25] U. Nef, "Lyocell A Inovadora Fibra Química," *Nova Têxtil*, vol. 47, pp. 34-35, 1998.
- [26] UFRJ - Escola de Química. (2008, 08 Apr.). *Lyocell* [Em linha]. Disponível em: [http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Valor%20Res%20Aground\\_aula%2005.pdf](http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Valor%20Res%20Aground_aula%2005.pdf)
- [27] A. Woodward. (2008, 08 Aug.). *Lyocell* [Em linha]. Disponível em: <http://www.madehow.com/Volume-5/Lyocell.html>
- [28] J. Kroschwitz and M. Howe-Grant, in *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4 ed: Wiley Interscience publication, 1993.
- [29] J. Blackwell, *et al.*, *Structures of Native and Regenerated Celluloses, The Structures of Cellulose. Characterization of the Solid States*. Washington D.C, 1987.
- [30] H. Struszyk, "Alternative Wetspun Technologies for Manufacture of Cellulosic Fibers, The "Viscose Family"," Singapore Apr. 1997.
- [31] H. Struszyk, "Cellulose fibers: State of the Art and Development Forecast," *Chemical Fibers International*, vol. 46, pp. 265-267, Apr. 1996.
- [32] D. Loubinoux and S. Chaunis, "An Experimental Approach to Spinning New Cellulose Fibers with N-Metilmorfolina-Oxide as a Solvent," *Textile Research Institute*, vol. 57, pp. 61-65, Feb. 1987.
- [33] W. Feilmair, "Lenzinger Lyocell-Technologie," *Lenzinger Berichte*, vol. 76, pp. 92-94, 1997.
- [34] R. Kruger, "Cellulosic Filament Yarn from the NMMO Process," *Lenzinger Berichte*, vol. 74, pp. 49-53, 1994.
- [35] J. Valldeperas and M. J. L. Arias, "¿Qué son las Fibras Lyocell?," *Revista de Química Textil*, vol. 133, Jul. 1997.
- [36] P. A. Koch, "Lyocell Fibers (alternative regenerated cellulose fibers)," *Chemical Fibers International*, vol. 47, pp. 298-304, Apr. 1997.
- [37] J. T. Guthrie and C. S. Manning, "The Cellulose/N-methylmorpholine-N-oxide/H<sub>2</sub>O Solution System; Degradation Aspects, Cellulose Sources and Exploitation," *Ellis Horwood Limited*, pp. 50-57, 1990.
- [38] S. A. Mortimer and A. Péguy, "Spinning of Fibres through the N-methylmorpholine- N-oxide Process," *Cellulose and cellulose derivates: Physico-chemical aspects and Industrials applicatons*, vol. 72, pp. 561-567, 1995.
- [39] J. M. Taylor, "Tencel, a unique cellulosic fibre," *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, vol. 114, pp. 191-193, Jul. 1998.
- [40] Marini, *et al.*, "Lenzing Lyocell," *Lenzinger Berichte*, vol. 74, pp. 53-56, 1994.
- [41] Anon., "O futuro das fibras sintéticas Courtaulds Lyocell®," *Nova Têxtil*, vol. 48, pp. 36-37, 1998.

- [42] F. C. Navarrete, "Caracterización Estructural de Fibras Lyocell y su Comportamiento Frente a Processos de Degradación," PhD Tese, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 2002.
- [43] H. Schwi ppl, "Lyocell - una fibra moderna," *Revista de la Indústria Textil*, vol. 412, pp. 20-25, 2003.
- [44] W. Müller, "Innovative technology," *Textile Network*, vol. 2, pp. 18-21, Jan. 2004.
- [45] Anon., "Tencel® by Lenzing a solução para peles sensíveis," *Nova Têxtil*, vol. 84, pp. 36-37, 2007.
- [46] K. Macfarlane, "Nonwovens Applications of Lyocell Fibers," *Chemical Fibers International*, vol. 47, pp. 328-333, Sep. 1997.
- [47] Anon., "Cellulosefaserstoffe für Anwendungen im Automobilbereich," *AVR Allgemeiner Vliesstoff-Report*, pp. 30-31, Apr. 2003.
- [48] S. Pitch, "Fields of Application and finishing behavior of Newcell," *Chemical Fibers International*, vol. 48, pp. 36-37, Feb. 1998.
- [49] Anon., "New developments in Lyocell," *High Performance Textiles*, pp. 2-3, Aug. 1995.
- [50] C. H. Rohrer, *et al.*, "Lyocell LF Fibra celulósica exenta de fibrilación," *Revista de la Indústria Textil*, vol. 387, pp. 38-45, 2001.
- [51] D. Eichinger, *et al.*, "Lenzing Lyocell Fill Fibra de relleno para artículos acolchados," *Revista de la Indústria Textil*, vol. 401, pp. 47-50, 2002.
- [52] Anon., "New Tencel Lyocell fiber for filling," *Chemical Fibers International*, vol. 56, p. 102, Feb. 2006.
- [53] S. Zikeli, "Lyocell fibers with seaweed for promoting health effects," *Asian Textile Journal*, vol. 10, pp. 24-25, Dec. 2001.
- [54] American & Efird. (2011, 08 Aug.). *Industrial Sewing Thread* [Em linha]. Disponível em: <http://www.amefird.com/products-brands/industrial-sewing-thread/thread-construction/>
- [55] American & Efird. (2011, 08 Aug.). *Endurance* [Em Linha]. Disponível em: <http://www.wireworld.com/amefird/endurance.html>
- [56] HILATURAS JORDÁ. (2011, 08 Aug.). *Lyocell* [Em linha]. Disponível em: <http://www.hilaturasjorda.com/html/oferta/port/lyocell/lyocelll.html>
- [57] T. R. Burrows, *et al.*, "Sewing thread, articles sewn therewith, and dyeing of such articles," U.S Patent 6136432 Patent, 2000.
- [58] B. K. Behera and S. Sharma, "Low stress behaviour and sewability of suiting and shirting fabrics," *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, vol. 23, pp. 233-241, Apr. 1998.
- [59] J. Solinger, *Apparel Manufacturing Handbook*. Columbia: Bobbin Blenheim, 1989.
- [60] W. E. Rosenblad and M. Cednas, "The influence of fabric properties on seam puckering," *Clothing Research Journal*, vol. 1, pp. 20-26, Mar. 1973.
- [61] G. Stylos and D. W. Lloyd, "Prediction of seam pucker in garments by measuring fabric mechanical properties and geometric relationship," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 2, pp. 6-15, Jan. 1990.

- [62] S. Mandal, "Studies on seam Quality with Sewing Thread Size, Stitch Density and Fabric Properties," M.Sc Thesis, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2008.
- [63] H. Carr and B. Latham, *The Technology of Clothing Manufacturing*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1995.
- [64] R. E. Glock and G. I. Kunz, *Apparel Manufacturing: Sewn Product Analysis*. New Jersey: Englewood Cliffs, 1995.
- [65] "Têxteis. Propriedades de tracção da costura em tecidos e artigos confeccionados. Parte 1: Determinação da força máxima à ruptura da costura pelo método da tira," in *NP EN ISO 13935-1*, ed, 2001.
- [66] N. Tarafdar, *et al.*, "The effect of stitch density on seam performance of garments stitched from plain and twill fabrics," *Man-made Textiles in India*, vol. 50, pp. 298-302, Aug. 2007.
- [67] Anon., "Calidad: El Hilo de Coser (X)," *Confecção Industrial*, vol. 356, pp. 25-29, 1997.
- [68] N. Frency, *et al.*, "Sewing thread vs. garment quality," *Textile Asia*, vol. 38, pp. 73-77, Aug. 2007.
- [69] F. B. N. Ferreira, *et al.*, "A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine (Part I)," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 6, pp. 14-19, Jan. 1994
- [70] G. Sundaresan, *et al.*, "Strength reduction in sewing threads during high speed sewing in industrial lockstitch machine: Part I - Mechanism of thread strength reduction," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 9, pp. 334-345, May 1997.
- [71] V. K. Midha, *et al.*, "Studies on the Change in Tensile Properties of Sewing Thread at Different Sewing Stages," *Textile Research Journal*, vol. 79, pp. 1155-1167, Sep. 2009.
- [72] R. H. Crow and N. H. Chamberlain, "The Performance of Sewing Threads in Industrial Sewing Machines," The Clothing Institute, London, Clothing Institute Technological Report1969.
- [73] J. Gersak and B. Knez, "Reduction in thread strength as a cause of loading in sewing process," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 3, pp. 6-12, Apr. 1991.
- [74] G. Sundaresan, *et al.*, "Strength reduction in sewing threads during high speed sewing in industrial lockstitch machine: Part II - Effect of thread and fabric properties," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, pp. 64-79, Jan. 1998.
- [75] A. M. Ferreira, "Estudo da dinâmica da costura numa máquina de costura ponto preso," Master, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2009.
- [76] S. F. Ng and C. L. Hui, "Development of sewability integrated environment," *Textile Asia*, vol. 31, pp. 48-49, Nov. 2000.
- [77] P. Parimalam, *et al.*, "Ergonomic interventions to improve work environment in garment manufacturing units," *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 10, pp. 74-77, May 2006.
- [78] S. Mandal and N. Abraham, "An overview of sewing threads mechanical properties on seam quality," *Pakistan Textile Journal*, pp. 40-43, Jan. 2010.
- [79] B. K. Behera, "Evaluation and selection of sewing thread," *Textile Trends*, vol. 39, pp. 33-42, Dec. 1997.

- 
- [80] R. A. L. Miguel, *et al.*, "Fabric design considering the optimisation of seam slippage," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 17, pp. 225-231, Mar. 2005.
- [81] B. U. Nergis, "Performance of seams in garments," *African Textiles*, pp. 29-31, Dec./Jan. 1997/1998.
- [82] G. Stylos and D. W. Lloyd, "The mechanism of seam puckers in structural jamming woven fabric," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 1, pp. 5-11, Jan. 1989.
- [83] B. K. Behera, *et al.*, "Sewability of denim," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 9, pp. 128-140, Feb. 1997.
- [84] N. Tarafdar, *et al.*, "Study of sewability parameters of different shirting fabrics," *Man-made Textiles in India*, vol. 48, pp. 463-467, Dec. 2005.
- [85] G. Stylos and D. W. Lloyd, "A technique for identification of seam pucker due the structural jamming," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 1, pp. 60-68, Feb. 1989.
- [86] T. J. Kang, *et al.*, "Fabric surface roughness evaluation using wavelet-fractal Method Part I: wrinkle, smoothness and seam pucker.," *Textile Research Journal*, vol. 75, pp. 751-760, Nov. 2005.
- [87] S. Kawabata, *et al.*, "An experiment on human sensory measurement and its objective measurement: case of the measurement of seam puckers level," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 9, pp. 203-206, Feb. 1997.
- [88] S. Kawabata and M. Niwa, "Clothing engineering based on objective measurement technology," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, pp. 263-272, Mar. 1998.
- [89] R. Chmielowiec, "Seam strength factors," *Textile Asia*, vol. 18, pp. 94-97, 1987.
- [90] Z. Stjepanovic and H. Strah, "Selection of suitable sewing needle using machine learning techniques," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, pp. 209-218, Mar. 1998.
- [91] K. P. S. Cheng and K. P. W. Poon, "Seam properties of woven fabrics," *Textile Asia*, vol. 33, pp. 30-34, Mar. 2002.
- [92] C. J. Salter, *et al.*, "Lightweight woll garment wrinkle performance - A wear experiment," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, pp. 50-63, Jan. 1998.
- [93] B. S. Gupta, *et al.*, "Directional variations in fabric properties and seam quality," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 4, pp. 71-78, Feb. 1992.
- [94] A. Mukhopadhyay, *et al.*, "Impact of laundering on the seam tensile properties of suiting fabric," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 16, pp. 394-403, Apr. 2004.
- [95] R. Seiler, "Seam puckering in shirt manufacturing " *Apparel manufacturer*, pp. 24-29, Feb. 1990.
- [96] T. H. Lin, "Construction of predictive model on fabric and sewing thread optimization," *Journal of Textile Engineering*, vol. 50, pp. 6-11, 2004.
-

- [97] C. K. Park and T. J. Kang, "Objective Evaluation of seam pucker using artificial intelligence: part I geometric modeling of seam pucker," *Textile Research Journal*, vol. 69, Oct. 1999.
- [98] J. Fan and F. Liu, "Objective evaluation of garment seams using 3D laser scanning technology," *Textile Research Journal*, vol. 70, pp. 1025-1030, Nov. 2000.
- [99] L. Hes, *et al.*, "The effect of selected mechanical properties acquired by the KES-F instruments on the level of puckering of cotton fabrics after washing," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 9, pp. 188-192, Mar. 1997.
- [100] D. Z. Pavlinic, *et al.*, "Predicting seam appearance quality," *Textile Research Journal*, vol. 76, pp. 235-242, Mar. 2006.
- [101] B. Meric and A. Durmaz, "Effect of thread structure and lubrication ratio on seam properties," *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, vol. 30, pp. 273-277, Sep. 2005.
- [102] R. M. Vasconcelos, "Contribuição à aplicação de técnicas de inteligência artificial na tecnologia de fição," PhD Tese, Universidade do Minho, Braga, 1993.
- [103] A. Rudolf and J. Gersak, "Study of the relationship between deformation of the thread and built-in-fibres," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 13, pp. 289-300, Mar. 2001.
- [104] A. Rudolf and J. Gersak, "Influence of twist on the mechanical properties of a sewing thread," presented at the 1st International Textile Clothing & Design Conference, Dubrovnik, Croatia, Oct. 2002.
- [105] COATS. (2011, 29 Jun.). *World of dymax* [Em linha]. Disponível em: <http://www.coatschina.com/PDF%20Folder/dymax%28E%29.pdf>
- [106] D. S. Hamby, *The American Cotton Handbook*, Third ed. vol. I. North Carolina: Interscience Publishers, 1965.
- [107] A. Prince. (2011, 30 Sep.). *Quality assesement of sewing threads* [Em linha]. Disponível em: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/textile-industry-articles/quality-assessment-of-sewing-threads/quality-assessment-of-sewing-threads6.asp>
- [108] A. Barella, "Yarn Hairiness," *Textile Progress*, vol. 13, pp. 1-57, Jan. 1983.
- [109] N. M. P. Gonçalves, "Parametrização de um Fio Têxtil Baseado em Técnicas de Processamento de Imagens," Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2010.
- [110] A. Barella, "The Hairiness of Yarns," *Textile Progress*, vol. 24, pp. 1-39, Mar. 1993.
- [111] A. Prince. (2011, 29 Sep.). *Quality assesement of sewing threads* [Em linha]. Disponível em: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/textile-industry-articles/quality-assessment-of-sewing-threads/quality-assessment-of-sewing-threads5.asp>
- [112] S. D. Pai, *et al.*, "Seam quality of cotton threads," *Textile Asia*, vol. 15, pp. 80-81, Jun. 1984.
- [113] K. R. Salhotra, *et al.*, "Sewing threads properties," *Textile Asia*, vol. 25, pp. 46-57, Sep. 1994.
- [114] P. Grafton, "Needle Developments," *World Clothing Manufacturer*, vol. 76, pp. 22-24, Jan. 1995.

- [115] N. Tait, "Needles and threads - the prerequisite of any sewing operation," *Apparel International*, vol. 28, Jul. 1997.
- [116] J. M. Preston and M. V. Nimkar, "Measuring the swelling of fibres in water," *Journal of Textile Institute*, vol. 40, pp. 674-688, 1949.
- [117] R. Meredith, "The tensile behavior of raw cotton and other textile fibre," *Journal of Textile Institute*, vol. 36, pp. T107-T130, 1945.
- [118] C. V. Le, "Heat and Moisture Transfer in Textile Assemblies," *Textile Research Journal*, vol. 65, pp. 265-272, May 1995.
- [119] T. Daikhuara and H. Kido, "Behavior of cotton Threads soaked in water and dried in air," *Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses*, vol. 19, p. 388, 1978.
- [120] R. S. Figueiro, "Optimização do Desenvolvimento de Preformas em Malha de Trama para Materiais Compósitos," PhD Tese, Universidade do Minho, Braga, 2002.
- [121] "Têxteis. Fios sob a forma de enrolamento. Determinação da força de rotura e alongamento de rotura," in *NP EN ISO 2062*, ed, 1997.
- [122] M. Mori and M. Niwa, "Investigation of the performance of sewing thread," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 6, pp. 20-27, Feb. 1994.
- [123] A. Crook, *Textiles*, vol. 29, p. 14, 1991.
- [124] J. E. Booth, *Principles of Textiles Testing: An introduction to Physical Methods of Testing Fibres, Yarns and Fabrics*, Third ed. London: Newnes-Butterworth, 1968.
- [125] P. Kamat, "Basics of sewing thread finishing," *Colourage*, vol. 51, pp. 42-46, Mar. 2004.
- [126] R. S. Rengasamy and S. Wesley, "Tensile Behavior of Sewing Threads under Simple-Tensile, Loop and Knot Tests," *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, vol. 7, pp. 1-21, 2011.
- [127] D. Zunic-Lojen and J. Gersak, "Determination of the sewing thread friction coefficient," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 15, pp. 241-249, Mar. 2003.
- [128] S. H. Eryuruk and F. Kalaoglu, "The Effects of Different Amounts of Lubricant Application on the Sewing Threads Performance Properties," *Textile Research Journal*, vol. 80, pp. 1232-1242, Jul. 2010.
- [129] P. Kamat, "Basics of sewing thread lubrication," *Colourage*, vol. 51, pp. 43-44, Jan. 2004.
- [130] A. Rudolf and J. Gersak, "The Influence of Thread Twist on Alterations in Fibers Mechanical Properties," *Textile Research Journal*, vol. 76, pp. 134-144, Feb. 2006.
- [131] Graf. (2010, 23 Apr.). *Silwa TL100* [Em linha]. Disponível em: <http://www.graf-chemie.com/lang-en/downloads.html>
- [132] Graf. (2010, 25 Sep.). *Graf Threadlub* [Em linha]. Disponível em: [http://www.graf-chemie.com/images/stories/downloads/textilflyer/threadlub\\_tl100.pdf](http://www.graf-chemie.com/images/stories/downloads/textilflyer/threadlub_tl100.pdf)
- [133] J. Gersak, "Rheological properties of the thread: their influence on dynamic loads in the sewing process " *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 7, pp. 71-80, Feb. 1995.

- [134] Anon., "Spinning Systems-Sumario de productos," Uster, Ed., ed: Zellweger Uster AG, 1993.
- [135] M. A. F. Carvalho, "Estudo das Relações entre os Parâmetros de Controlo, Propriedades dos Materiais e Condições de Regulação numa Máquina de Costura Corta-e-Cose," PhD Tese, Universidade do Minho, Guimarães, 2003.
- [136] A. M. Ferreira. (2010, 22 Nov.). *SPSS - Manual de Utilização* [Em linha]. Disponível em: <http://www.esef.ufrgs.br/gpat/spss.pdf>
- [137] H. B. Öztürk and T. Bechtold, "Splitting Tendency of Cellulosic Fibres," *Lenzinger Berichte*, vol. 84, pp. 123-129, 2005.
- [138] M. Araújo and E. M. M. Castro, *Manual de Engenharia Têxtil* vol. I. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.
- [139] J. G. Guillén, *Fibras Textiles: Propriedades y Descripción*. Terassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1991.
- [140] J. G. Cook, *Handbook of Textile Fibres: Natural Fibres*, Fifth ed. vol. I. Durham: Merrow, 1984.
- [141] W. E. Morton and J. W. S. Hearle, *Physical Properties of Textile Fibres*, Third ed. Manchester: The Textile Institute, 1997.
- [142] H. Uehara, *et al.* (2007, Mar.), Effects of knot characteristics on tensile breaking of a polymeric monofilament. *New Journal of Physics* [Em linha]. *9(65)*, pp. 1-15. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/1367-2630/9/3/065/fulltext/>



## ANEXOS

### Anexo 1

Na tabela seguinte são apresentadas as caracterizações dos filamentos em relação ao número de voltas/m da torção no sentido S.

Caracterização dos filamentos no sentido S

<b>Voltas/m</b>	<b>Massa Linear (tex)</b>	<b>Resistência de Rotura (N)</b>	<b>Alongamento de Rotura (%)</b>	<b>Tenacidade (cN/tex)</b>
<b>0</b>	13.64	4.27	3.96	31.30
<b>66</b>	13.84	4.25	4.49	30.70
<b>100</b>	13.89	4.49	4.89	32.30
<b>150</b>	13.83	4.66	5.16	33.70
<b>200</b>	14.13	4.72	5.43	33.50



## Anexo 2

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos em relação à massa linear, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Massa linear das amostras com 2 cabos.

<b>Massa Linear (tex)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
302FNT1	41.93	0.27	0.65
302FNT2	41.37	0.28	0.69
302FNT3	41.89	0.37	0.89
<b>302FNT</b>	<b>41.73</b>	<b>0.31</b>	<b>0.74</b>
302C03	43.21	0.38	0.87
302C04	42.57	0.71	1.68
302C09	42.88	0.82	1.90
<b>302C0</b>	<b>42.89</b>	<b>0.32</b>	<b>0.75</b>
302FT3	42.40	0.27	0.65
302FT5	42.82	0.32	0.75
302FT6	43.14	0.32	0.74
<b>302FT</b>	<b>42.79</b>	<b>0.37</b>	<b>0.86</b>

Massa linear das amostras com 3 cabos.

<b>Massa Linear (tex)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
303C03	64.60	0.58	0.90
303C05	64.00	0.99	1.55
303C09	65.40	0.80	1.23
<b>303C0</b>	<b>64.67</b>	<b>0.70</b>	<b>1.08</b>
303FT9	63.7	0.48	0.75
303FT10	61.5	0.37	0.61
303FT11	63.4	0.41	0.64
<b>303FT</b>	<b>62.87</b>	<b>1.19</b>	<b>1.89</b>



### Anexo 3

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação à torção, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Torção das amostras com 2 cabos

Torção (voltas/m)						
Amostras	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 27)</sub>
302FNT1	849	16.47	1.94	0.437	0.648	3.15
302FNT2	855	20.24	2.37			
302FNT3	850	24.20	2.85			
<b>302FNT</b>	<b>851</b>	<b>3.21</b>	<b>0.38</b>			
302C03	738	19.13	2.59	0.253	0.791	3.15
302C04	735	17.16	2.33			
302C09	739	24.29	3.29			
<b>302C0</b>	<b>737</b>	<b>2.08</b>	<b>0.28</b>			
302FT3	843	14.07	1.67	2.834	0.067	3.15
302FT5	856	23.15	2.70			
302FT6	851	13.86	1.63			
<b>302FT</b>	<b>850</b>	<b>6.56</b>	<b>0.77</b>			

Torção das amostras com 3 cabos

Torção (voltas/m)						
Amostras	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 27)</sub>
303C03	644	11.21	1.74	0.056	0.946	3.15
303C05	646	11.14	1.72			
303C09	645	14.88	2.31			
<b>303C0</b>	<b>645</b>	<b>1.00</b>	<b>0.16</b>			
303FT9	710	7.24	1.02	1.222	0.302	3.15
303FT10	704	13.99	1.99			
303FT11	707	10.22	1.45			
<b>303FT</b>	<b>707</b>	<b>3.00</b>	<b>0.42</b>			

Nas tabelas seguintes apresenta-se o teste de *Tuckey*, realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da torção, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Análise das médias de torção das amostras com 2 cabos

<b>Torção (voltas/m)</b>			
<b>Tuckey HSD</b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha = 0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>302C04</b>	20	735	
<b>302C03</b>	20	738	
<b>302C09</b>	20	739	
<b>302FT3</b>	20		843
<b>302FNT1</b>	20		849
<b>302FNT3</b>	20		850
<b>302FT6</b>	20		851
<b>302FNT2</b>	20		855
<b>302FT5</b>	20		856
	<b>p-value</b>	0.999	0.459

Análise das médias de torção das amostras com 3 cabos

<b>Torção (voltas/m)</b>			
<b>Tuckey HSD</b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha = 0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>303C03</b>	20	644	
<b>303C09</b>	20	645	
<b>303C05</b>	20	646	
<b>303FT10</b>	20		704
<b>303FT11</b>	20		707
<b>303FT9</b>	20		710
	<b>p-value</b>	0.999	0.700

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) na comparação da torção, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Comparação da torção das amostras com 2 cabos

<b>Torção (voltas/m)</b>						
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05; 8; 171)</sub></b>
302FNT1	849	16.47	1.94	167.691	<0.001	1.98
302FNT2	855	20.24	2.37			
302FNT3	850	24.20	2.85			
302C03	738	19.13	2.59			
302C04	735	17.16	2.33			
302C09	739	24.29	3.29			
302FT3	843	14.07	1.67			
302FT5	856	23.15	2.70			
302FT6	851	13.86	1.63			

Comparação da torção das amostras com 3 cabos

<b>Torção (voltas/m)</b>						
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05; 5; 114)</sub></b>
303C03	644	11.21	1.74	167.811	<0.001	2.17
303C05	646	11.14	1.72			
303C09	645	14.88	2.31			
303FT9	710	7.24	1.02			
303FT10	704	13.99	1.99			
303FT11	707	10.22	1.45			





#### Anexo 4

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação ao diâmetro, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Diâmetro das amostras com 2 cabos

Diâmetro (mm)						
Amostras	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 27)</sub>
302C03	0.246	0.01	2.72	0.47	0.791	3.35
302C04	0.247	0.01	2.79			
302C09	0.249	0.01	2.93			
<b>302C0</b>	<b>0.247</b>	<b>0.001</b>	<b>0.62</b>			
302FNT1	0.214	0.01	2.38	2.124	0.139	3.35
302FNT2	0.218	0.01	2.57			
302FNT3	0.219	0.01	2.88			
<b>302FNT</b>	<b>0.217</b>	<b>0.002</b>	<b>1.22</b>			

Diâmetro das amostras com 3 cabos

Diâmetro (mm)						
Amostras	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 27)</sub>
303C03	0.319	0.01	2.29	2.534	0.098	3.35
303C05	0.319	0.01	2.70			
303C09	0.312	0.01	2.50			
<b>303C0</b>	<b>0.317</b>	<b>0.004</b>	<b>1.28</b>			
303FT9	0.285	0.01	2.98	2.371	0.113	3.35
303FT10	0.28	0.01	2.36			
303FT11	0.277	0.01	3.39			
<b>303FT</b>	<b>0.281</b>	<b>0.004</b>	<b>1.44</b>			

As tabelas seguintes apresentam o teste de *Tuckey*, realizado para analisar as diferenças estatisticamente significativas entre as médias do diâmetro, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Análise das médias do diâmetro das amostras com 2 cabos

<b>Diâmetro (mm)</b>			
<b><i>Tuckey HSD</i></b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>302FNT1</b>	10	0.214	
<b>302FNT2</b>	10	0.218	
<b>302FNT3</b>	10	0.219	
<b>302C03</b>	10		0.246
<b>302C04</b>	10		0.247
<b>302C09</b>	10		0.249
<b>p-value</b>		0.512	0.901

Análise das médias do diâmetro das amostras com 3 cabos

<b>Diâmetro (mm)</b>			
<b><i>Tuckey HSD</i></b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>303FT11</b>	10	0.277	
<b>303FT10</b>	10	0.280	
<b>303FT9</b>	10	0.285	
<b>303C09</b>	10		0.312
<b>303C05</b>	10		0.319
<b>303C03</b>	10		0.319
<b>p-value</b>		0.259	0.403

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) na comparação do diâmetro, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respectivamente.

Comparação do diâmetro das amostras com 2 cabos

<b>Diâmetro (mm)</b>						
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05; 5; 54)</sub></b>
302C03	0.246	0.01	2.72	67.746	<0.001	2.27
302C04	0.247	0.01	2.79			
302C09	0.249	0.01	2.93			
302FNT1	0.214	0.01	2.38			
302FNT2	0.218	0.01	2.57			
302FNT3	0.219	0.01	2.88			

Comparação do diâmetro das amostras com 3 cabos

<b>Diâmetro (mm)</b>						
<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05; 2; 27)</sub></b>
303C03	0.319	0.01	2.29	60.280	<0.001	2.27
303C05	0.319	0.01	2.70			
303C09	0.312	0.01	2.50			
303FT9	0.285	0.01	2.98			
303FT10	0.28	0.01	2.36			
303FT11	0.277	0.01	3.39			



## Anexo 5

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação à regularidade *Uster*, das amostras 302CO, 302FNT, 303CO e 303FT.

Regularidade *Uster* das amostras 302CO

302CO								
	Amostras	Nº Metros Analisados	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 1; 4)</sub>
Um (%)	302C03	3000	7.24	0.12	1.66	0.404	0.559	7.71
	302C04	3000	7.30	0.14	1.92			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>7.27</b>	<b>0.04</b>	<b>0.58</b>			
CVm (%)	302C03	3000	9.11	0.16	1.76	0.433	0.546	7.71
	302C04	3000	9.20	0.17	1.85			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>9.16</b>	<b>0.06</b>	<b>0.70</b>			
Pontos Finos (-50%)	302C03	3000	0.00	0.00	–	–	–	7.71
	302C04	3000	0.00	0.00	–			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	–			
Pontos Grossos (+50%)	302C03	3000	2.00	2.00	100.00	0.000	1.000	7.71
	302C04	3000	2.00	2.00	100.00			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>2.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>			
Nepes (+200%)	302C03	3000	5.00	1.73	34.60	1.136	0.346	7.71
	302C04	3000	6.67	2.08	31.18			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>5.84</b>	<b>1.18</b>	<b>20.24</b>			
H	302C03	3000	3.36	0.14	4.17	0.148	0.720	7.71
	302C04	3000	3.32	0.12	3.61			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>3.34</b>	<b>0.03</b>	<b>0.85</b>			
sh	302C03	3000	0.94	0.04	4.26	0.400	0.561	7.71
	302C04	3000	0.93	0.01	1.08			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.94</b>	<b>0.01</b>	<b>0.76</b>			

Regularidade *Uster* das amostras 302FNT

302FNT								
	Amostras	Nº Metros Analisados	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F (0.05; 1; 4)
Um (%)	302FNT2	3000	6.80	0.07	1.03	0.141	0.726	7.71
	302FNT3	3000	6.89	0.38	5.52			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>6.85</b>	<b>0.06</b>	<b>0.93</b>			
CVm (%)	302FNT2	3000	8.37	0.10	1.19	0.197	0.680	7.71
	302FNT3	3000	8.48	0.42	4.95			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>8.43</b>	<b>0.08</b>	<b>0.92</b>			
Pontos Finos (-50%)	302FNT2	3000	0.00	0.00	–	–	–	7.71
	302FNT3	3000	0.00	0.00	–			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	–			
Pontos Grossos (+50%)	302FNT2	3000	0.33	0.58	175.76	1.000	0.374	7.71
	302FNT3	3000	0.00	0.00	–			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.17</b>	<b>0.23</b>	<b>141.42</b>			
Nepes (+200%)	302FNT2	3000	3.00	2.65	88.33	0.108	0.759	7.71
	302FNT3	3000	2.33	2.31	99.14			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>2.67</b>	<b>0.47</b>	<b>17.78</b>			
H	302FNT2	3000	6.70	0.33	4.93	2.955	0.161	7.71
	302FNT3	3000	7.03	0.05	0.71			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>6.87</b>	<b>0.23</b>	<b>3.40</b>			
sh	302FNT2	3000	1.68	0.03	1.79	1.600	0.275	7.71
	302FNT3	3000	1.72	0.05	2.91			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>1.70</b>	<b>0.03</b>	<b>1.66</b>			

Regularidade *Uster* das amostras 303C0

303C0								
	Amostras	Nº Metros Analisados	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F (0.05; 1; 4)
Um (%)	303C03	3000	6.63	0.21	3.17	0.064	0.813	7.71
	303C05	3000	6.56	0.43	6.55			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>6.60</b>	<b>0.05</b>	<b>0.75</b>			
CVm (%)	303C03	3000	8.28	0.23	2.78	0.024	0.884	7.71
	303C05	3000	8.23	0.51	6.20			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>8.26</b>	<b>0.04</b>	<b>0.43</b>			
Pontos Finos (-50%)	303C03	3000	0.00	0.00	–	–	–	7.71
	303C05	3000	0.00	0.00	–			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	–			
Pontos Grossos (+50%)	303C03	3000	0.67	0.58	86.57	0.250	0.643	7.71
	303C05	3000	1.00	1.00	100.00			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.84</b>	<b>0.23</b>	<b>27.95</b>			
Nepes (+200%)	303C03	3000	1.67	0.58	34.73	1.136	0.346	7.71
	303C05	3000	1.33	0.58	43.61			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>1.50</b>	<b>0.24</b>	<b>16.03</b>			
H	303C03	3000	3.53	0.10	2.83	0.500	0.519	7.71
	303C05	3000	3.34	0.14	4.19			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>3.44</b>	<b>0.13</b>	<b>3.91</b>			
sh	303C03	3000	0.94	0.01	1.06	0.129	0.738	7.71
	303C05	3000	0.93	0.03	3.23			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.94</b>	<b>0.01</b>	<b>0.76</b>			

Regularidade *Uster* das amostras 303FT

303FT								
	Amostras	Nº Metros Analisados	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F (0.05; 1; 4)
Um (%)	303FT9	3000	5.58	0.27	4.84	0.095	0.774	7.71
	303FT10	3000	5.65	0.26	4.60			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>5.62</b>	<b>0.05</b>	<b>0.88</b>			
CVm (%)	303FT9	3000	6.87	0.30	4.37	0.068	0.807	7.71
	303FT10	3000	6.93	0.30	4.33			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>6.90</b>	<b>0.04</b>	<b>0.61</b>			
Pontos Finos (-50%)	303FT9	3000	0.00	0.00	–	–	–	7.71
	303FT10	3000	0.00	0.00	–			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	–			
Pontos Grossos (+50%)	303FT9	3000	0.00	0.00	–	1.000	0.374	7.71
	303FT10	3000	0.33	0.58	175.76			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>0.17</b>	<b>0.23</b>	<b>141.42</b>			
Nepes (+200%)	303FT9	3000	1.00	1.00	100.00	0.000	1.000	7.71
	303FT10	3000	1.00	1.00	100.00			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>			
H	303FT9	3000	7.6	0.37	4.87	2.276	0.206	7.71
	303FT10	3000	7.25	0.17	2.34			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>7.43</b>	<b>0.25</b>	<b>3.33</b>			
sh	303FT9	3000	1.79	0.09	5.03	2.182	0.214	7.71
	303FT10	3000	1.71	0.02	1.17			
	<b>Média</b>	<b>1000</b>	<b>1.75</b>	<b>0.06</b>	<b>3.23</b>			



As tabelas seguintes apresentam o teste de *Tuckey*, realizado para analisar as diferenças estatisticamente significativas entre as médias da regularidade, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Análise das médias da regularidade *Uster* das amostras com 2 cabos

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Um (%)</b>		<b>Pontos Grossos (+50%)</b>	<b>Nepes (+200%)</b>	<b>H</b>	
		<b><math>\alpha=0.05</math></b>		<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>302FNT2</b>	3	6.80		0.00	2.33		6.70
<b>302FNT3</b>	3	6.89		0.33	3.00		7.03
<b>302C03</b>	3	7.24		2.00	5	3.36	
<b>302C04</b>	3	7.30		2.00	6.66	3.32	
<b>p-value</b>		0.079		0.384	0.156	0.993	0.222

Análise das médias da regularidade *Uster* das amostras com 3 cabos

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Um (%)</b>		<b>Pontos Grossos (+50%)</b>	<b>Nepes (+200%)</b>	<b>H</b>	
		<b><math>\alpha=0.05</math></b>		<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>303FT9</b>	3	5.58		0.00	1		7.25
<b>303FT10</b>	3	5.65		0.33	1		7.60
<b>303C05</b>	3		6.56	1.00	1.33	3.34	
<b>303C03</b>	3		6.63	0.67	1.67	3.53	
<b>p-value</b>		0.993	0.992	0.301	0.754	0.708	0.277



## Anexo 6

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos, em relação à resistência e alongamento de rotura para os valores de tenacidade mais elevados, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade das amostras com 2 cabos

Amostras	Resistência de rotura (N)			Alongamento de rotura (%)			Tenacidade (cN/tex)		
	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
302FNT1	11.47	0.23	1.99	7.80	0.25	3.15	27.35	0.01	0.02
302FNT2	11.47	0.24	2.09	7.76	0.29	3.67	27.73	0.01	0.02
302FNT3	11.49	0.34	2.96	7.90	0.28	3.55	27.43	0.01	0.03
<b>302FNT</b>	<b>11.48</b>	<b>0.01</b>	<b>0.09</b>	<b>7.82</b>	<b>0.02</b>	<b>0.26</b>	<b>27.50</b>	<b>0.20</b>	<b>0.73</b>
302C03	11.82	0.45	3.77	6.23	0.47	7.57	27.36	0.01	0.04
302C04	11.65	0.47	4.06	6.42	0.37	5.75	27.36	0.01	0.04
302C09	11.69	0.48	4.07	6.18	0.29	4.62	27.26	0.01	0.04
<b>302C0</b>	<b>11.72</b>	<b>0.08</b>	<b>0.68</b>	<b>6.28</b>	<b>0.12</b>	<b>1.91</b>	<b>27.32</b>	<b>0.05</b>	<b>0.18</b>
302FT3	11.11	0.23	2.09	8.13	0.20	2.43	26.20	0.01	0.02
302FT5	11.11	0.28	2.54	8.20	0.28	3.40	25.95	0.01	0.03
302FT6	11.41	0.66	5.77	7.85	0.52	6.63	26.44	0.02	0.06
<b>302FT</b>	<b>11.21</b>	<b>0.17</b>	<b>1.52</b>	<b>8.06</b>	<b>0.18</b>	<b>2.23</b>	<b>26.20</b>	<b>0.24</b>	<b>0.92</b>

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade das amostras com 3 cabos

Amostras	Resistência de rotura (N)			Alongamento de rotura (%)			Tenacidade (cN/tex)		
	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
303C03	17.20	0.87	5.04	7.46	0.48	6.49	26.62	0.01	0.05
303C05	17.04	0.70	4.10	7.76	0.38	4.88	26.62	0.01	0.04
303C09	17.41	1.20	6.90	7.64	0.46	5.96	26.62	0.02	0.07
<b>303C0</b>	<b>17.21</b>	<b>0.18</b>	<b>1.05</b>	<b>7.62</b>	<b>0.15</b>	<b>1.97</b>	<b>26.62</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
303FT9	17.52	0.41	2.36	8.44	0.21	2.51	27.50	0.01	0.02
303FT10	16.74	0.39	2.32	8.27	0.21	2.53	27.22	0.01	0.02
303FT11	17.29	0.40	2.29	8.34	0.31	3.69	27.27	0.01	0.02
<b>303FT</b>	<b>17.18</b>	<b>0.40</b>	<b>2.33</b>	<b>8.35</b>	<b>0.08</b>	<b>0.96</b>	<b>27.33</b>	<b>0.14</b>	<b>0.51</b>

As tabelas seguintes apresentam a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à resistência e alongamento de rotura e para os valores de tenacidade mais elevados, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Análise da variância a um fator (*ANOVA*) para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras com 2 cabos

Amostras	Resistência de rotura (N)		Alongamento de rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		F <sub>(0.05; 2; 57)</sub>
	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	
<b>302FNT</b>	0.038	0.963	1.424	0.249	1.93	0.155	3.15
<b>302CO</b>	0.754	0.475	2.285	0.111	0.05	0.951	
<b>302FT</b>	3.051	0.055	5.361	0.007	1.157	0.322	

Análise da variância a um fator (*ANOVA*) para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras com 3 cabos

Amostras	Resistência de rotura (N)		Alongamento de rotura (%)		Tenacidade (cN/tex)		F <sub>(0.05; 2; 57)</sub>
	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>obs</sub>	p-value	
<b>303CO</b>	0.772	0.467	2.324	0.107	0.000	1.000	3.15
<b>303FT</b>	19.926	<0.001	2.555	0.087	1.093	0.342	

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302CO.

Análise das médias para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302CO

<i>Tuckey HSD</i>	N	Tenacidade (cN/tex)	Alongamento de rotura (%)	Resistência de Rotura (N)
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>302C09</b>	20	27.26	6.18	11.69
<b>302C03</b>	20	27.36	6.23	11.82
<b>302C04</b>	20	27.36	6.42	11.65
<b>p-value</b>		0.959	0.114	0.470

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302FNT.

Análise das médias para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302FNT

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Tenacidade</b>	<b>Alongamento de</b>	<b>Resistência de</b>
		<b>(cN/tex)</b>	<b>rotura (%)</b>	<b>Rotura (N)</b>
		<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>302FNT1</b>	20	27.35	7.80	11.47
<b>302FNT3</b>	20	27.43	7.90	11.49
<b>302FNT2</b>	20	27.73	7.76	11.47
<b>p-value</b>		0.159	0.237	0.965

A seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302FT.

Análise das médias para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302FT

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Tenacidade</b>	<b>Alongamento de</b>		<b>Resistência de</b>
		<b>(cN/tex)</b>	<b>rotura (%)</b>		<b>Rotura (N)</b>
		<b><math>\alpha=0.05</math></b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>		<b><math>\alpha=0.05</math></b>
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>302FT5</b>	20	25.95	7.85		11.11
<b>302FT3</b>	20	26.20		8.13	11.11
<b>302FT6</b>	20	26.44		8.20	11.41
<b>p-value</b>		0.289	1.000	0.812	0.089

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 303CO.

Análise das médias para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 303CO

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Tenacidade (cN/tex)</b>	<b>Alongamento de rotura (%)</b>	<b>Resistência de Rotura (N)</b>	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>303C05</b>	20	26.62	7.76	17.04	
<b>303C03</b>	20	26.62	7.46	17.20	
<b>303C09</b>	20	26.62	7.64	17.41	
<b>p-value</b>		1.000	1.000	0.435	

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar diferenças estatisticamente significativas entre as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 303FT.

Análise das médias para a tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 302FT

<i>Tuckey HSD</i>	<b>N</b>	<b>Tenacidade (cN/tex)</b>	<b>Alongamento de rotura (%)</b>	<b>Resistência de Rotura (N)</b>	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>303FT10</b>	20	27.27	8.27	16.74	
<b>303FT11</b>	20	27.22	8.34		17.29
<b>303FT9</b>	20	27.50	8.44		17.52
<b>p-value</b>		0.356	0.071	1.000	0.177

## Anexo 7

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos em relação à tenacidade, resistência e alongamento de rotura no estado molhado, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade, no estado molhado, das amostras com 2 cabos

Amostras	Resistência de Rotura em Molhado (N)			Alongamento de Rotura em Molhado (%)			Tenacidade em Molhado (cN/tex)		
	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
302C03	12.31	0.77	6.26	8.82	0.50	5.67	28.48	0.02	0.07
302C04	11.47	0.50	4.36	8.63	0.28	3.24	26.95	0.01	0.04
302C09	12.01	0.74	6.16	8.03	0.44	5.48	28.02	0.02	0.07
<b>302C0</b>	<b>11.93</b>	<b>0.43</b>	<b>3.57</b>	<b>8.49</b>	<b>0.41</b>	<b>4.85</b>	<b>27.82</b>	<b>0.79</b>	<b>2.82</b>
302FNT1	9.91	0.41	4.14	10.47	0.43	4.11	23.63	0.01	0.04
302FNT2	9.57	0.59	6.17	10.06	0.41	4.08	23.13	0.01	0.04
302FNT3	10.01	0.48	4.80	10.36	0.50	4.83	23.90	0.01	0.04
<b>302FNT</b>	<b>9.83</b>	<b>0.23</b>	<b>2.35</b>	<b>10.30</b>	<b>0.21</b>	<b>2.06</b>	<b>23.55</b>	<b>0.39</b>	<b>1.66</b>

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade, no estado molhado, das amostras com 3 cabos

Amostras	Resistência de Rotura em Molhado (N)			Alongamento de Rotura em Molhado (%)			Tenacidade em Molhado (cN/tex)		
	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
303C03	17.14	0.88	5.13	9.74	0.47	4.83	26.53	0.01	0.04
303C05	17.74	0.81	4.57	10.69	0.63	5.89	27.72	0.01	0.04
303C09	17.69	0.60	3.39	10.46	0.34	3.25	27.05	0.01	0.04
<b>303C0</b>	<b>17.52</b>	<b>0.33</b>	<b>1.90</b>	<b>10.30</b>	<b>0.50</b>	<b>4.81</b>	<b>27.10</b>	<b>0.60</b>	<b>2.20</b>
303FT9	14.06	0.57	4.05	11.27	0.44	3.90	22.07	0.01	0.05
303FT10	12.99	0.32	2.46	10.92	0.38	3.48	21.12	0.01	0.05
303FT11	13.91	0.38	2.73	10.94	0.32	2.93	21.93	0.01	0.05
<b>303FT</b>	<b>13.65</b>	<b>0.58</b>	<b>4.24</b>	<b>11.04</b>	<b>0.20</b>	<b>1.78</b>	<b>21.71</b>	<b>0.51</b>	<b>2.36</b>





## Anexo 8

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação à tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos respetivamente.

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade, em geometria de laçada das amostras com 2 cabos.

	Amostras	N	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 1; 38)</sub>
Resistência de Rotura em Laçada (N)	302CO	20	21.14	1.2101	5.72	536.11	<0.001	4.10
	302FNT	20	12.85	1.0490	8.16			
Alongamento de Rotura em Laçada (%)	302CO	20	6.13	0.3913	6.38	193.66	<0.001	4.10
	302FNT	20	4.25	0.4604	10.83			
Tenacidade em Laçada (cN/tex)	302CO	20	48.92	0.0279	0.06	448.86	<0.001	4.10
	302FNT	20	31.06	0.0253	0.08			
Relação da Resistência de Rotura em Laçada	302CO	<b>0.90</b>						
	302FNT	<b>0.56</b>						

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade, em geometria de laçada das amostras com 3 cabos.

	Amostras	N	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 1; 38)</sub>
Resistência de Rotura em Laçada (N)	303CO	20	29.26	2.5842	8.83	171.17	<0.001	4.10
	303FT	20	20.36	1.6080	7.90			
Alongamento de Rotura em Laçada (%)	303CO	20	7.51	0.5736	7.64	183.72	<0.001	4.10
	303FT	20	5.23	0.4872	9.32			
Tenacidade em Laçada (cN/tex)	303CO	20	45.72	0.0403	0.09	137.88	<0.001	4.10
	303FT	20	33.10	0.0261	0.08			
Relação da Resistência de Rotura em Laçada	303CO	<b>0.85</b>						
	303FT	<b>0.59</b>						



## Anexo 9

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação à massa linear, resistência e alongamento de rotura e tenacidade, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.

Massa linear, tenacidade, resistência e alongamento de rotura das amostras 262PES, 302PP e 302PA

	Amostras	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 57)</sub>
<b>Massa Linear (tex)</b>	<b>262PES</b>	44.28	0.5064	1.14	1394.42	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	39.29	0.1525	0.39			
	<b>302PA</b>	39.65	0.2328	0.59			
<b>Resistência de Rotura (N)</b>	<b>262PES</b>	17.76	0.7810	4.40	430.40	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	22.46	0.4665	2.08			
	<b>302PA</b>	22.17	0.0827	0.37			
<b>Alongamento de Rotura (%)</b>	<b>262PES</b>	15.57	0.4073	2.62	1071.23	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	23.23	0.7682	3.31			
	<b>302PA</b>	23.90	0.6651	2.78			
<b>Tenacidade (cN/tex)</b>	<b>262PES</b>	40.10	0.4073	1.02	1002.84	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	57.14	0.7686	1.35			
	<b>302PA</b>	55.90	0.6651	1.19			

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura entre as amostras 262PES, 302PP e 302PA.

Análise das médias da resistência e alongamento rotura e tenacidade das amostras 262PES, 302PP e 302PA

<i>Tuckey HSD</i>	N	Resistência de Rotura (N)		Alongamento de Rotura (%)			Tenacidade (cN/tex)		
		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.05$			$\alpha=0.05$		
		1	2	1	2	3	1	2	3
<b>262PES</b>	20	17.76		15.57			40.10		
<b>302PA</b>	20		22.17			23.90		55.90	
<b>302PP</b>	20		22.46		23.23				57.14
<b>p-value</b>		1.000	0.249	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*), em relação à tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, para as amostras 262PES, 302PP e 302PA.

Resistência e alongamento de rotura e tenacidade em geometria de laçada das amostras 262PES, 302PP e 302PA

	Amostras	N	Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05; 2; 57)</sub>
<b>Resistência de Rotura em Laçada (N)</b>	<b>262PES</b>	20	31.17	2.0287	6.51	29.86	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	20	29.15	1.7437	5.98			
	<b>302PA</b>	20	27.14	1.0127	3.73			
<b>Alongamento de Rotura em Laçada (%)</b>	<b>262PES</b>	20	14.57	0.6313	4.34	138.29	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	20	17.50	0.5996	3.43			
	<b>302PA</b>	20	16.47	0.4460	2.71			
<b>Tenacidade em Laçada (cN/tex)</b>	<b>262PES</b>	20	70.38	0.0457	0.06	10.84	<0.001	3.15
	<b>302PP</b>	20	74.18	0.0448	0.06			
	<b>302PA</b>	20	68.44	0.0352	0.05			
<b>Relação da Resistência de Rotura em Laçada</b>	<b>262PES</b>	<b>0.88</b>						
	<b>302PP</b>	<b>0.65</b>						
	<b>302PA</b>	<b>0.61</b>						

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias da tenacidade, resistência e alongamento de rotura em geometria de laçada, das amostras 262PES, 302PP e 302PA.

Análise das médias para a resistência e alongamento de rotura e tenacidade em geometria de laçada das amostras 262PES, 302PP e 302PA

<i>Tuckey HSD</i>	N	Tenacidade em Laçada (cN/tex)		Alongamento de Rotura em Laçada (%)			Resistência de Rotura em Laçada (N)		
		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.05$			$\alpha=0.05$		
		1	2	1	2	3	1	2	3
<b>302PA</b>	20	68.44			16.47		27.14		
<b>302PP</b>	20		74.18			17.50		29.15	
<b>262PES</b>	20	70.38		14.57					31.17
<b>p-value</b>		0.278	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

## Anexo 10

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação ao coeficiente de atrito, das amostras sem qualquer tipo de lubrificação e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1%.

Análise da variância a um fator (*ANOVA*) do coeficiente de atrito entre 0 e 1%

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Lubrificante Aplicado (%)	Média	Min - Max	Fobs	p-value	F (0.05;7;32)
302CO	0	0.00	0.141	0.13 – 0.15	1.31	0.278	2.31
	1	0.48	0.134	0.13 – 0.14			
302FNT	0	0.00	0.142	0.13 – 0.15			
	1	0.55	0.136	0.13 – 0.14			
303CO	0	0.00	0.142	0.13 – 0.15			
	1	0.44	0.134	0.13 – 0.14			
303FT	0	0.00	0.141	0.13 – 0.15			
	1	0.57	0.134	0.13 – 0.14			

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias do coeficiente de atrito, das amostras sem qualquer tipo de lubrificação e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1%.

Análise das médias do coeficiente de atrito entre 0 e 1%

<i>Tuckey HSD</i>	Coeficiente de Atrito		
	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	N	$\alpha=0.05$
			1
302CO	1	5	0.134
303CO	1	5	0.134
303FT	1	5	0.134
302FNT	1	5	0.136
302CO	0	5	0.141
303FT	0	5	0.141
302FNT	0	5	0.142
303CO	0	5	0.142
<b>p-value</b>			0.690

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação ao coeficiente de atrito, das amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1 e 3%.

Análise da variância a um fator (*ANOVA*) do coeficiente de atrito entre 1 e 3%

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Lubrificante Aplicado (%)	Média	Min - Max	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05;7;32)</sub>
<b>302C0</b>	1	0.48	0.134	0.13 – 0.14	4.50	0.003	2.31
	3	2.11	0.127	0.12 – 0.14			
<b>302FNT</b>	1	0.55	0.136	0.13 – 0.14			
	3	2.46	0.124	0.12 – 0.13			
<b>303C0</b>	1	0.44	0.134	0.13 – 0.14			
	3	2.47	0.126	0.12 – 0.13			
<b>303FT</b>	1	0.57	0.134	0.13 – 0.14			
	3	2.52	0.124	0.12 – 0.13			

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) em relação ao coeficiente de atrito, das amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 3 e 5%.

Análise da variância a um fator (*ANOVA*) do coeficiente de atrito entre 3 e 5%

Amostras	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Lubrificante Aplicado (%)	Média	Min - Max	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05;7;32)</sub>
<b>302C0</b>	3	2.11	0.127	0.13 – 0.14	0.60	0.745	2.31
	5	3.84	0.123	0.12 – 0.14			
<b>302FNT</b>	3	2.46	0.124	0.13 – 0.14			
	5	4.15	0.122	0.12 – 0.13			
<b>303C0</b>	3	2.47	0.126	0.13 – 0.14			
	5	4.33	0.123	0.12 – 0.13			
<b>303FT</b>	3	2.52	0.124	0.13 – 0.14			
	5	4.14	0.120	0.12 – 0.13			

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar as médias do coeficiente de atrito, das amostras com uma quantidade pretendida de lubrificante de 3 e 5%.

Análise das médias do coeficiente de atrito entre 3 e 5%

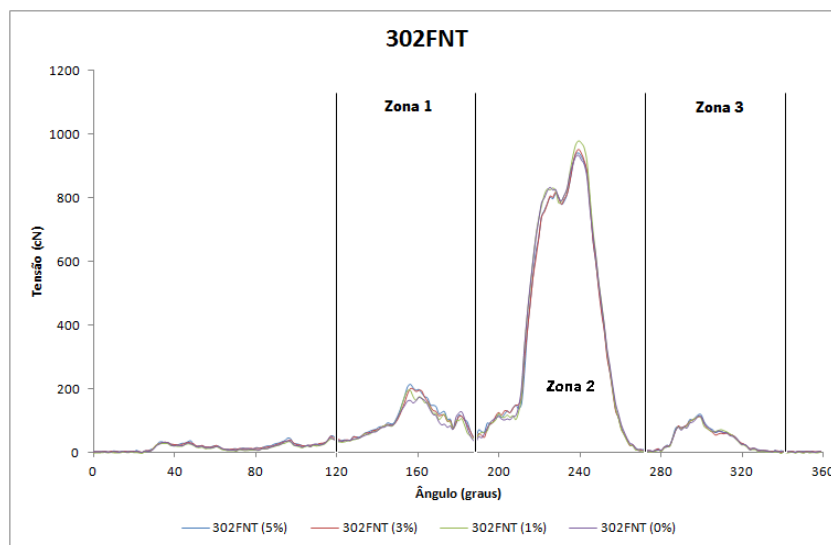
<i>Tuckey HSD</i>	Coeficiente de Atrito		
	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	N	$\alpha=0.05$
			1
<b>302FNT</b>	5	5	0.122
<b>303FT</b>	5	5	0.122
<b>302C0</b>	5	5	0.123
<b>303C0</b>	5	5	0.123
<b>302FNT</b>	3	5	0.124
<b>303FT</b>	3	5	0.124
<b>303C0</b>	3	5	0.126
<b>302C0</b>	3	5	0.127
<b>p-value</b>			0.789



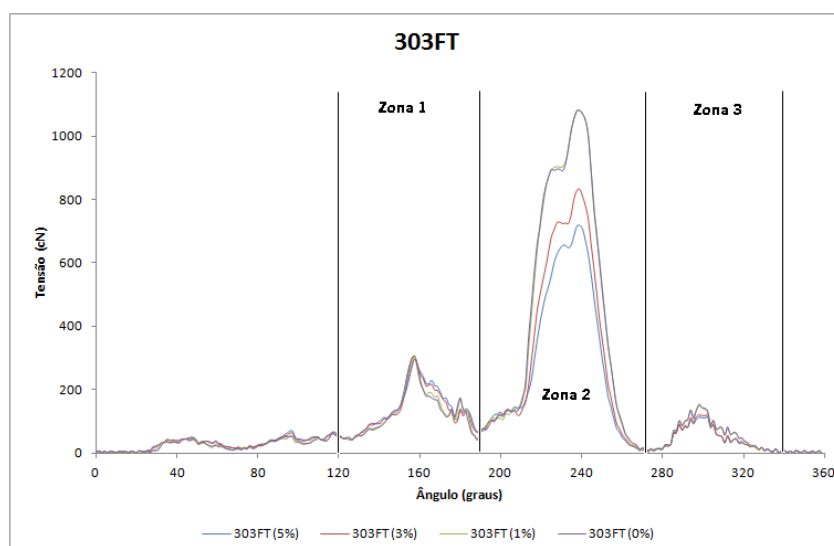


## Anexo 11

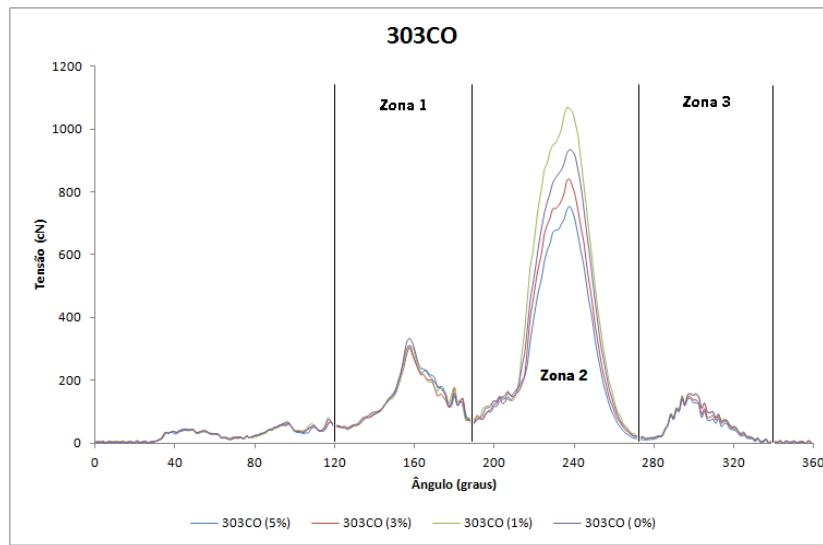
As figuras seguintes representam a variação da tensão da linha da agulha, durante um ciclo completo da máquina de costura de ponto preso, para as diferentes amostras e quantidades pretendidas de lubrificante.



Varição da tensão da linha da agulha (302FNT)



Varição da tensão da linha da agulha (303FT)



Varição da tensão da linha da agulha (303CO)

## Anexo 12

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos na zona 1, em relação às tensões geradas na linha da agulha e a análise da variância a um fator (*ANOVA*), das amostras selecionadas, com 2 e 3 cabos, sem lubrificação e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1, 3 e 5%.

Tensões na linha da agulha na zona 1

Amostras	Zona	Quantidade Pretendida Lubrificante (%)	Tensão (cN)	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F (0.05;3;36)
<b>302FNT</b>	1	0	247.89	18.7565	7.57	0.109	0.955	2.87
		1	246.79	20.7934	8.43			
		3	248.00	27.7437	11.19			
		5	251.88	16.5945	6.59			
<b>302CO</b>	1	0	269.04	13.9693	5.19	3.287	0.032	2.87
		1	242.59	18.1915	7.50			
		3	249.11	24.0311	9.65			
		5	244.48	26.2340	10.73			
<b>303FT</b>	1	0	327.55	17.4026	5.31	14.972	<0.001	2.87
		1	335.63	11.1949	3.34			
		3	354.65	14.8872	4.20			
		5	373.90	22.2654	5.95			
<b>303CO</b>	1	0	386.84	40.1012	10.37	5.472	0.003	2.87
		1	366.41	28.8938	7.89			
		3	332.91	15.6618	4.70			
		5	354.45	29.2332	8.25			

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT, na zona 1.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT na zona 1

<b>Tuckey HSD</b>					
<b><math>\alpha=0.05</math></b>					
<b>N</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>302CO</b>		<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>302FNT</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>		<b>1</b>
<b>10</b>	1	242.59		1	246.79
	5	244.48	244.48	0	247.89
	3	249.11	249.11	3	248.00
	0		269.04	5	251.88
<b>p-value</b>		0.901	0.063	<b>p-value</b>	0.951

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT, na zona 1.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT na zona 1

<b>Tuckey HSD</b>							
<b><math>\alpha=0.05</math></b>							
<b>N</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303FT</b>			<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303CO</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>10</b>	0	327.55			3	332.91	
	1	335.63	335.63		5	354.45	354.45
	3		354.65	354.65	1	366.41	366.41
	5			373.9	0		386.84
<b>p-value</b>		0.711	0.075	0.070	<b>p-value</b>	0.074	0.089

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos na zona 2. Em relação às tensões geradas na linha da agulha e a análise da variância a um fator (*ANOVA*). Das amostras seleccionadas com 2 e 3 cabos sem lubrificação e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1, 3 e 5%.

Tensões na linha da agulha na zona 2

<b>Amostras</b>	<b>Zona</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>Tensão (cN)</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F (0.05;3;36)</b>
<b>302FNT</b>	2	0	1012.88	82.2308	8.12	2.054	0.124	2.87
		1	997.05	48.1507	4.83			
		3	972.44	39.6219	4.07			
		5	957.16	37.3465	3.90			
<b>302CO</b>	2	0	1156.44	16.7507	1.45	81.494	<0.001	2.87
		1	1066.90	40.8552	3.83			
		3	992.33	24.3287	2.45			
		5	971.21	30.1941	3.11			
<b>303FT</b>	2	0	1096.63	41.4320	3.78	73.878	<0.001	2.87
		1	1103.67	42.0141	3.81			
		3	871.08	58.4973	6.72			
		5	777.43	87.3469	11.24			
<b>303CO</b>	2	0	967.69	138.981	14.36	20.535	<0.001	2.87
		1	1085.68	59.1323	5.45			
		3	869.41	62.6687	7.21			
		5	776.03	87.3094	11.25			

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT, na zona 2.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT na zona 2

<b>Tuckey HSD</b>							
$\alpha=0.05$							
<b>N</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>302FNT</b>			<b>302CO</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>10</b>	5	957.16			971.21		
	3	972.44			992.33		
	1	997.05				1066.90	
	0	1012.88					1156.44
<b>p-value</b>		0.124			<b>p-value</b>	0.387	1.000

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT, na zona 2.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT na zona 2

<b>Tuckey HSD</b>								
$\alpha=0.05$								
<b>N</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303CO</b>			<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303FT</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>10</b>	5	776.0			5	777.43		
	3	869.4	869.4		3		871.08	
	0		967.6		0			1096.6
	1			1085.6	1			1103.6
<b>p-value</b>		0.129	0.101	1.000	<b>p-value</b>	1.000	1.000	0.994

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos na zona 3. Em relação às tensões geradas na linha da agulha e a análise da variância a um fator (*ANOVA*). Das amostras selecionadas com 2 e 3 cabos sem lubrificação e com uma quantidade pretendida de lubrificante de 1, 3 e 5%.

Tensões na linha da agulha na zona 3

<b>Amostras</b>	<b>Zona</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>Tensão (cN)</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F (0.05;3;36)</b>
<b>302FNT</b>	3	0	128.19	15.5620	12.14	1.660	0.193	2.87
		1	137.50	9.7365	7.08			
		3	131.95	8.9643	2.84			
		5	136.87	6.8911	4.07			
<b>302CO</b>	3	0	169.29	10.5789	6.25	27.248	<0.001	2.87
		1	147.64	7.8639	5.33			
		3	149.40	4.2415	2.84			
		5	140.41	5.7083	4.07			
<b>303FT</b>	3	0	169.74	11.2050	6.60	32.089	<0.001	2.87
		1	171.79	10.0158	5.83			
		3	144.90	8.2698	5.71			
		5	136.75	9.6385	7.05			
<b>303CO</b>	3	0	177.81	10.6781	6.01	8.777	<0.001	2.87
		1	177.76	9.1585	5.15			
		3	164.89	9.8457	5.97			
		5	158.44	11.4716	7.24			

As tabelas seguintes apresentam o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT, na zona 3.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 302CO e 302FNT na zona 3

<b>Tuckey HSD</b>						
<b><math>\alpha=0.05</math></b>						
<b>N</b>	<b>Quantidade Lubrificante Pretendida (%)</b>	<b>302FNT</b>		<b>Quantidade Lubrificante Pretendida (%)</b>	<b>302CO</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>10</b>	5	128.19		5	140.41	
	3	131.95		1	147.64	
	0	136.87		3	149.40	
	1	137.50		0		169.29
<b>p-value</b>		0.234		<b>p-value</b>	0.051	1.000

A tabela seguinte apresenta o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média das tensões geradas na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT, na zona 3.

Análise da média das tensões na linha da agulha das amostras 303CO e 303FT na zona 3

<b>Tuckey HSD</b>						
<b><math>\alpha=0.05</math></b>						
<b>N</b>	<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303FT</b>		<b>Quantidade Pretendida Lubrificante (%)</b>	<b>303CO</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>10</b>	5	136.75		5	158.44	
	3	144.90		3	164.89	
	1		169.74	1		177.76
	0		171.79	0		177.81
<b>p-value</b>		0.267	0.966	<b>p-value</b>	0.509	1.000



### Anexo 13

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos da resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) das costuras efetuadas no tecido com estrutura de sarja, das amostras com 2 cabos 302CO e 302FNT.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 302CO e 302FNT na sarja.

	<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05;1;18)</sub></b>
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	302CO	15.49	0.47	3.03	49.807	<0.001	5.32
	302FNT	12.76	0.73	5.72			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	302CO	337.40	26.30	7.80	95.409	<0.001	5.32
	302FNT	196.92	18.51	9.40			

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos da resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) das costuras efetuadas no tecido com estrutura de sarja, das amostras com 3 cabos 303CO e 303FT.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 303CO e 303FT na sarja.

	<b>Amostras</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05;1;18)</sub></b>
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	303CO	16.60	0.61	3.67	15.70	<0.001	5.32
	303FT	14.48	1.03	7.12			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	303CO	486.90	35.79	7.35	123.1	<0.001	5.32
	303FT	294.08	9.05	3.08			



## Anexo 14

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos de resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) nos 3 tecidos com estrutura tafetá, das amostras 302CO e das amostras 302FNT respectivamente.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 302CO nos 3 tecidos tafetá.

302CO		Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05;2;12)</sub>
Alongamento à Tração da Costura (%)	Tecido 1	12.56	0.94	7.45	1.226	0.328	3.89
	Tecido 2	12.68	1.54	12.11			
	Tecido 3	13.88	1.83	13.19			
Resistência à Tração da Costura (N)	Tecido 1	176.22	30.93	17.55	0.995	0.398	3.89
	Tecido 2	187.82	17.61	9.37			
	Tecido 3	195.6	12.91	6.60			

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 302FNT nos 3 tecidos tafetá

302FNT		Média	DP	CV (%)	F <sub>obs</sub>	p-value	F <sub>(0.05;2;12)</sub>
Alongamento à Tração da Costura (%)	Tecido 1	11.01	0.87	7.92	1.755	0.215	3.89
	Tecido 2	11.87	1.16	9.73			
	Tecido 3	12.32	1.30	10.53			
Resistência à Tração da Costura (N)	Tecido 1	109.56	7.43	6.78	0.353	0.710	3.89
	Tecido 2	111.04	5.56	5.01			
	Tecido 3	112.5	2.38	2.12			

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados obtidos de resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*) nos 3 tecidos com estrutura tafetá, das amostras 303CO e das amostras 303FT respectivamente.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 303CO nos 3 tecidos tafetá.

<b>303CO</b>		<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05;2;12)</sub></b>
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	Tecido 1	15.37	3.23	21.04	1.172	0.343	3.89
	Tecido 2	14.08	2.06	14.64			
	Tecido 3	16.22	0.39	2.37			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	Tecido 1	246.92	21.14	8.56	1.644	0.234	3.89
	Tecido 2	264.98	16.69	6.30			
	Tecido 3	258.48	6.15	2.38			

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 303FT nos 3 tecidos tafetá.

<b>303FT</b>		<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F<sub>(0.05;2;12)</sub></b>
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	Tecido 1	13.07	1.53	11.70	1.051	0.380	3.89
	Tecido 2	13.78	0.13	0.96			
	Tecido 3	14.08	1.21	8.62			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	Tecido 1	197	7.16	3.64	11.87	0.001	3.89
	Tecido 2	172.08	8.82	5.13			
	Tecido 3	177.72	9.41	5.29			

As tabelas seguintes apresentam o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média da resistência e alongamento à tração da costura, das amostras com 2 e 3 cabos respectivamente, nos 3 tecidos com estrutura tafetá.

Análise das médias da resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos

<b>Tuckey HSD</b>							
<b><math>\alpha=0.05</math></b>							
<b>302C0</b>							
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	<b>N</b>	<b>tecidos</b>	<b>1</b>	<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	
	5	Tecido 1	176.22		5	Tecido 1	12.56
		Tecido 2	187.82			Tecido 2	12.68
		Tecido 3	195.60			Tecido 3	13.88
<b>p-value</b>			0.371	<b>p-value</b>			
<b>302FNT</b>							
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	<b>N</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	
	5	Tecido 1	109.56		5	Tecido 1	11.01
		Tecido 2	111.04			Tecido 2	11.87
		Tecido 3	112.50			Tecido 3	12.32
<b>p-value</b>			0.682	<b>p-value</b>			

Análise das médias da resistência e alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos

<b>Tuckey HSD</b>								
<b><math>\alpha=0.05</math></b>								
<b>303C0</b>								
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	<b>N</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>		
	5	Tecido 1	246.92		5	Tecido 2	14.08	
		Tecido 3	258.48			Tecido 1	15.37	
		Tecido 2	264.98			Tecido 3	16.22	
<b>p-value</b>			0.214	<b>p-value</b>				
<b>303FT</b>								
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	<b>N</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	
	5	Tecido 2	172.08	5		5	Tecido 1	13.07
		Tecido 3	177.72				Tecido 2	13.78
		Tecido 1	197.00				Tecido 3	14.08
<b>p-value</b>			0.563	1.000	<b>p-value</b>			

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos de resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*), das amostras 302CO e 302FNT, nos 3 tecidos com estrutura tafetá.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 302CO e 302FNT nos 3 tecidos tafetá.

	<b>Amostras</b>	<b>Tecidos</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F</b> (0.05;5;24)
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	302CO	Tecido 1	12.56	0.94	7.45	2.613	0.050	2.62
		Tecido 2	12.68	1.54	12.11			
		Tecido 3	13.88	1.83	13.19			
	302FNT	Tecido 1	11.01	0.87	7.92			
		Tecido 2	11.87	1.16	9.73			
		Tecido 3	12.32	1.3	10.53			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	302CO	Tecido 1	176.22	30.93	17.55	34.417	<0.001	2.62
		Tecido 2	187.82	17.61	9.37			
		Tecido 3	195.60	12.91	6.6			
	302FNT	Tecido 1	109.56	7.43	6.78			
		Tecido 2	111.04	5.56	5.01			
		Tecido 3	112.50	2.38	2.12			

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos de resistência e alongamento à tração da costura e a análise da variância a um fator (*ANOVA*), das amostras 303CO e 303FT, nos 3 tecidos com estrutura tafetá.

Resistência e alongamento à tração da costura das amostras 303CO e 303FT nos 3 tecidos tafetá.

	<b>Amostras</b>	<b>Tecidos</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	<b>p-value</b>	<b>F</b> (0.05;5;24)
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>	303CO	Tecido 1	15.37	3.23	21.04	2.121	0.098	2.62
		Tecido 2	14.08	2.06	14.64			
		Tecido 3	16.22	0.39	2.37			
	303FT	Tecido 1	13.07	1.53	11.70			
		Tecido 2	13.78	0.13	0.96			
		Tecido 3	14.08	1.21	8.62			
<b>Resistência à Tração da Costura (N)</b>	303CO	Tecido 1	246.92	21.14	8.56	54.037	<0.001	2.62
		Tecido 2	264.98	16.69	6.3			
		Tecido 3	258.48	6.15	2.38			
	303FT	Tecido 1	197.00	7.16	3.64			
		Tecido 2	172.08	8.82	5.13			
		Tecido 3	177.72	9.41	5.29			

As tabelas seguintes apresentam o teste de *Tuckey* realizado para analisar a média do alongamento à tração da costura para as diferentes linhas de costura com 2 e 3 cabos respectivamente, nos 3 tecidos com estrutura tafetá

Análise das médias do alongamento à tração da costura das amostras com 2 cabos nos 3 tecidos tafetá

<b><i>Tuckey HSD</i></b>			
<b><math>\alpha=0.05</math></b>			
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>302FNT</b>	Tecido 1	11.01	
	Tecido 2	11.87	11.87
	Tecido 3	12.32	12.32
<b>302CO</b>	Tecido 1	12.56	12.56
	Tecido 2	12.68	12.68
	Tecido 3		13.88
<b>p-value</b>		0.369	0.190

Análise das médias do alongamento à tração da costura das amostras com 3 cabos nos 3 tecidos tafetá

<b><i>Tuckey HSD</i></b>		
<b><math>\alpha=0.05</math></b>		
<b>Alongamento à Tração da Costura (%)</b>		
<b>Amostras</b>	<b>Tecidos</b>	<b>1</b>
<b>303FT</b>	Tecido 2	13.07
	Tecido 1	13.78
	Tecido 3	14.08
<b>303CO</b>	Tecido 1	14.08
	Tecido 2	15.37
	Tecido 3	16.22
<b>p-value</b>		0.088