

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS**

**COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE PERMEABILIDADE AO VAPOR,  
CAPILARIDADE E PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA EM TECIDOS DE  
POLIAMIDA 6.6 E POLIÉSTER EM TECIDO DE MALHA PARA ATIVIDADE  
FÍSICA**

Fernando Gasi

Prof.-Dr. Edison Bittencourt

Orientador

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Química.

Campinas – São Paulo

Maio de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G212c Gasi, Fernando  
Comparativo das propriedades de permeabilidade ao vapor, capilaridade e proteção ultravioleta em tecidos de poliamida 6.6 e poliéster em tecido de malha para atividade física / Fernando Gasi. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Edison Bittencourt.  
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Poliamida. I. Bittencourt, Edison. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Comparative properties of the steam permeability, capillarity and ultraviolet protection in knits of polyamide 6.6 and polyester for physical activity

Palavras-chave em Inglês: Polyamide

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais

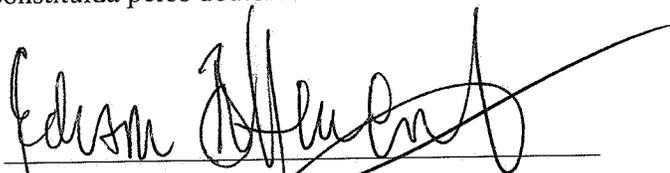
Titulação: Doutor em Engenharia Química

Banca examinadora: Zaida Jova Aguila, Sérgio Pésio Ravagnani, Jabra Haber, Alberto de Medeiros Júnior

Data da defesa: 11/05/2010

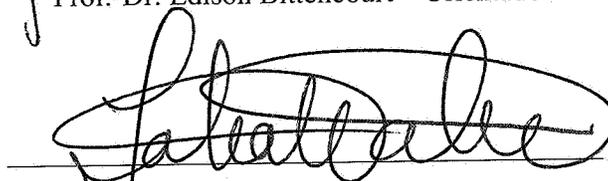
Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

Tese de Doutorado defendida por Fernando Gasi e aprovada em 11 de maio de 2010 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



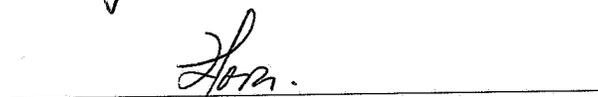
---

Prof.-Dr. Edison Bittencourt – Orientador



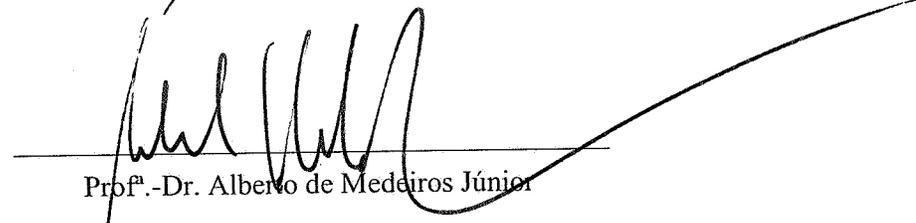
---

Prof.-Dr. Jabra Haber



---

Profa.-Dra. Zaida Jova Aguila



---

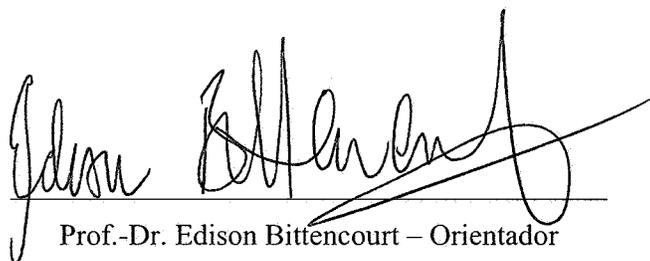
Prof.<sup>o</sup>-Dr. Alberto de Medeiros Júnior



---

Prof.-Dr. Sérgio Pérsio Ravagnani

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Engenharia Química.



Prof.-Dr. Edison Bittencourt – Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu amigo Fernando Barros.

À Fernanda Borelli Palamone

Ao meu amigo Eduardo José Pitelli

À Rhodia Poliamida.

À direção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gratidão especial, que eu não poderia deixar de mencionar, aos nomes do Prof. Dr. Sérgio Pérsio Ravagnani e da Prof<sup>a</sup>.-Dra. Zaida Jova Aguila; pessoas que me auxiliaram e apoiaram muito para a conclusão desta tese

Ao meu orientador Prof. Dr. Edison Bittencourt, primeiramente por me aceitar como seu orientando, por me transmitir suas preciosas informações e material didático, os quais me serviram de grande valia para realizar este trabalho.

## RESUMO

Vários estudos têm sido realizados, sobretudo na última década, analisando artigos têxteis de diferentes fibras quanto ao desempenho em relação ao conforto. Porém são raros os que tratam das malhas sintéticas de microfibras em misturas com elastano, notadamente aquelas produzidas em máquinas finas (36-38 agulhas por polegada). Essas malhas têm alta aceitação no mercado devido a vários fatores, dentre os quais se destacam o conforto proporcionado ao usuário. A fim de avaliar o comportamento desses artigos com diferentes fibras (poliamida e poliéster), comparou-se as malhas com as características acima focando alguns aspectos ligados ao conforto, como permeabilidade ao vapor, capilaridade e proteção ultravioleta, e mostrou-se como os resultados obtidos dependem tanto do tipo de fibra como da estrutura da malha. Os resultados mostram uma superioridade do tecido de malha de poliamida 6.6 em relação ao poliéster, nas três propriedades analisadas (permeabilidade ao vapor, capilaridade, proteção ultravioleta). A metodologia utilizada foi o Planejamento de Experimentos.

**Palavras-chave:** Poliamida. Poliéster. Capilaridade. Permeabilidade. Proteção ultravioleta.

## ABSTRACT

Several studies have been conducted, especially in the last decade, evaluating different textile fibers according to their performances in relation to comfort. However, those who treat the microfibers synthetic knit fabric in blends with elastane are uncommon ones, especially those produced in fine machinery (36-38 needles per inch). Those knits have a high acceptance rate in the market due to several factors, such as the comfort provided to the user. In order to evaluate the behavior of those material with different fibers (nylon and polyester), the knits were compared with the characteristics above, with focus on aspects related to comfort, such as steam permeability, capillarity and ultraviolet protection, and it was demonstrated how the obtained results depend both on the type of fiber and on the knit structure. The results show a superiority of the knitted fabric of polyamide 6.6 in relation to the polyester in the three analyzed properties (vapor permeability, capillarity, ultraviolet protection). The methodology used was the Design of Experiments.

**Keywords:** Polyamide. Polyester. Capillary. Permeability. Ultraviolet Protection.

## SUMÁRIO

<b>Agradecimentos</b>	iii
<b>Resumo</b>	iv
<b>Abstract</b>	v
<b>Lista de Figuras</b>	x
<b>Lista de Tabelas</b>	xiii
<b>Nomenclatura</b>	xiv
<b>Lista De Abreviaturas e Siglas</b>	xvi
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	20
1.1 OBJETIVO	21
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 DIAGRAMA DE OBTENÇÃO DAS FIBRAS SINTÉTICAS	22
2.3 TÍTULO DE PRODUTOS TÊXTEIS	23
2.4 MICROFIBRA	23
2.5 FIOS TEXTURIZADOS	24
2.6 POLIAMIDA 6.6	24
2.6.1 <b>Definição</b>	24
2.6.2 <b>Fluxo de Obtenção do Polímero de Poliamida (Náilon)</b>	26
2.6.3 <b>Obtenção do Fio de Poliamida</b>	26
2.7 POLIÉSTER	27
2.7.1 <b>Definição</b>	27
2.7.2 <b>Obtenção do Poliéster</b>	27
2.7.3 <b>Características Molares do Poliéster</b>	28
2.7.4 <b>Estrutura Molecular do Poliéster</b>	29
2.8 TECIDO DE MALHA	29

2.8.1 <b>Tecido de Malharia Circular</b>	29
2.8.2 <b>Tecido de Malharia Circular Vanisado com Elastano</b>	30
2.8.3 <b>Quantidade de Fio Absorvido</b>	31
2.8.4 <b>Carreiras por Centímetro e Colunas por Centímetro</b>	31
2.8.5 <b>Fator de Cobertura em Malharia Circular</b>	32
2.8.6 <b>Finura de uma Máquina Circular</b>	32
2.8.7 <b>Diâmetro do Tear Circular</b>	33
2.9 <b>BENEFICIAMENTO DOS TECIDOS EM POLIAMIDA</b>	33
2.10 <b>BENEFICIAMENTO DOS TECIDOS EM POLIÉSTER</b>	35
2.11 <b>TERMOFIXAÇÃO</b>	37
2.12 <b>PROPRIEDADES DAS FIBRAS</b>	39
2.12.1 <b>Teor de Umidade</b>	39
2.12.2 <b>Características dos Fios</b>	40
2.12.3 <b>Finura do Fio</b>	40
2.12.4 <b>Tipo de Fio</b>	41
2.12.5 <b>Absorção de Água</b>	41
2.13 <b>RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA</b>	42
2.13.1 <b>Fator de Proteção Solar (FPS) e Fator de Proteção Ultravioleta (UPF)</b>	43
2.13.2 <b>Proteção Solar para Têxteis</b>	43
2.14 <b>CONFORTO</b>	44
2.14.1 <b>Introdução</b>	44
2.14.2 <b>Transferência de Calor</b>	44
2.14.3 <b>Resistência Térmica de Tecidos</b>	46
2.14.4 <b>Permeabilidade a Umidade</b>	47
2.14.5 <b>Umidade em Forma de Vapor (permeabilidade ao vapor de água)</b>	48
2.14.6 <b>Umidade em Forma Líquida</b>	49
2.14.7 <b>Permeabilidade ao Ar</b>	50
2.14.8 <b>Capilaridade</b>	52

2.14.8.1	<b>Porosidade</b>	52
2.14.8.2	<b>Microporo e Macroporo</b>	53
2.14.8.3	<b>Capilaridade no Microporo</b>	54
2.14.8.4	Capilaridade no Macroporo	55
	<b>CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	56
3.1	INTRODUÇÃO	56
3.2	MATÉRIA-PRIMA PARA ENSAIO	56
3.2.1	Fios Utilizados	56
3.2.2	Máquina Utilizada no Ensaio	57
3.2.3	Tecidos de Malha para os Ensaios – Dados em CRU	57
3.2.4	Tecidos de Malha para os Ensaios – Dados Acabados	58
3.2.5	Beneficiamento dos Tecidos de Malha de Poliamida 6.6	58
3.2.6	Beneficiamento dos Tecidos de Malha de Poliéster	59
3.2.7	Acabamento dos Tecidos de Malha de Poliamida 6.6 e Poliéster	60
3.3	MÉTODOS	60
3.3.1	Determinação da Permeabilidade ao Vapor	60
3.3.1.1	Objetivo	60
3.3.1.2	Norma	60
3.3.1.3	Princípio	61
3.3.1.4	Definições	61
3.3.1.5	Aparelhagem e Materiais Auxiliares	61
3.3.2	Determinação do Transporte de Líquidos por Capilaridade	62
3.3.2.1	Objetivo	62
3.3.2.2	Normas	62
3.3.2.3	Princípios	63
3.3.2.4	Definições Importantes para o Ensaio de Capilaridade	63
3.3.2.5	Aparelhos para Medição do Transporte por Capilaridade (Figura 34)	63
3.3.3	Determinação do Fator de Proteção Solar em Tecidos	64

3.3.3.1 Objetivo	64
3.3.3.2 Norma	64
3.3.3.3 Aparelho	65
3.3.3.4 Método	65
<b>3.3.4 Determinação da Gramatura de Tecidos</b>	<b>65</b>
3.3.4.1 Objetivo	65
3.3.4.2 Norma	65
3.3.4.3 Aparelhos	65
3.3.4.4 Procedimento	65
<b>3.3.5 Análise Estatística</b>	<b>66</b>
3.3.5.1 Teste de Normalidade	66
3.3.5.2 Teste “ <i>t</i> ” de Student – Teste Paramétrico	67
3.3.5.3 DOE – <i>Design of Experiments</i>	68
3.3.5.4 Etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos	70
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>71</b>
4.1 VARIÁVEIS DO PROCESSO	71
4.2 PLANEJAMENTO FATORIAL COM PONTOS CENTRAIS	71
4.3 ESTRUTURA DAS MALHAS	74
4.3.1 LFA 900 (cm/volta)	74
4.3.2 LFA 980 (cm/volta)	75
4.3.3 LFA 1060 (cm/volta)	75
4.4 COMPARATIVO ENTRE FIBRA, LFA E GRAMATURA	75
4.4.1 Comentário entre Fibra, LFA e Gramatura	76
4.5 CAPILARIDADE	77
4.5.1 Introdução	77
4.5.2 Comparativo da Capilaridade no Sentido Longitudinal entre os Tecidos de Poliamida e Poliéster	78
4.5.2.1 Comparativo da Capilaridade com LFA de 900 (cm/volta)	78

4.5.2.2 Comparativo da Capilaridade com LFA de 980 (cm/volta)	79
4.5.2.3 Comparativo da Capilaridade com LFA de 1060 (cm/volta)	80
<b>4.5.3 Comparativo da Capilaridade no Sentido Transversal entre os Tecidos de Poliamida e Poliéster</b>	<b>81</b>
<b>4.5.4 Comparativo Estatístico entre Capilaridade, Fibra e LFA</b>	<b>82</b>
4.5.4.1 Comentário entre Capilaridade, Fibra e LFA – Planejamento Fatorial	83
4.5.4.2 Correlação entre a Altura do Líquido e a Densidade da Malha	83
4.5.4.2.1 Fator de Densidade da Malha	83
4.5.4.2.2 <i>Correlação: Altura do Líquido por Fator de Densidade</i>	83
4.5.4.2.3 <i>Comentários da Correlação entre a Altura do Líquido e a Densidade da Malha</i>	85
4.5.4.3 Capilaridade – Conclusão	85
<b>4.6 PERMEABILIDADE AO VAPOR</b>	<b>86</b>
<b>4.6.1 Introdução</b>	<b>86</b>
<b>4.6.2 Comparativo Permeabilidade ao Vapor (valor médio)</b>	<b>86</b>
4.6.2.1 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 1060 (cm/volta)	86
4.6.2.2 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 980 (cm/volta)	87
4.6.2.3 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 900 (cm/volta)	88
<b>4.6.3 Comparativo Estatístico da Permeabilidade ao Vapor entre os Tecidos de Malha de Poliamida 6.6 e Poliéster</b>	<b>89</b>
<b>4.6.4 Correlação: Taxa de Vapor por Fator de Densidade</b>	<b>93</b>
<b>4.6.5 Permeabilidade ao Vapor – Conclusão</b>	<b>95</b>
<b>4.7 FATOR DE PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA</b>	<b>95</b>
<b>4.7.1 Introdução</b>	<b>95</b>
<b>4.7.2 Transmitância e Absorbância</b>	<b>96</b>
<b>4.7.3 Determinação do Fator de Proteção Solar em Tecidos (AS/NZS 4399, 1996)</b>	<b>97</b>
<b>4.7.4 Fatores de Influência</b>	<b>97</b>
<b>4.7.5 Princípio do Método – Norma <i>Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4399, 1996.</i></b>	<b>98</b>

<b>4.7.6 Medição do UPF Aplicando-se uma Tensão de 30% em Toda Circunferência do Tecido</b>	99
<b>4.7.7 Quadro-Resumo UPF</b>	99
<b>4.7.8 Resultados do Fator de Proteção Solar (UPF) nas Amostras</b>	100
<b>4.7.9 Curvas de Transmitância (%T) em Função do Comprimento de Onda sem Tensão e com Tensão de 30% em sua Circunferência para a Poliamida 6.6</b>	101
<b>4.7.10 Curvas de Transmitância em Função do Comprimento de Onda sem Tensão e com Tensão de 30% em sua Circunferência para o Poliéster</b>	103
<b>4.7.11 Comentários e Conclusão – Fator de Proteção Ultravioleta</b>	104
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO</b>	105
<b>CAPÍTULO 6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	106
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	107
<b>APÊNDICE</b>	110

---

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fluxo de obtenção da poliamida.....	22
<b>Figura 2.</b> Corte transversal do fio de poliamida.....	23
<b>Figura 3.</b> Mecanismos de texturização.....	24
<b>Figura 4.</b> Fluxo de obtenção do polímero.....	26
<b>Figura 5.</b> Fiação do polímero de poliamida.....	26
<b>Figura 6.</b> Estrutura molecular do poliéster.....	29
<b>Figura 7.</b> Formação da malha tubular .....	30
<b>Figura 8.</b> Vanisado com dois fios.....	30
<b>Figura 9.</b> Vanisado com elastano.....	30
<b>Figura 10.</b> <i>Longuer de Fil Absorbée</i> (LFA).....	31
<b>Figura 11.</b> Acidificação da poliamida.....	33
<b>Figura 12.</b> Difusão do corante para fibra.....	34
<b>Figura 13.</b> Difusão do corante da superfície para o interior da fibra.....	34
<b>Figura 14.</b> Fixação do corante no interior da fibra.....	35
<b>Figura 15.</b> Agregado do corante com dispersante.....	36
<b>Figura 16.</b> Dissolução do corante nos poros da fibra.....	36
<b>Figura 17.</b> Penetração do corante n interior da fibra.....	37
<b>Figura 18.</b> Início da passagem do tecido pela rama.....	38
<b>Figura 19.</b> Termofixação e secagem do tecido pela rama.....	38
<b>Figura 20.</b> Porcentagem de <i>regain</i> das principais fibras.....	39
<b>Figura 21.</b> Capilaridade do fio.....	40
<b>Figura 22.</b> Característica do filamento do fio.....	41
<b>Figura 23.</b> Retenção de água após cinco minutos em centrífuga.....	41
<b>Figura 24.</b> FPU em malhas interloque, peso 300 g/m <sup>2</sup> , tricotadas na mesma máquina sob idênticas condições.....	43
<b>Figura 25.</b> Microclima.....	45
<b>Figura 26.</b> Resistência térmica dos tecidos pela espessura.....	46
<b>Figura 27.</b> Imagem tridimensional de malha.....	53
<b>Figura 28.</b> Capilaridade entre filamentos.....	54
<b>Figura 29.</b> Capilaridade entre fios.....	55

<b>Figura 30.</b> Ângulo de contato .....	55
<b>Figura 31.</b> Beneficiamento da poliamida 6.6.....	59
<b>Figura 32.</b> Beneficiamento do poliéster.....	59
<b>Figura 33.</b> Aparelho <i>Shirley Water Vapour Permeability Tester</i> .....	62
<b>Figura 34.</b> Cuba retangular com régua.....	64
<b>Figura 35.</b> Curva distribuição normal.....	64
<b>Figura 36.</b> Fluxo das variáveis.....	71
<b>Figura 37.</b> Planejamento fatorial.....	69
<b>Figura 38.</b> Relação entre variáveis.....	72
<b>Figura 39.</b> Distribuição <i>t-student</i> .....	74
<b>Figura 40.</b> Microscopia poliamida.....	74
<b>Figura 41.</b> Microscopia poliéster.....	72
<b>Figura 42.</b> Microscopia poliamida.....	75
<b>Figura 43.</b> Microscopia poliéster.....	75
<b>Figura 44.</b> Microscopia poliamida .....	75
<b>Figura 45.</b> Microscopia poliéster .....	75
<b>Figura 46.</b> Cubo entre fibra, LFA, gramatura.....	77
<b>Figura 47.</b> Curva da altura do líquido com LFA 900 cm/volta.....	78
<b>Figura 48.</b> Curva da altura do líquido com LFA 980 cm/volta.....	79
<b>Figura 49.</b> Curva da altura do líquido com LFA 1060 cm/volta.....	80
<b>Figura 50.</b> Curva da altura do líquido transversal. Amostra A1 e A2.....	81
<b>Figura 51.</b> Curva da altura do líquido transversal. Amostra A1 e A2.....	81
<b>Figura 52.</b> Curva da altura do transversal. Amostras A1 e A2.....	82
<b>Figura 53.</b> Correlação entre altura do líquido e a densidade da malha para o tecido de poliamida 6.6.....	84
<b>Figura 54.</b> Correlação entre altura do líquido e a densidade da malha para o tecido de poliéster.....	84
<b>Figura 55.</b> Taxa de vapor. LFA 1060 .....	87
<b>Figura 56.</b> Taxa de vapor. LFA 980.....	88
<b>Figura 57.</b> Taxa de vapor. LFA 900 .....	89
<b>Figura 58.</b> Pareto entre fibra, LFA e permeabilidade ao vapor.....	91
<b>Figura 59.</b> Resíduos para permeabilidade ao vapor.....	92
<b>Figura 60.</b> Cubo entre fibra, LFA e permeabilidade ao vapor.....	92

<b>Figura 61.</b> Relação entre permeabilidade ao vapor, LFA, fibra.....	93
<b>Figura 62.</b> Correlação entre altura do líquido e a densidade da malha para o tecido de poliamida 6.6.....	94
<b>Figura 63.</b> Correlação entre a taxa de vapor e a densidade da malha para o tecido de poliéster.....	94
<b>Figura 64.</b> Ação dos raios UVA e UVB sobre a pele.....	96
<b>Figura 65.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 900 cm/volta, sem tensão.....	101
<b>Figura 66.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 900 cm/volta, com tensão 30 .....	101
<b>Figura 67.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 980 cm/volta, sem tensão.....	102
<b>Figura 68.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 980 cm/volta, com tensão 30 %.....	102
<b>Figura 69.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 1060 cm/volta, sem tensão 30.....	102
<b>Figura 70.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA 1060 cm/volta, com tensão 30%.....	102
<b>Figura 71.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 900 cm/volta, sem tensão.....	103
<b>Figura 72.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 900 cm/volta, com tensão 30 %.....	103
<b>Figura 73.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 980 cm/volta, sem tensão.....	103
<b>Figura 74.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 980 cm/volta, com tensão de 30%.....	103
<b>Figura 75.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 1060 cm/volta, sem tensão.....	104
<b>Figura 76.</b> Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA 1060 cm/volta, com tensão de 30%.....	104

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Característica dos fios.....	40
<b>Tabela 2.</b> Dados dos tecidos de malha em cru.....	57
<b>Tabela 3.</b> Dados dos tecidos de malha acabado.....	58
<b>Tabela 4.</b> Classificação do valor de UV em relação aos valores de UPF.....	64
<b>Tabela 5.</b> Planejamento fatorial do ensaio.....	72
<b>Tabela 6.</b> Médias de gramatura para os tecidos acabado.....	76
<b>Tabela 7.</b> Planejamento experimental para LFA, fibra e gramatura.....	76
<b>Tabela 8.</b> Capilaridade em função do tempo para LFA 900 cm/volta.....	78
<b>Tabela 9.</b> Capilaridade em função do tempo para LFA 980 cm/volta.....	79
<b>Tabela 10.</b> Capilaridade em função do tempo para LFA 1060 cm/volta.....	80
<b>Tabela 11.</b> Planejamento fatorial com LFA, fibra e capilaridade.....	82
<b>Tabela 12.</b> Altura do líquido por fator de densidade.....	83
<b>Tabela 13.</b> Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 1060 cm/volta.....	86
<b>Tabela 14.</b> Valores para a taxa de vapor. LFA 1060.....	87
<b>Tabela 15.</b> Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 980 cm/volta.....	87
<b>Tabela 16.</b> Valores para a taxa de vapor. LFA 980.....	88
<b>Tabela 17.</b> Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 900 cm/volta.....	88
<b>Tabela 18.</b> Valores para a taxa de vapor. LFA 900.....	89
<b>Tabela 19.</b> Planejamento fatorial para LFA, fibra e permeabilidade ao vapor.....	90
<b>Tabela 20.</b> Análise estatística para permeabilidade ao vapor .....	91
<b>Tabela 21.</b> Taxa de vapor e fator de densidade.....	93
<b>Tabela 22.</b> Classificação do fator de proteção.....	99
<b>Tabela 23.</b> Valores de UPF para os tecidos sem tensão.....	100
<b>Tabela 24.</b> Valores de UPF para os tecidos com tensão de 30%.....	101

## NOMENCLATURA

### Letras

**p** – Probabilidade

**$\rho$**  – É a densidade do tecido em ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

**A** – Área por onde o calor é conduzido ( $\text{m}^2$ )

**c** – É o calor específico ( $\text{cal}/\text{g}^\circ\text{K}$ )

**dfib** – Diâmetro da fibra (mm)

**C** – Carreiras por centímetro

**E** – Perda de calor por evaporação ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

**$\xi$**  – Porosidade (%)

**$\xi$  macro** – Porosidade no Macro Poro (%)

**F** – Fator de cobertura

**K** – Condutividade térmica ( $\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$ )

**L** – Espessura do tecido (cm e m)

**r** – Resistência térmica ( $\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ )

**h** – Altura atingida por um líquido num intervalo de tempo (mm)

**hc** – Coeficiente de troca por convecção ( $\text{W}/\text{m}^2\ ^\circ\text{C}$ )

**hr** – Coeficiente de troca por radiação ( $\text{W}/\text{m}^2\ ^\circ\text{C}$ )

**g** – Aceleração da gravidade ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

**$\text{g}/\text{m}^2$**  – Peso em gramas por unidade de metro quadrado

**N** – Tamanho da amostra

**n** – número de filamentos do fio

**$H_0$**  – Hipótese nula

**$H_1$**  – Hipótese alternativa

**Icl** – Isolamento térmico da roupa ( $\text{m}^2\ ^\circ\text{C}/\text{W}$ )

**psk** – Pressão de vapor de água na pele (Kpa)

**pa** – Pressão de vapor de água no ambiente (Kpa)

**Rmi** – Raio dos Capilares (mm)

**tcl** – Temperatura do tecido da roupa ( $^\circ\text{C}$ )

**tr** – Temperatura radiante média ( $^\circ\text{C}$ )

**ts** – Temperatura da superfície da pele ( $^\circ\text{C}$ )

**Rt** – Resistência da vestimenta [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{Kpa})$ ]

**T** – Temperatura ( $^{\circ}$  C)

**t** – Tempo (s)

**v** – Velocidade do ar (m/s)

**V<sub>a</sub>** – Volume dos poros que podem ser molhados por um líquido (ml)

**V<sub>t</sub>** – Volume total da amostra (ml)

**mm** – Milímetro

**g/tex** – Gramas por tex

**cN/tex** – centiNewton por tex

**den** – Título de fio no sistema denier

**dtex** – Título de fio no sistema decitex

**$\alpha$**  – Nível de significância

**$\mu_1$**  – Média populacional para o grupo “1”

**$\mu_2$**  – Média Populacional para o grupo “2”

**$\mu$**  – Microns, unidade de medida

**$\gamma$**  – Tensão superficial (N/m)

**W** – Colunas por centímetro

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRAFAS** – Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas
- AS** – *Australian*
- ASTM** – *American Society for Testing and Materials*
- CA** – Acetato de Celulose
- Clo** – Unidade de Isolamento Térmico
- cm** – Centímetro, unidade de comprimento
- CO** – Abreviação para Algodão
- COOH** – Grupo Carboxila
- CV** – Viscose
- CV(%)** – Coeficiente de Variação
- Dif.** – Diferença
- EFIC** – Eficiência
- F** – Fator de Cobertura do Tecido
- FAD** – Fadiga
- FPS** – Fator de Proteção Solar
- GR** – Grupo
- Gram** – Gramatura do Tecido
- ISO** – *International Organization for Standardization*
- LFA** – *Longuer de Fil Absorbée*
- Met** – Unidade de Metabolismo
- Ne** – Título de Fio no Sistema Inglês
- NH<sub>2</sub>** – Grupo Amina
- NH<sub>3</sub><sup>+</sup>** – Grupo Amina Acidificado
- NZS** – New Zealand Standard
- OH** – Grupo Hidroxila
- PA 66** – Abreviação para Poliamida 6.6
- PAC** – Acrílico
- PES** – Abreviação para Poliéster
- PP** – Polipropileno

**SE** – Desvio Padrão

**SI** – Sistema Internacional de Unidades

**TE** – Significância do Coeficiente

**Tg** – Temperatura de Transição Vítrea

**UPF** – *Ultraviolet Protection Factor* (Fator de Proteção Ultravioleta)

**WO** – Lã

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Os tecidos têxteis atuam como uma barreira entre a superfície cutânea e o ambiente. Cerca de 90% da superfície do corpo humano está normalmente coberta por vestuário, dada sua importância na proteção contra o clima. O vestuário pode ser descrito em termos de propriedades funcionais e estruturais.

Nas propriedades estruturais, destaca-se:

- peso do tecido ( $\text{g/m}^2$ );
- espessura (mm);
- padronagem (forma de entrelaçamento dos fios em um tecido);
- matéria-prima;
- elasticidade (%).

O entrelaçamento das fibras ou fios pode ser efetuado por diferentes processos, originando tecidos de diferentes características.

**Tecidos planos** são obtidos pelo entrelaçamento de dois planos de fios, em ângulo reto, sendo um plano no sentido longitudinal, chamado urdume, e outro no sentido transversal, chamado trama.

**Tecidos de malha** são obtidos pelo entrelaçamento do próprio fio, formando laços. Este estudo comparativo entre as duas principais fibras sintéticas – poliamida 6.6 e poliéster – utiliza-se de tecidos de malharia circular, em função da variada gama de aplicabilidade no segmento esportivo.

**Tecidos não tecidos** são obtidos pelo entrelaçamento aleatório das fibras têxteis, consolidadas por processo mecânico, térmico ou químico.

Estudar as características das fibras (propriedades físicas e térmicas) é fundamental para estabelecer uma relação com a funcionalidade da roupa.

As propriedades de permeabilidade ao vapor e capilaridade têm importância significativa no conforto térmico e são estudadas neste trabalho. A proteção contra raios ultravioleta está diretamente relacionada à proteção da pele.

Neste estudo, relacionam-se as propriedades das fibras e dos tecidos de malha para a atividade física, por esse motivo os dois tipos de fibra escolhidos são a poliamida 6.6 e o poliéster (fibras sintéticas), visto que produzem tecidos leves e com níveis de transporte de umidade e secagem adequadas, algo que não ocorre em fibras naturais. O algodão, por exemplo, apesar de ter boa taxa de absorção de umidade, possui secagem muito lenta, o que durante a atividade física pode causar desconforto. Quando se pratica exercício físico, a funcionalidade da roupa é fundamental para o bem-estar do indivíduo

Para comparar a propriedade de permeabilidade ao vapor entre tecidos de malha de poliamida 6.6 e poliéster, utilizou-se o método de Planejamento de Experimentos (Design of Experiments), uma vez que essa propriedade é uma função linear, condição para utilização deste método estatístico.

No comparativo de capilaridade, que relaciona a altura atingida por um líquido a um intervalo de tempo, o objetivo foi estudar o comportamento da altura capilar em função do tempo para ambas as fibras: a poliamida 6.6 e o poliéster.

Determinar o nível de proteção solar, relacionando-o com o tipo de fibra e a característica do tecido de malha, também foi um dos objetivos neste trabalho.

No final de cada capítulo relacionam-se os resultados obtidos com as propriedades avaliadas.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é, portanto, analisar comparativamente as propriedades de permeabilidade ao vapor, capilaridade e proteção ultravioleta em tecidos de malha com elastano para aplicação em roupas esportivas confeccionadas com as duas principais fibras sintéticas para o vestuário esportivo – poliamida 6.6 e poliéster.

## CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO

O conforto é um dos mais importantes atributos da vida moderna. O ser humano está permanentemente, consciente ou inconscientemente, procurando manter ou melhorar o estado de conforto, físico ou psicológico, na escolha do curso das ações. Estudar as propriedades físicas e térmicas das fibras é fundamental para estabelecer uma relação com a funcionalidade da roupa. Os fios e tecidos inteligentes agregam, no interior da fibra, tecnologia e ciência. Em razão disso, são capazes de oferecer propriedades funcionais de desempenho, bem-estar e conforto.

Este capítulo realiza uma revisão da bibliografia a fim de estudar as propriedades das fibras, relacionando-as com funcionalidades importantes, tais como permeabilidade ao vapor, capilaridade, proteção ultravioleta, e absorção de umidade.

### 2.2 DIAGRAMA DE OBTENÇÃO DE FIBRAS SINTÉTICAS

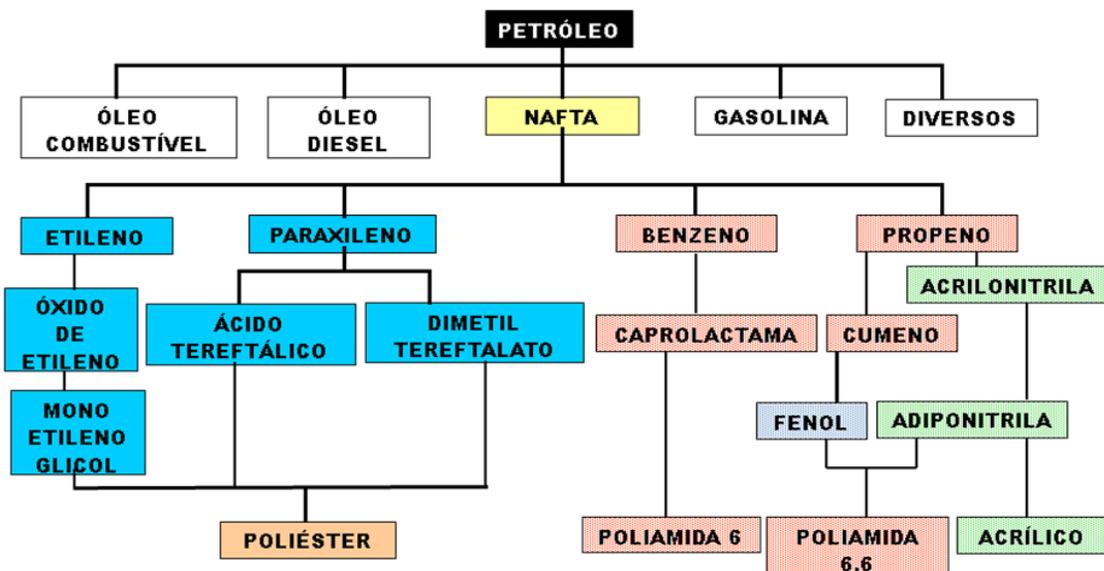


Figura 1. Fluxo de obtenção da poliamida

### 2.3 TÍTULO DE PRODUTOS TÊXTEIS<sup>1</sup>

O título do fio define a relação entre a massa e o comprimento. Dois sistemas são amplamente empregados, o direto e o indireto:

1) sistema direto ou massa por unidade de comprimento, assim designado porque, quanto mais grosso o fio, maior é o peso por unidade de comprimento;

2) sistema indireto ou comprimento por unidade de massa, assim designado porque, quanto mais leve (ou fino) o fio, maior é o comprimento por unidade de peso.

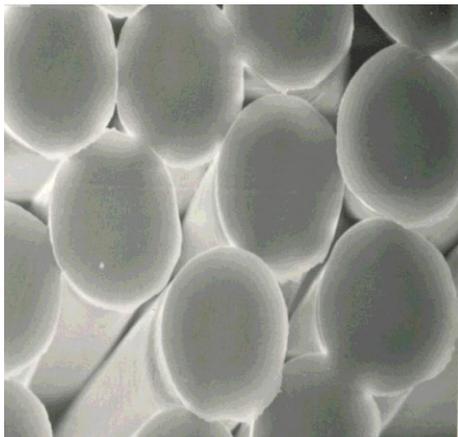
Título Denier (den). O título denier de qualquer fibra química é igual ao peso em gramas de 9.000 metros desse fio.

Título DTEX (dtex). O título dtex de um fio ou de qualquer outro material têxtil é igual ao peso em gramas de 10.000 metros de fio.

Título inglês (Ne). O título inglês de um fio têxtil é igual ao número de meadas de 840 jardas cada uma, necessárias para obter o peso de uma libra.

### 2.4 MICROFIBRA

Fio contínuo cujos filamentos unitários apresentam diâmetro inferior a  $1,2\mu$ , ou seja, menor 1,2dtex ou 1,1den. Na Figura 2, vê-se o corte transversal de filamento na microfibra.



**Figura 2.** Corte transversal do fio de poliamida

---

<sup>1</sup> LYER, C.; MAMMRL, B.; SCHÄCH, W. *Máquinas circulares – teoría y práctica de la tecnología del punto*. Alemanha: 1997, 190-5.

## 2.5 FIOS TEXTURIZADOS

Texturização é o processo de transformação de fios contínuos (sintéticos), que consiste em aumentar-lhes o volume ou elasticidade utilizando-se geralmente da termoplasticidade dos fios. O processo de texturização confere ao fio maior volume, maior elasticidade, toque mais quente no produto final (tecido, malha), menos brilho e maior fator de cobertura<sup>2</sup>.

A Figura 3 mostra o mecanismo de texturização.

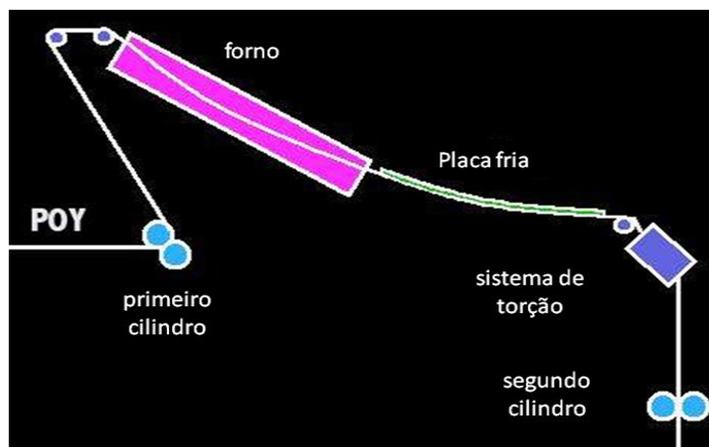


Figura 3. Mecanismo de texturização

## 2.6 POLIAMIDA 6.6

### 2.6.1 Definição

Poliamida 6.6 é a macromolécula em que as unidades estruturais são ligadas por grupamentos amida (-CONH-).

A poliamida 6.6 é obtida na síntese por policondensação linear (os monômeros possuem funcionalidade 2) entre ácido adípico ( $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ ) e hexametilenodiamina ( $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ ).

<sup>2</sup> Fator de cobertura é definido pela relação entre a área de superfície do tecido e a área do tecido coberta pelo fio.

Na poliamida 6.6, o primeiro 6 representa o número de carbonos do diácido, e o segundo 6 representa o número de carbonos da diamina.

No que se refere à poliamida 6.6, é importante definir o conceito de Polimerização por Etapa<sup>33</sup>, que ocorre pela reação entre dois grupos funcionais diferentes:

Ex:  $-\text{OH}$  e  $-\text{COOH}$  ou  $-\text{NH}_2$ ;  $\text{R-NCO}$  e  $-\text{OH}$  ou  $-\text{NH}_2$

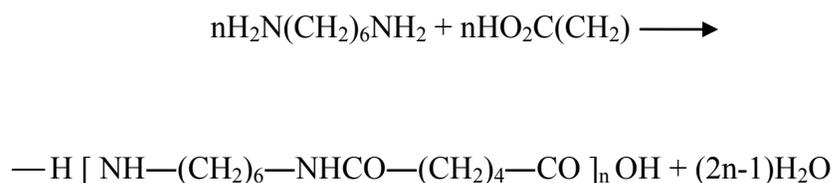
$\text{OH}$  = hidroxila;  $\text{COOH}$  = carboxila;  $\text{NH}_2$  = amina

A poliamida 6.6 é sintetizada a partir do hexametileno diamina com ácido adípico seguindo os conceitos da polimerização por etapa:



em que x, em geral, é molécula de  $\text{H}_2\text{O}$ .

A seguir, verifica-se como fica para a poliamida 6.6 a polimerização por etapa:



A polimerização procede aproximadamente com 80% a 90% de conversão.

Com o sal náilon 6.6, fórmula  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COO}^-\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2^+$ , tem-se o fluxo para obter o polímero de poliamida 6.6 apresentado a seguir.

---

<sup>33</sup> ODIAN, G. *Principles of polymerization*. 2006, p. 39-41, 97-98.

### 2.6.2 Fluxo de Obtenção do Polímero de Poliamida (Náilon)

A Figura 4 mostra o processo de obtenção do polímero de náilon a partir do sal náilon.

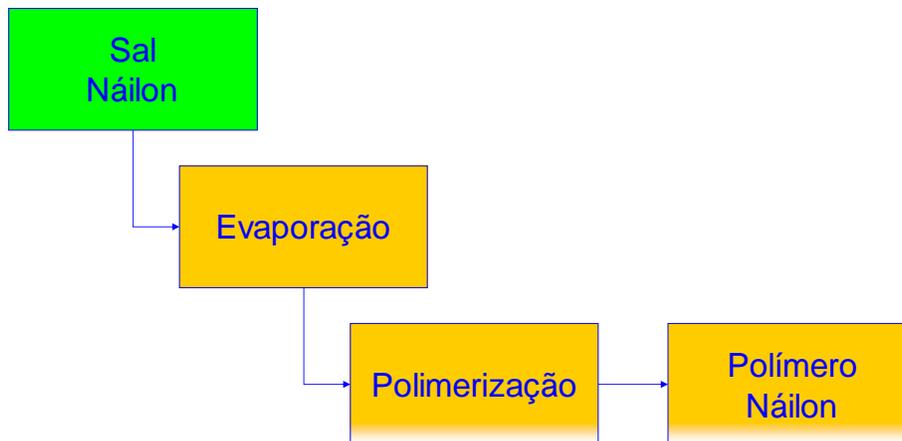


Figura 4. Fluxo de obtenção do polímero

### 2.6.3 Obtenção do Fio de Poliamida

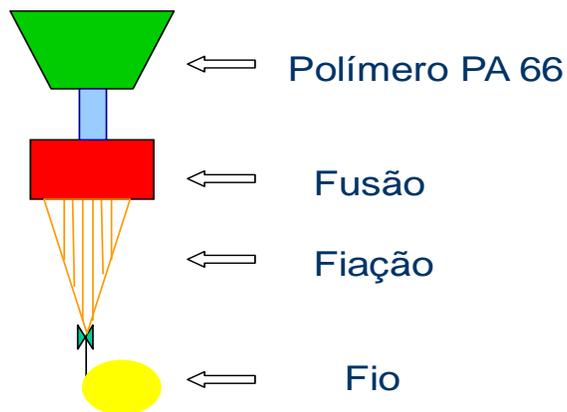


Figura 5. Fiação do polímero de poliamida

Na Figura 5, observa-se que, a partir do polímero de poliamida 6.6 (polímero náilon), a massa polimérica é fundida (fusão), depois fiada (fiação), para em seguida ser enrolada. Obtém-se, então, o fio de poliamida com determinado número de filamentos.

## 2.7 POLIÉSTER

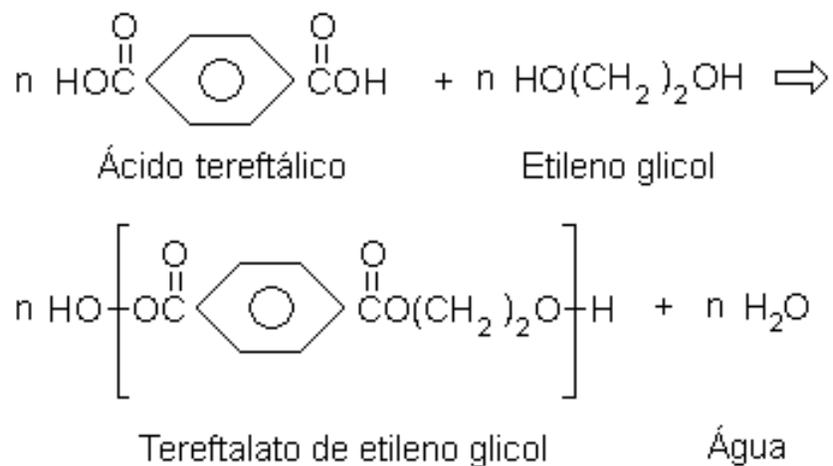
### 2.7.1 Definição

Poliéster é a macromolécula que contém o grupo funcional éster na cadeia principal.

### 2.7.2 Obtenção de Poliéster<sup>4</sup>

A primeira etapa para a obtenção de poliéster é a esterificação, em que o tereftalato de etileno glicol pode ser produzido de duas maneiras.

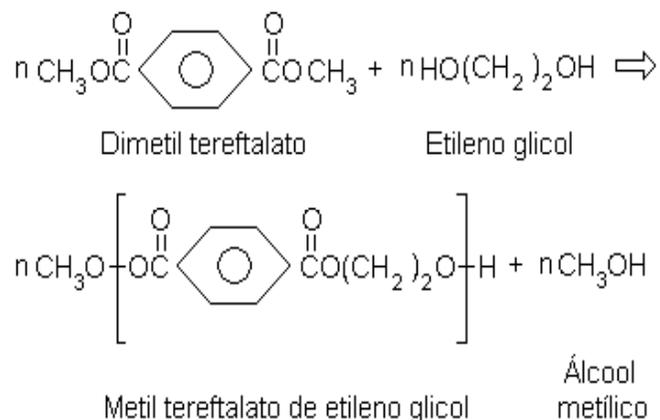
- 1) Primeira maneira de obtenção de poliéster:



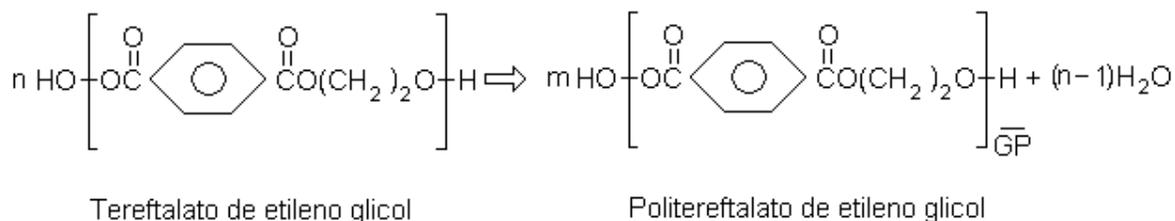

---

<sup>4</sup> ODIAN, op. cit., p. 83-90.

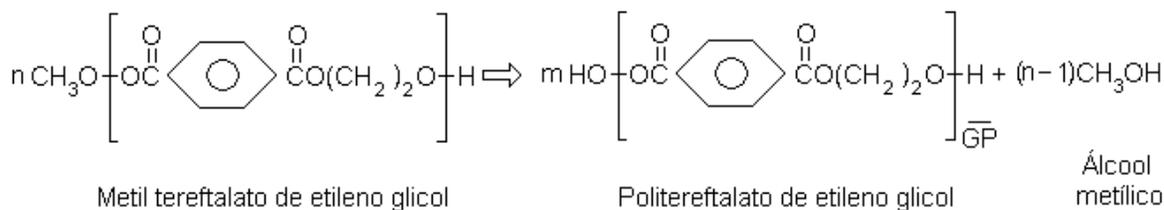
2) Segunda maneira de obtenção de poliéster:



A segunda etapa é a policondensação:



Ou:

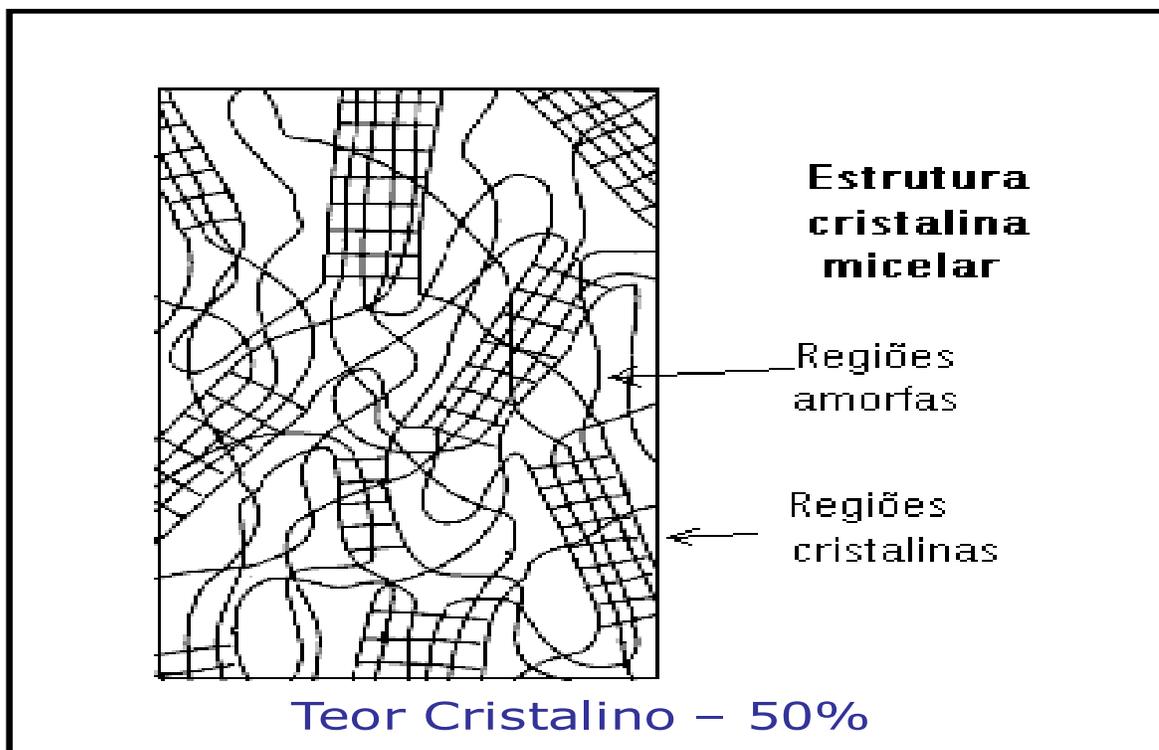


### 2.7.3 Características Molares do Poliéster

- Molécula curta, grau de polimerização medio de 70 a 100.
- Molécula semirrígida.
- Molécula regular.
- Presença de grupos polares para formar ligações intermoleculares.

### 2.7.4 Estrutura Molecular do Poliéster

A Figura 6 mostra a estrutura molecular do poliéster.



**Figura 6.** Estrutura molecular do poliéster

Fonte: MARINHO, 2005

## 2.8 TECIDO DE MALHA

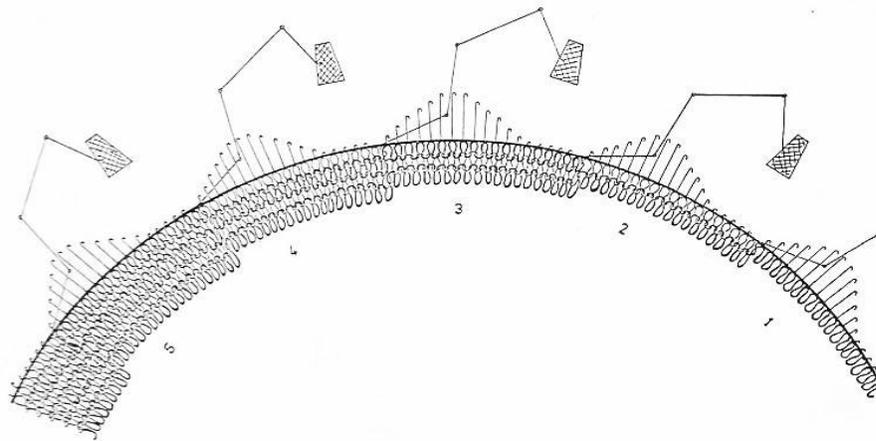
### 2.8.1 Tecido de Malharia Circular

Os tecidos de malha por trama são estruturas resultantes do entrelaçamento de um único grupo de fios entre si por meio de laçadas no sentido da largura do tecido, ou seja, na direção da trama – sentido horizontal.

Todas as agulhas são alimentadas por um mesmo fio ou grupo de fios, e as malhas vão sendo formadas sucessivamente.

A malha por trama pode ser circular (produzida na forma de um tubo) ou retilínea (malha aberta, geralmente com largura variável entre 1,40 cm e 1,60 cm, fabricada em máquinas planas). É importante destacar aqui duas definições:

A Figura 7 seguir mostra a formação de malha tubular:

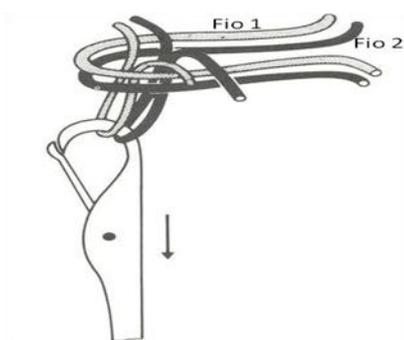


**Figura 7.** Formação da malha tubular

**Fonte:** Lyer; Mammrl; Schäch, 1997

### 2.8.2 Tecido de Malharia Circular Vanisado com Elastano

Denomina-se vanisado ao tecido de malha em que dois ou mais fios têxteis trabalham paralelamente em determinada ligação. O sistema de vanisado mais usado é o que trabalha um fio têxtil com um fio de elastano. As figuras 8 e 9 ilustram a formação vanisada do tecido.



**Figura 8.** Vanisado com dois fios



**Figura 9.** Vanisado com elastano

**Fonte:** Yamaoka, 2007

### 2.8.3 Quantidade de Fio Absorvido

Significa a quantidade de fio por malha, expressa em cm por malha (cm/malha), em que a abreviação LFA utilizada vem do francês, *longuer de fil absorbée*<sup>5</sup>. É o principal responsável pelas características de densidade de malha (Association Française de Normalization<sup>6</sup>, *longuer de fil absorbée*, 1985). A Figura 10 mostra o tamanho da laçada (LFA) em vermelho.

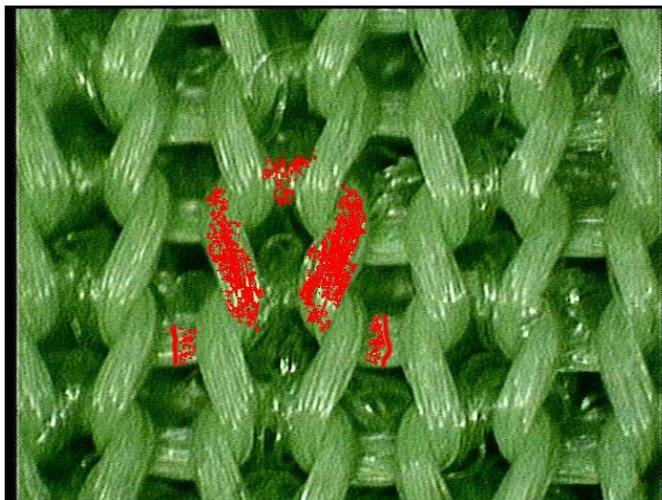


Figura 10. *Longuer de fil absorbée* (LFA)

### 2.8.4 Carreiras por Centímetro e Colunas por Centímetro

O número de carreiras em 1 cm de malha mostra a quantidade de laçadas de malha em 1 cm no sentido do comprimento da malha.

O número de colunas em 1cm de malha mostra a quantidade de agulhas em 1 cm no sentido da largura do tecido de malha.

---

<sup>5</sup> *Longuer de fil absorbée* (LFA): comprimento de fio absorvido.

<sup>6</sup> Association Française de Normalization. NFG 07.101; *Longuer de fil absorbee*. Paris: 1985, 7 p.

### 2.8.5 Fator de Cobertura em Malharia Circular

O Fator de Cobertura de uma estrutura de malha exerce grande influência sobre o comportamento das propriedades dimensionais dos tecidos de malhas, relacionando o título do fio ao comprimento da laçada.

O fator é obtido por meio da razão entre a área do tecido coberta pelo fio e a área total do mesmo tecido (área da laçada tomada pelo fio / área total ocupada pela laçada).

Evidentemente, existe interação entre o diâmetro do fio e o Fator de Cobertura, pois fios com diâmetros diferentes proporcionarão coberturas diferentes sobre o tecido.

Em malharia circular, a equação a seguir mostra o título do fio relacionado com o comprimento da laçada (LFA). Surge então a expressão:

$$\text{Fator de cobertura (F)} = \frac{\sqrt{\text{título do fio}}}{\text{LFA}} \quad (1)$$

Título do fio em tex, e LFA em cm/malha.

### 2.8.6 Finura de Máquina Circular<sup>7</sup>

Relaciona o número de agulhas por 1 polegada da máquina.

A unidade utilizada para expressar a finura de uma máquina circular é o “gauge”; quanto mais fino for o tear circular, maior será a quantidade de agulhas em uma polegada, portanto, o espaço entre as agulhas será menor, o que implica a utilização de fio mais fino.

---

<sup>7</sup> LYER; MAMMRL e SCHÄCH, p 4-10.

### 2.8.7 Diâmetro do Tear Circular

O diâmetro do tear circular expressa o diâmetro da circunferência do tear circular em polegadas.

## 2.9 BENEFICIAMENTO DOS TECIDOS EM POLIAMIDA<sup>8</sup>

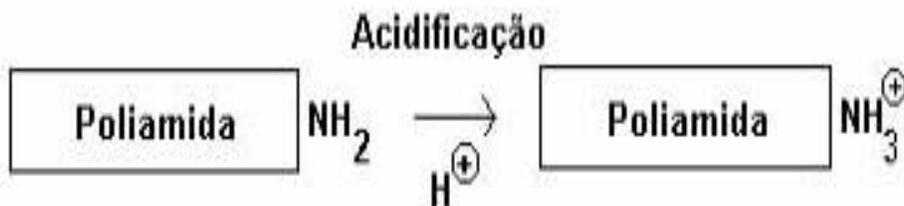
Tanto a poliamida 6 como a poliamida 6.6 dependem dos grupos amínicos terminais para fixar os corantes aniônicos.

Exceto os corantes dispersos, todas as demais classes de corantes usadas para as poliamidas são aniônicas. Corante aniônico é aquele cuja parte colorida tem carga negativa.

Entende-se por afinidade tintorial a propriedade dos corantes de atração para a fibra para com esta estabelecerem ligações químicas (fixação).

Podem-se dividir em quatro fases o mecanismo de tingimento.

Primeira fase – acidificação dos grupos  $\text{NH}_2$  para a formação dos grupos  $\text{NH}_3^+$ , catiônicos. A figura 11 mostra essa primeira fase:



**Figura 11.** Acidificação da poliamida

**Fonte:** Valdeperas, Cegarra, Puente, 1981

---

<sup>8</sup> VALLDEPERAS, José; CEGARRA, José; PUENTE, Pablo. *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*. Barcelona: 1981, p. 576-90.

Segunda fase – difusão do corante do banho para a superfície da fibra através do choque das moléculas de corante com a fibra causada pela agitação do banho, temperatura e pela atração da carga negativa do corante com as positivas da fibra.

A Figura 12 mostra esse mecanismo.

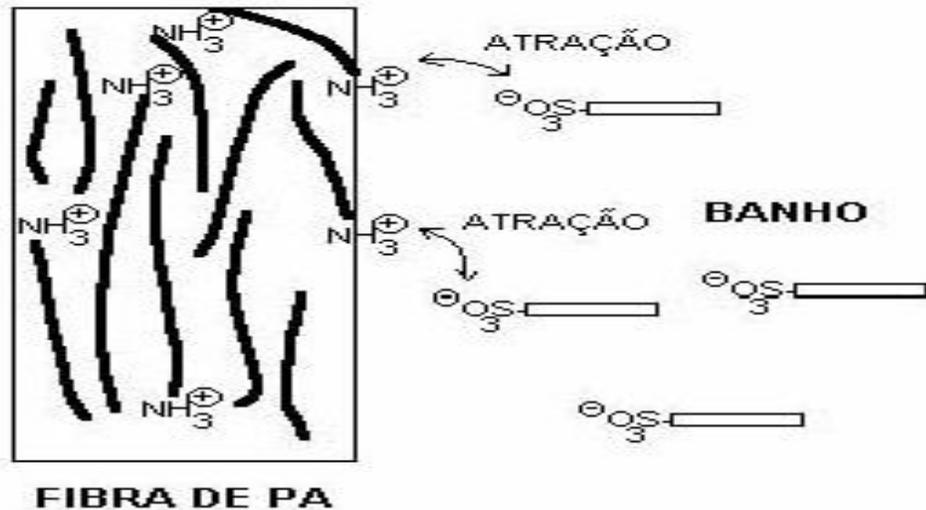


Figura 12. Difusão do corante para fibra

Terceira fase – difusão do corante da superfície da fibra para o seu interior.

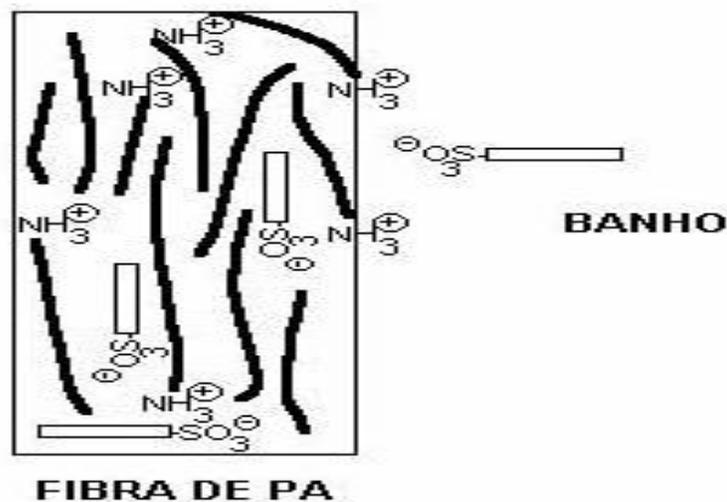


Figura 13. Difusão do corante da superfície para o interior da fibra

Quarta fase – fixação do corante no interior da fibra.

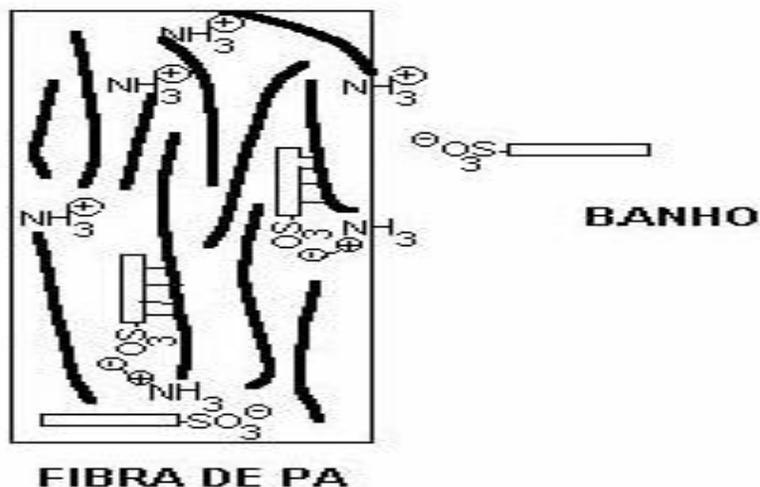


Figura 14. Fixação do corante no interior da fibra

## 2.10 BENEFICIAMENTO DE TECIDOS EM POLIÉSTER<sup>9</sup>

O poliéster não possui um grupo ativo capaz de fixar os corantes dispersos e a afinidade tintorial está a cargo da interação de grupos mais fracos que exercem apenas uma pequena atração para com os corantes.

A fibra de poliéster possui uma estrutura fechada, que somente se abre a partir da  $T_g$ , que é de aproximadamente  $80^{\circ}\text{C}$ .

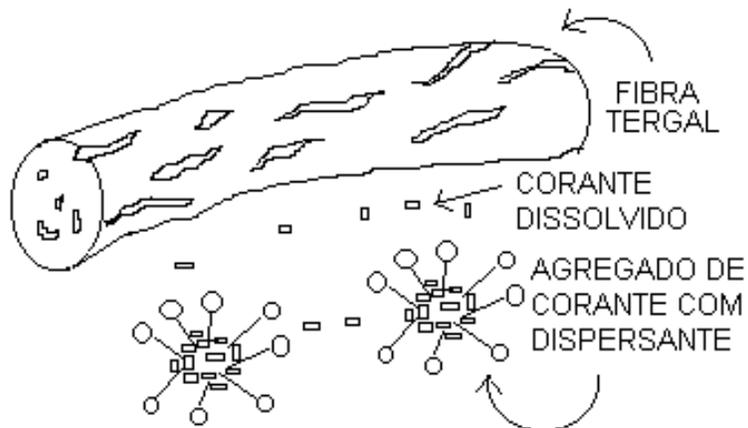
Existe, por conseguinte, uma certa dificuldade de difundir os corantes no interior da fibra a temperaturas até  $100^{\circ}\text{C}$  e é preciso ir mais além, em geral até  $120^{\circ}\text{C}$ , dependendo basicamente do tamanho da molécula dos corantes.

Nessas temperaturas, trabalham-se as pressões da ordem de  $4,0$  a  $4,5 \text{ kg/cm}^2$  em aparelhos fechados.

<sup>9</sup> VALLDEPERAS, CEGARRA, PUENTE, op. cit., p. 653-7.

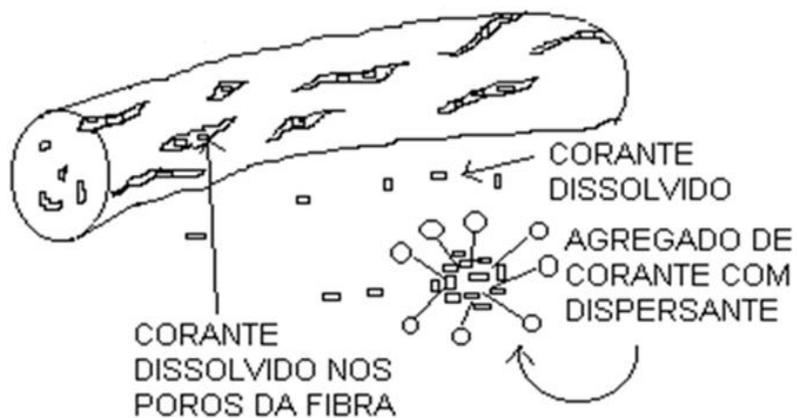
A seguir, apresentam-se as três etapas de tingimento do poliéster.

1ª etapa: agregado do corante com dispersante.



**Figura 15.** Agregado do corante com dispersante

2ª etapa: dissolução do corante nos poros da fibra



**Figura 16.** Dissolução do corante nos poros da fibra

3ª etapa: penetração do corante através das camadas moleculares que, ao vibrar, forma novos interstícios moleculares e permitem que o corante se difunda para o interior da fibra.



**Figura 17.** Penetração do corante no interior da fibra

## 2.11 TERMOFIXAÇÃO<sup>10</sup>

Os tecidos compostos de fibras sintéticas e os mistos, de fibras naturais e sintéticas, como na mistura de algodão com poliéster, ou algodão com poliamida, precisam ser submetidos a tratamento térmico depois de ajustada a largura, a fim de estabilizar a forma e reduzir a tendência ao encolhimento em tratamentos térmicos posteriores. Essa operação, de fixar o comprimento do tecido por termofixação, é executada na rama.

Durante a fabricação, fios e tecidos são submetidos a tensões variáveis. As tensões dão, posteriormente, origem ao encolhimento e/ou à deformação. Elas podem ser eliminadas, convertendo-se uniões moleculares fracas, existentes nas fibras sob tensão (forças de dispersão e forças polares), em uniões estáveis. Essa alteração das forças intermoleculares é conseguida pelo fornecimento de energia térmica, isto é, pelo aquecimento das fibras.

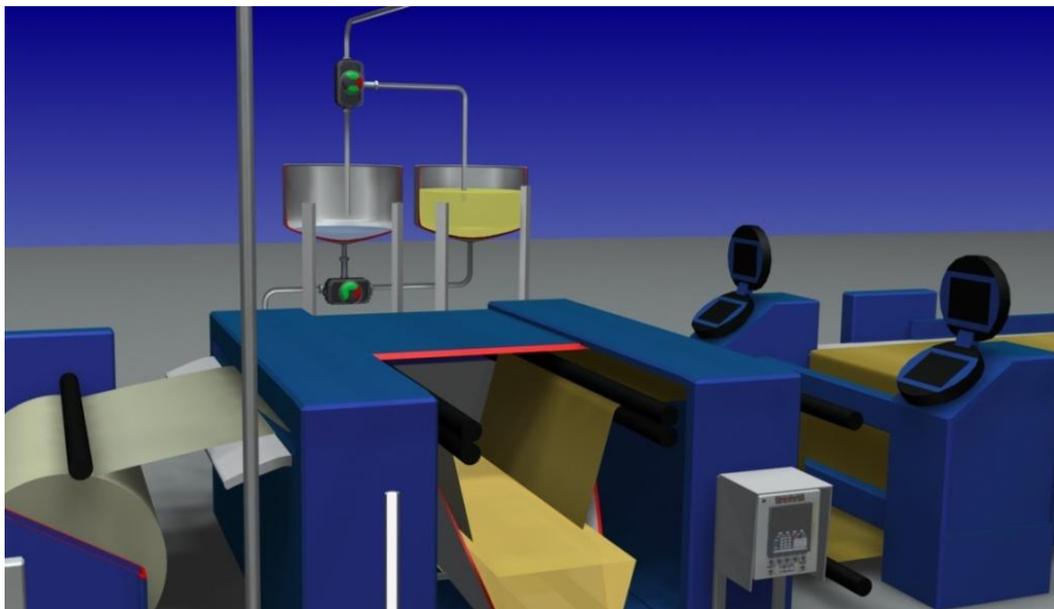
O aumento da temperatura na rama causa rompimentos sucessivos de ligações entre grupos moleculares específicos (ponto de vitrificação), e, ao esfriar o tecido, as ligações intermoleculares se reagrupam, adaptando-se às novas condições físicas.

---

<sup>10</sup> Instituto de Pesquisa Tecnológica. Manual Têxtil, p. 288-9.

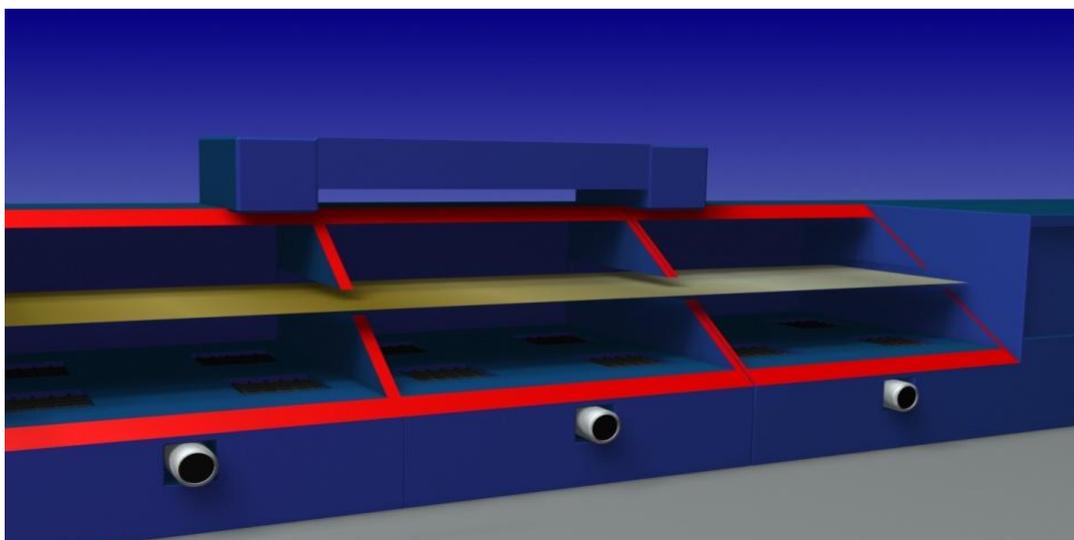
Simbolicamente, é como se fosse dado ao tecido nova memória, impedindo-o de se encolher ou deformar em tratamentos térmicos posteriores a temperaturas inferiores à da termofixação. Unicamente as fibras que apresentam quantidade notável de zonas cristalinas podem ser termofixadas, tal como ocorre com as fibras de poliéster ou poliamida.

A Figura 18 e Figura 19 mostram a termofixação do tecido na rama.



**Figura 18.** Início da passagem do tecido pela rama

**Fonte:** *Textil Maschinen Thies*, Itma, 2007



**Figura 19.** Termofixação e secagem do tecido pela rama

**Fonte:** *Textil Maschinen Thies*, Itma, 2007

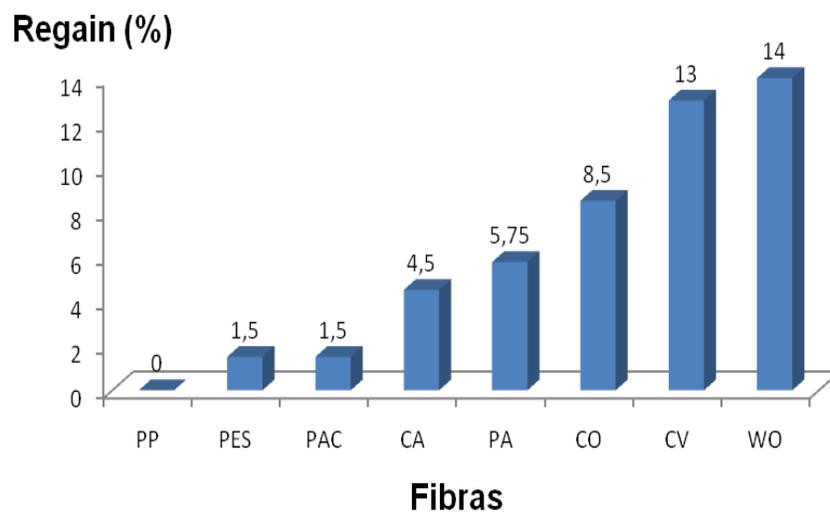
## 2.12 PROPRIEDADES DAS FIBRAS

### 2.12.1 Teor de Umidade<sup>11</sup>

O Teor de Umidade expressa como porcentagem a umidade presente em determinado material têxtil sob condições preestabelecidas.

Denomina-se *regain* quando essa porcentagem de umidade é calculada em função do peso seco da amostra.

A Figura 20 mostra a porcentagem de *regain* para diversas fibras.



**Figura 20.** Porcentagem de *regain* das principais fibras

**Fonte:** Fourt e Hollies, 1970

Quanto maior o *regain*, maior será o poder de absorção de umidade da fibra.

---

<sup>11</sup> FOUNT, Lyman; HOLLIES, Norman. *Clothing comfort and function*, 1970.

### 2.12.2 Características dos Fios

A propriedade dos fios tem influência significativa nas características finais do tecido. A Tabela 1 mostra o comparativo entre poliamida, poliéster e algodão.

**Tabela 1.** Características dos fios

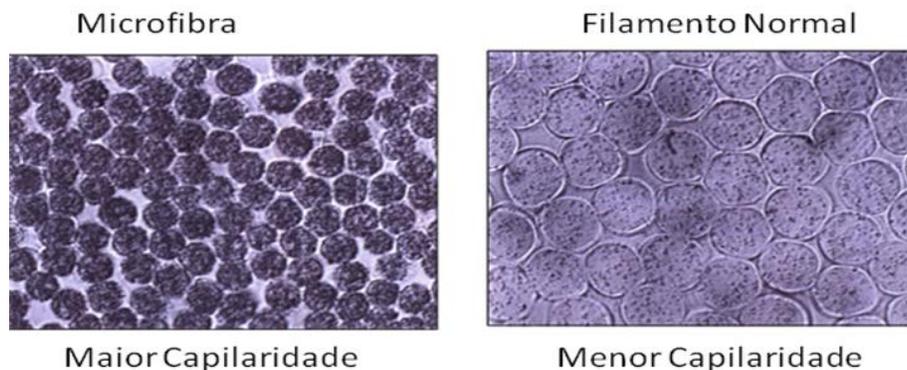
<b>Propriedades</b>	<b>Algodão</b>	<b>Poliamida</b>	<b>Poliéster</b>
Faixa de Título (dtex)	Médio-grosso (100 a 800)	Muito fino (10 a 250)	Fino (50 a 300)
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Alta (1,52)	Baixa (1,14)	Média (1,38)
Absorção de umidade	Alta (8,5%)	Média (5,75%)	Baixa (1,5%)
Retenção de água	Muito alta	Baixa	Muito baixa
Velocidade de secagem	Muito baixa	Alta	Muito alta
Isolamento térmico (ar=1; água=27)	Muito Baixo (18,04)	Médio (9,7)	Alto (5,6)
Elasticidade	Muito baixa	Alta	Média
Superfície	Pilosa	Lisa	Lisa

**Fonte:** Fourt e Hollies, 1970

### 2.12.3 Finura do Fio

A Finura do Fio está relacionada com o título do fio: no caso de fibras sintéticas, quanto menor o título do fio, mais fino será seu diâmetro. A relação entre título do fio com o número de filamentos tem importância significativa na capilaridade. Quanto maior o número de filamentos do fio, maior será a capilaridade.

A Figura 21 ilustra esse aspecto.



**Figura 21.** Capilaridade do fio

### 2.12.4 Tipo de Fio

A Figura 22 mostra a relação entre o tipo de filamento do fio e sua influência no toque do tecido.

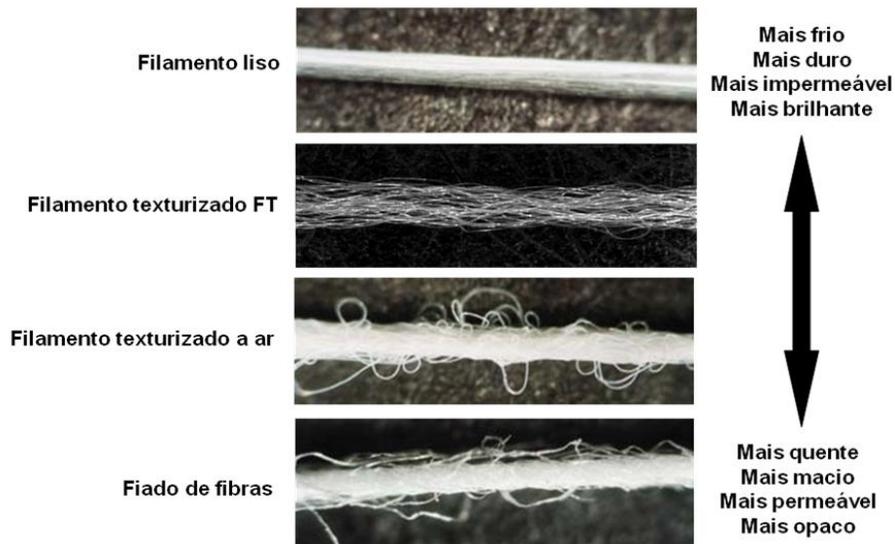


Figura 22. Característica do filamento do fio

### 2.12.5 Absorção de Água

A Figura 23 mostra comparativo de retenção de água entre poliamida (PA), poliéster (PES) e algodão (CO).

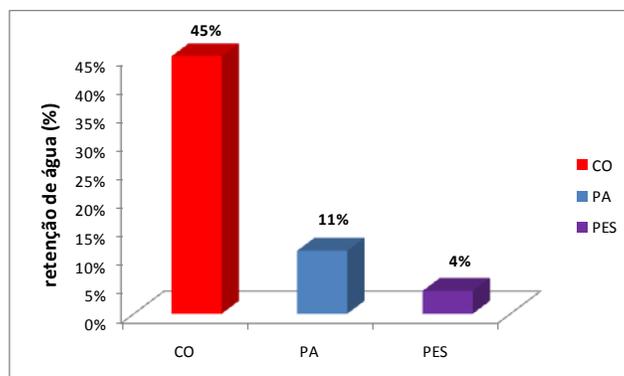


Figura 23. Retenção de água após cinco minutos em centrífuga

Fonte: Fourt e Hollies, 1970

## 2.13 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA<sup>12</sup>

O espectro solar tem três tipos de raio ultravioleta, com as seguintes implicações para a pele, conforme comparativo a seguir.

**1) UVA** – comprimento de onda: 315 nm a 400 nm<sup>13</sup>

- ✓ Bronzeamento
- ✓ Destruição de pequenas fibrilas localizadas nas partes profundas da pele.
- ✓ Envelhecimento da pele.
- ✓ Pode causar câncer de pele
- ✓ Produz vitamina D.

**2) UVB** – comprimento de onda: 280 nm a 315 nm

- ✓ Produz melanina
- ✓ Causa:
  - eritemas
  - queimadura
  - manchas
  - sardas

**3) UVC** – comprimento de onda: 100 nm a 280 nm

✓ Possui alta energia, embora não alcance a Terra, pois é absorvido pela camada de ozônio.

---

<sup>12</sup> *Standards Austrália and Standards New Zealand, AZ/NZS 4399, 1996, p. 1-7.*

<sup>13</sup> Unidade de comprimento de onda (nanômetro).

### 2.13.1 Fator de Proteção Solar (FPS) e Fator de Proteção Ultravioleta (UPF)

- FPS – Fator Protetor Solar

Normalmente encontra-se essa nomenclatura na bula de cremes de proteção solar, onde há um número (índice) que indica o Fator de Proteção Solar – FPS (Sun Protection Factor – SPF).

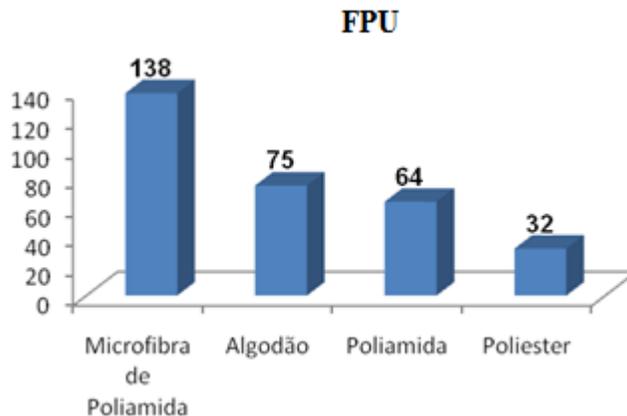
- FPU – Fator de Proteção Ultravioleta

Para distinguir o fator de proteção solar utilizado em cremes para a pele, do fator de proteção empregado em artigos têxteis, convencionou-se a utilização, do chamado Fator de Proteção Ultravioleta (*Ultraviolet Protection Factor* – UPF).

### 2.13. 2 Proteção Solar para Têxteis

Os artigos têxteis possuem um fator natural de proteção essencialmente devido:

- ✓ à construção – tecidos mais fechados propiciam maior FPU;
- ✓ ao peso – tecidos mais pesados também possuem FPU maior;
- ✓ ao tipo de fibra: a Figura 24 mostra o fator de proteção para diferentes fibras.



**Figura 24.** FPU em malhas interloque, peso 300 g/m<sup>2</sup>, tricotadas na mesma máquina sob idênticas condições  
**Fonte:** *Institut Textile de France*, 2005

## 2.14 CONFORTO

### 2.14.1 Introdução<sup>14</sup>

O conforto pode ser definido como um estado de harmonia física e mental com o meio ambiente, baseado na ausência de qualquer sensação de incomodo.

Em relação ao uso de um vestuário, o conforto é definido por três aspectos:

- 1- físico: Relacionado às sensações provocadas pelo contato do tecido com a pele e do ajuste da confecção ao corpo e os seus movimentos;
- 2- fisiológico: Ligado à interferência do vestuário nos mecanismos do metabolismo do corpo, em especial o termorregulador;
- 3- psicológico: Função de fatores relacionados à estética, aparência, moda, situação, meio social e cultural.

### 2.14.2 Transferência de Calor

A transferência de calor e a umidade gerada pela transpiração são dois fatores de vital importância para o conforto térmico oferecido pelo uso de um vestuário.

A transferência de calor da superfície da pele para o ambiente é efetuada por meio de três processos básicos: convecção, condução e radiação, sendo os dois últimos os mais significativos considerando a relação corpo-vestuário.

O processo de condução é influenciado pela condutividade térmica das fibras, do ar e pela espessura do tecido.

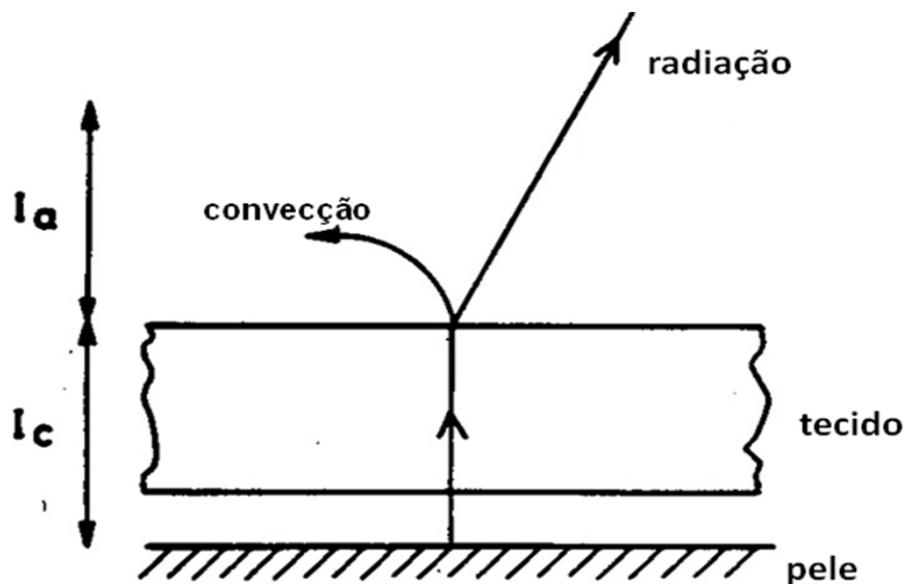
---

<sup>14</sup> HIGGINS, Leah e ANAND, Subhash. *Textile materials and products for activewear and sportswear*, 2003. ISBN 1-902625-38-2.

O vestuário interfere no balanço entre o calor gerado e o dissipado principalmente pela formação de uma camada de ar entre a superfície externa do tecido e a pele, denominada de “microclima”.

A resistência térmica dessa camada de ar é o fator de maior influência (50%) na capacidade de isolamento térmico do vestuário.

A Figura 25 mostra os mecanismos de troca de calor entre tecido e pele e o ambiente externo.



**Figura 25.** Microclima

**Fonte:** Ukponmwan – *The Textile Institute*

Legenda:

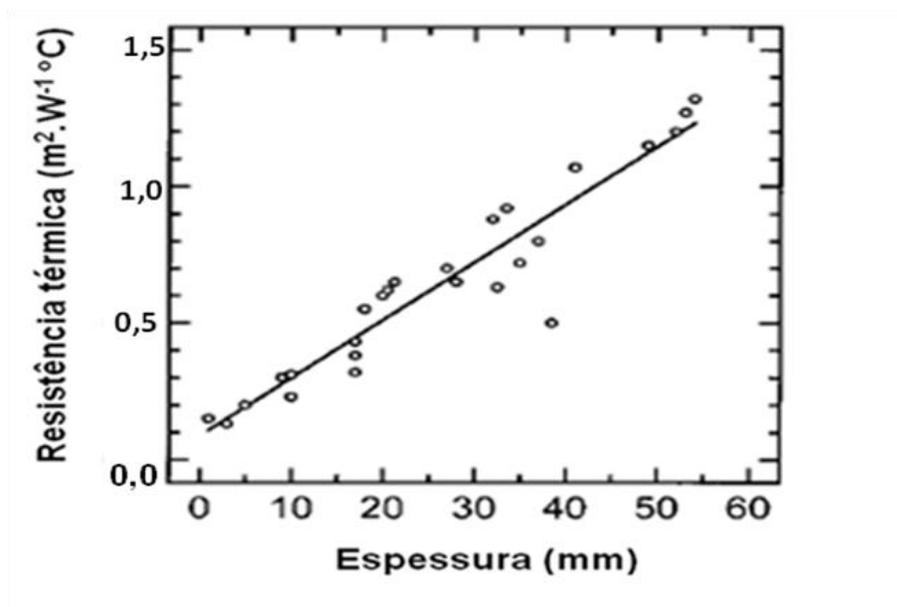
$l_c \rightarrow$  Isolamento térmico vestuário = resistência térmica do tecido + resistência da camada de ar entre o tecido e a pele.

$l_a \rightarrow$  Meio ambiente.

### 2.14.3 Resistência Térmica de Tecidos<sup>15</sup>

A resistência térmica de um tecido é determinada pela estrutura e os componentes do mesmo, destacando-se título, torção e pilosidade<sup>16</sup> dos fio, finura, crimp e secção dos filamentos, densidade e espessura do tecido, sendo estas duas últimas consideradas de maior importância na formação do “microclima”, admitindo-se a existência de uma relação linear entre a espessura e a resistência térmica do tecido.

A Figura 26 mostra essa relação.



**Figura 26.** Resistência térmica dos tecidos pela espessura

Fonte: Havenith, 1999

A resistência térmica de um tecido é definida pela relação da diferença de temperatura entre as duas faces do mesmo e o fluxo de calor por unidade de área na direção normal a essas faces (ISO<sup>17</sup> 5085-1).

<sup>15</sup> HAVENITH, George. *Heat balance when wearing protective clothing*. 1999, v. 43, n° 5, p. 289-96.

<sup>16</sup> Pulosidade: índice que mede a quantidade de pelo de um fio têxtil.

<sup>17</sup> *International Organization for Standardization. ISO 5085-1. Textiles, determination of thermal resistance*, 1989.

A resistência térmica pode ser expressa pela equação:

$$r = \frac{L}{K} \quad (2)$$

Em que  $r$  é a resistência térmica em  $K.m^2.W^{-1}$

$L$  é a espessura do tecido em metros (m).

$K$  é a condutividade térmica em  $W/m^{\circ}K$ .

O recíproco da resistência térmica é a condutividade térmica.

#### 2.14.4 Permeabilidade a Umidade<sup>18</sup>

A segunda propriedade mais importante de um tecido, do ponto de vista do conforto, é a via através da qual passa a umidade, que pode encontrar-se na forma de vapor ou de líquido, diferença esta muito importante.

Se a umidade evaporar na pele e passar como vapor através do tecido, os poros do tecido permanecem livres. Isso facilita o movimento do ar através do tecido e reserva-o para que os poros estejam cheios de ar, o que faz com que o isolamento do artigo ao calor permaneça.

Não obstante, se a umidade da pele for transportada à superfície na fase líquida e só se evaporar ao alcançar a camada de ar presente na superfície do tecido, o conforto é reduzido por uma dupla via: em primeiro lugar, a sensação de umidade é percebida pelos nervos sensoriais da pele, e o artigo de vestuário mostra-se úmido; em segundo lugar, os poros do tecido vão enchendo-se de água e não podem reter as bolsas de ar, pelo que se perde a capacidade de isolamento.

---

<sup>18</sup> FANGUEIRO, Raul. *Têxteis funcionais*. Minho: Escola de Eng. da Universidade do Minho, p 178-81.

### **2.14.5 Umidade em Forma de Vapor (permeabilidade ao vapor de água)<sup>19</sup>**

O comportamento da permeabilidade ao vapor de água dos materiais depende da:

- massa volumétrica do material;
- estrutura do material;
- propriedades de difusão e de absorção do material.

A perda de água através do vestuário, sob forma de vapor, é muito importante para o balanço térmico e para o conforto. Para níveis baixos de stress térmico, a restrição da passagem de água por difusão pode ser sentida subjetivamente.

Em condições isotérmicas, a passagem do vapor de água não é governada pela temperatura do ar, mas pela pressão do vapor de água, nomeadamente pela diferença de pressão do vapor de água.

Quanto maior for a diferença de pressão do vapor de água, maior será a passagem pelo material. A passagem do vapor de água diminui com o aumento da camada de ar entre o corpo e o material, mas para camadas de ar superiores a 15 mm essa tendência não se observa.

Considerando o movimento do vapor de água através de um tecido, este depende consideravelmente da natureza microporosa do material, e sua trajetória pode ser alterada por qualquer operação que envolva mudanças na estrutura do tecido, ou através dos acabamentos. São, contudo, numerosos os fatores que influenciam essa propriedade em maior ou menor grau, entre os quais estão as características das fibras utilizadas, particularmente nas estruturas bastante apertadas; se as fibras são ou não texturizadas; o título dos fios utilizados; a estrutura do tecido; os tratamentos mecânicos proporcionados; acabamento; assim como o próprio design do artigo. Quanto à temperatura, verifica-se que o valor dessa propriedade aumenta rapidamente entre 50° C e 90° C.

---

<sup>19</sup> FANGUEIRO, op. cit., p 195.

### **2.14.6 Umidade em Forma Líquida<sup>20</sup>**

Ao considerar o movimento da água em estado líquido através de um tecido, podem identificar-se aspectos relacionados com o conforto.

De uma parte, a água proveniente de uma fonte externa, como a chuva, que não deverá chegar ao corpo, o que poderá ser conseguido mediante o design do próprio tecido, ou principalmente pelo uso de uma barreira resistente à água.

E, por outro, a água gerada na superfície do corpo, como o suor, terá de ser eliminada tão rapidamente e eficazmente para que seja possível alcançar bom nível de conforto.

O processo será favorecido pelo uso de um tecido apropriado, mas esses dois requisitos são, em princípio, diametralmente opostos, sendo normal que se necessite que ambos os mecanismos atuem simultaneamente: por exemplo, quando se está a praticar desporto debaixo de chuva.

O comportamento das fibras relativamente à umidade é, geralmente, função da estrutura química, tanto em âmbito micro como macromolecular, podendo a modificação desse comportamento ser atribuído a numerosos fatores.

Em geral, sempre houve problemas para combinar nos tecidos repelência à água e permeabilidade ao suor.

As fibras naturais têm boa capacidade de absorção da umidade e, conseqüentemente, absorvem bem o suor, embora não sejam uma barreira contra a chuva.

Nas fibras sintéticas convencionais acontece o contrário, apresentam boa resistência ao molhado por chuva, mas sua capacidade de absorção do suor é muito pobre.

---

<sup>20</sup> FANGUEIRO, op. cit., p. 197.

### **2.14.7 Permeabilidade ao Ar<sup>21</sup>**

A permeabilidade ao ar é um dos parâmetros fundamentais para a avaliação do nível de conforto do vestuário. É determinada medindo-se a velocidade de um fluxo de ar ao passar perpendicularmente através de um tubo sob condições especificadas de área de ensaio, pressão e tempo. A permeabilidade ao ar é uma propriedade do material que permite ao ar passar através dos poros ou interstícios. A velocidade de passagem do ar através do material depende essencialmente do tamanho e distribuição dos poros ou interstícios entre as fibras.

A permeabilidade ao ar tem papel fundamental nas propriedades de transferência de calor, além de efeito significativo na condutividade térmica, pois os espaços de ar presentes na estrutura permitem maior transferência de calor por convecção.

Na presença de vento, a pressão do ar sobre a superfície exterior do vestuário é provocada por interações dinâmicas entre o movimento do ar e a superfície do vestuário. A estrutura geométrica do vestuário provoca variação da pressão do ar ao longo da superfície exterior do vestuário.

O ar penetra nos locais em que a pressão do ar exterior é superior à pressão do ar interior. O ar migra para locais de menor pressão e, quando aumenta a pressão, passa novamente para o exterior, pois a pressão aí é menor.

Como a temperatura do ar que passa para o exterior é normalmente superior à que entra, o movimento do ar transporta calor. Assim, nos materiais com boa permeabilidade ao ar, a troca de calor é facilitada pelo movimento do ar, visto que dissipa o calor para o exterior.

A resistência térmica de um tecido depende da espessura e da estrutura do tecido. Uma estrutura muito aberta do tecido pode causar problemas sérios a uma pessoa que veste o artigo no caso de frio ou vento em climas frios, e pode mesmo afetar a sobrevivência em casos extremos.

---

<sup>21</sup> FANGUEIRO, op. cit., p. 198.

Existem diversas normas internacionais para a determinação da permeabilidade.

Há três fatores que influenciam decisivamente na permeabilidade de um tecido: o diâmetro médio dos poros, a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros.

O diâmetro médio dos poros do substrato estudado influencia na permeabilidade do tecido (mas não a caracteriza por completo).

O diâmetro pode ser medido por diversos procedimentos e, naturalmente, influencia na porosidade do tecido.

Por outro lado, a porosidade (fração de espaços ociosos, medida em volume, em relação ao volume total da tela, expresso em %) pode ser determinada quantitativamente de forma teórica ou por diferentes procedimentos experimentais.

Além da porosidade total do material, é aconselhável medir a “distribuição do tamanho dos poros”.

Há diversos métodos experimentais para caracterizar a distribuição do tamanho dos poros no caso de materiais têxteis.

A permeabilidade do ar pode ser modificada com fins distintos, o que pode conseguir-se por meio de mudanças no processo de fabricação, por determinado acabamento ou por meios mecânicos.

Pode-se verificar que a permeabilidade ao ar:

- é incrementada ao se aumentar a massa linear das fibras;
- diminui inicialmente e depois é incrementada com o aumento do comprimento da fibra;
- diminui com o aumento da espessura: a permeabilidade é muito sensível à variação deste parâmetro;
- diminui com a inclusão de fibras sintéticas na composição do tecido.

### 2.14.8 Capilaridade<sup>22</sup>

Capilaridade é a subida (ou descida) de um líquido através de um tubo fino, que recebe o nome de capilar. Esse fenômeno é resultado da ação da interação das moléculas da água com o vidro (considerando que o tubo é de vidro).

Tal interação depende de alguns parâmetros como o diâmetro do tubo (quanto mais fino, maior a aderência), o tipo de líquido e a viscosidade, que por sua vez depende da temperatura (quanto mais quente, menos viscoso).

Isso acontece da seguinte forma: as moléculas do líquido são atraídas pelas moléculas do tubo por causa da interação intermolecular.

Desse modo, o líquido fica “grudado” na parede.

O que faz com que a água suba é o seguinte: a molécula do tubo que está imediatamente acima da superfície do líquido atrai o líquido que começa a subir, alinhando-se à molécula que o atraiu.

Quando isso acontece, a molécula imediatamente acima começa a atrair o líquido e o ciclo se repete.

#### 2.14.8.1 Porosidade<sup>23</sup>

Porosidade  $\xi$  (%) num tecido de malha é definida pela relação entre o volume de poros que podem ser molhados por um líquido ( $V_a$ ) e o volume total da amostra ( $V_t$ ).

$$\xi = \frac{V_a}{V_t} \quad (\%) \quad (3)$$

---

<sup>22</sup> BENLTOUFA, Sofien, FAYALA, Faten e BENNASRALLAH. *Capillary rise in macro and micro pores of jersey knitting structure*. Tunísia: p. 47-8.

<sup>23</sup> Idem, p. 47.

2.14.8.2 Microporo e Macroporo<sup>24</sup>

- Macroporo é o espaço existente entre o fio e a estrutura da malha,

$$\xi_{\text{macro}} = 1 - \frac{\pi d^2 \cdot (\text{LFA}) \cdot C \cdot W}{2 \cdot L} \quad (\%) \quad (4)$$

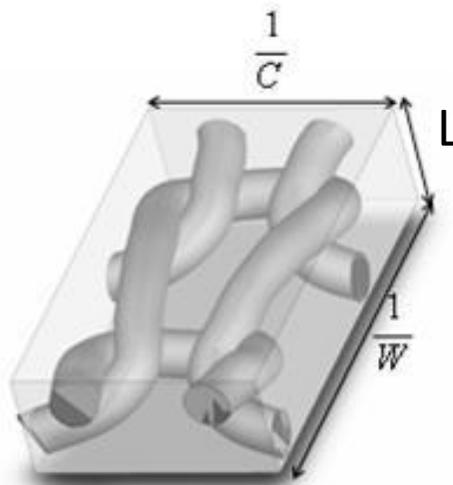
em que d = diâmetro do fio (cm), LFA = comprimento do ponto (cm), C= carreiras por centímetro (carr/cm), W= colunas por centímetro, L= espessura do tecido.

- Microporo é o espaço existente entre a fibra e o fio:

$$\xi_{\text{micro}} = 1 - \frac{4n (d \text{ fib})^2}{L^2} \quad (\%) \quad (5)$$

em que d= diâmetro da fibra (mm), n= número de filamentos do fio, L= espessura do tecido (mm).

A Figura 27 mostra uma malha com as respectivas medidas.



**Figura 27.** Imagem tridimensional de malha  
**Fonte:** Benltoufa; Fayala e BenNasrallah, 2008

<sup>24</sup> BENLTOUFA, FAYALA e BENNASRALLAH, op. cit, p. 48-9.

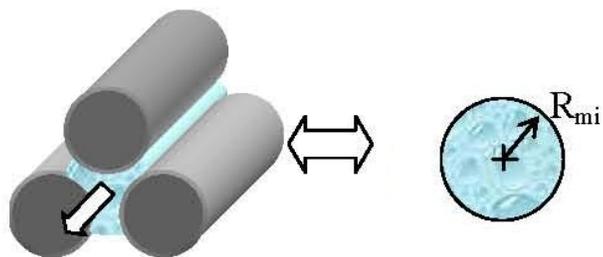
### 2.14.8.3 Capilaridade no Microporo<sup>25</sup>

A capilaridade em microporos do líquido num fio é dada pela equação de Washburn law:

$$h_{mic} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{R_{mi} \cdot \rho \cdot g} \text{ (mm)} \quad (6)$$

Em que  $h_{mic}$  é a capilaridade do microporo,  $\gamma$  é tensão superficial,  $\rho$  é a densidade do líquido,  $g$  a aceleração da gravidade,  $R_{mi}$  é o raio do microcapilares e  $\theta$  o ângulo de contato.

A Figura 28 mostra os microtubos, que no caso do fio têxtil são os microfilamentos.



**Figura 28.** Capilaridade entre filamentos

**Fonte:** Benltoufa; Fayala e BenNasrallah, Sassi, 2008

Ressalta-se que  $R_{mi}$  (raio dos microcapilares) segue a relação:

$$R_{mi} = \sqrt{\frac{L^2}{32 \cdot n} - \frac{d_{fib}}{8}} \text{ (mm)} \quad (7)$$

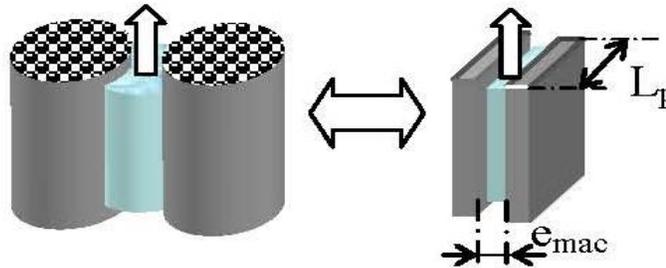
Em que  $d_{fib}$  = diâmetro da fibra (mm),  $n$  = número de filamentos do fio,  $L$  = espessura do tecido (mm).

---

<sup>25</sup> BENLTOUFA; FAYALA e BENNASRALLAH, p. 49-50.

2.14.8.4 Capilaridade no Macroporo

A capilaridade entre fios pode (Figura 29) ser descrita tendo como base a distância capilar entre duas placas paralelas de distância capilar “ $e_{mac}$ ”.



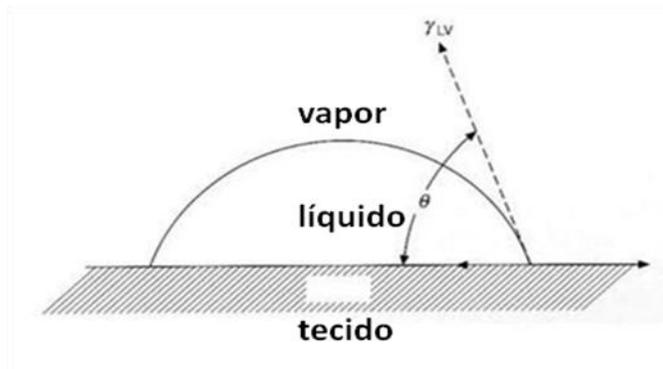
**Figura 29.** Capilaridade entre fios

**Fonte:** Benltoufa; Fayala e BenNasrallah, 2008

A equação para a capilaridade entre fios é:

$$h_{mac} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta}{e_{mac} \cdot \rho \cdot g} \text{ (mm) (8)}$$

Em que  $h_{mac}$  é a capilaridade do macroporo,  $\gamma$  é tensão superficial,  $\rho$  é a densidade do líquido,  $g$  a aceleração da gravidade,  $e_{mac}$  é a distância capilar e  $\theta$  (figura 30) o ângulo de contato.



**Figura 30.** Ângulo de contato

**Fonte:** Patnaik, 2006

## CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda o estudo de toda a matéria-prima utilizada para este trabalho, as propriedades e características, bem como a metodologia adotada. A seguir, é apresentado um resumo dos tópicos estudados.

- Especificação dos fios utilizados para construção dos tecidos de algodão e poliamida.
- Característica do tear circular para tecimento das amostras.
- Características e propriedades dos tecidos de malha usados para a confecção das roupas para o estudo.
- Métodos dos ensaios realizados: permeabilidade ao vapor, capilaridade, proteção ultravioleta, alongamento, encolhimento, curva de tingimento.

### 3.2 MATÉRIA-PRIMA PARA ENSAIO

#### 3.2.1 Fios Utilizados

Foram selecionados três tipos de fio para os ensaios:

- ✓ Fio de poliamida 6.6, com título de 1x80/68 dtex
- ✓ Fio de poliéster, com título 80/72 dtex
- ✓ Fio de elastano, com título 20 denier

### 3.2.2 Máquina Utilizada no Ensaio

Foi utilizado um tear circular com 38 agulhas por polegada, diâmetro de 34 polegadas.

Essa característica de máquina fornece o que há de mais novo em construção de tecido de malha.

Para todos os estudos comparativos, utilizaram-se três tipos de valor de LFA: 900 cm/volta, 980 cm/volta, 1.060 cm/volta.

### 3.2.3 Tecidos de Malha para os Ensaio – Dados em Cru

**Tabela 2.** Dados dos tecidos de malha em cru

Matéria Prima	Título Fio (dtex)	Título Elastano (den.)	Tensão Elastano (cN)	Amostra	LFA (cm/volta)
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A1	900
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A2	900
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A1	980
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A2	980
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A1	1064
Poliâmida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A2	1064
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A1	900
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A2	900
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A1	980
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A2	980
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A1	1064
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A2	1064

Legenda:

LFA – *longuer de fil absorbée*

op. – opaco

s.o. – semiopaco

### 3.2.4 Tecidos de Malha para os Ensaio – Dados Acabado

**Tabela 3.** Dados dos tecidos de malha acabado

Fibra	M (malhas/cm)	W (col/cm)	Malhas/cm <sup>2</sup>	Larg. (m)	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	LFA (cm/malha)
PA	36,0	26,8	964,8	1,51	205	900
PA	36,0	26,8	964,8	1,51	204	900
PA	36,5	26,4	963,6	1,54	200	980
PA	36,5	26,4	963,6	1,54	200	980
PA	37,0	26,0	962,0	1,55	195	1060
PA	37,0	26,0	962,0	1,55	197	1060
PES	34,0	25,5	867,0	1,59	197	900
PES	34,0	25,5	867,0	1,60	197	900
PES	38,0	25,2	957,6	1,61	206	980
PES	38,0	25,2	957,6	1,61	207	980
PES	39,0	25,0	975,0	1,62	213	1060
PES	39,0	25,0	975,0	1,62	212	1060

Legenda:

M – malhas em 1 cm; W – colunas em 1 cm;

Malhas/cm<sup>2</sup> – malhas em 1 cm<sup>2</sup>; Larg. (m) – Largura em 1 m.

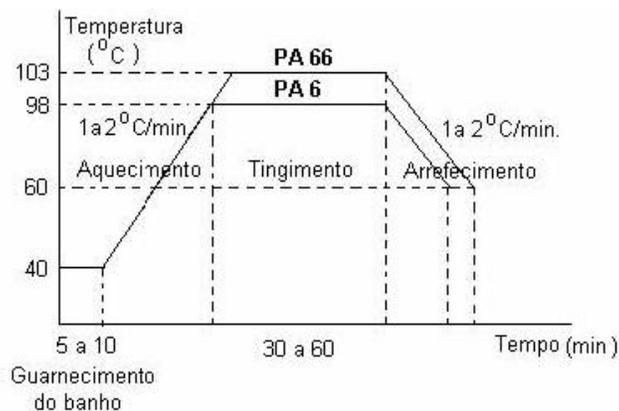
### 3.2.5 Beneficiamento dos Tecidos de Malha em Poliamida 6.6

O tecido de malha de poliamida 6.6 foi beneficiado num processo sem alvejantes e sem corantes.

Apenas foi realizada uma purga atingindo-se temperatura de 103° C (temperatura de beneficiamento da poliamida 6.6) em máquina fechada sob pressão, e a seguir feita a lavagem.

O objetivo de passar pelo processo de não utilização de alvejantes nem de corantes é para que não haja interferência na avaliação dos resultados.

A Figura 31, mostra as fases do processo.



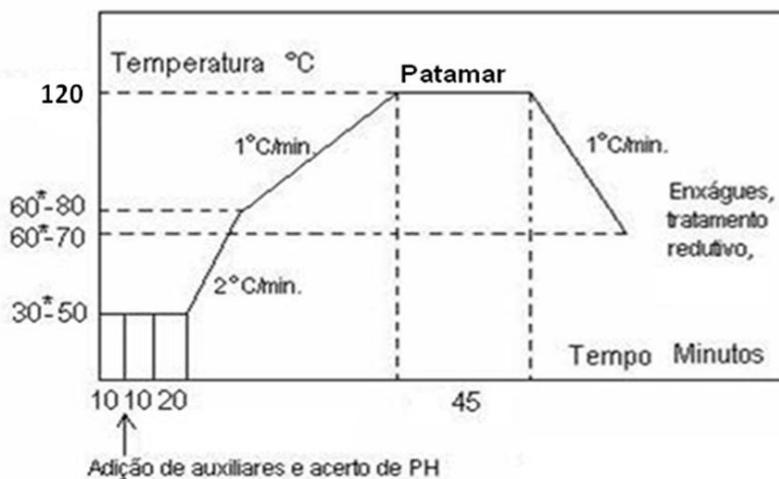
**Figura 31.** Beneficiamento da poliamida 6.6

Fonte: Tinturaria Cofina, 2009

### 3.2.6 Beneficiamento de Tecidos de Malha de Poliéster

O tecido de malha de poliéster foi beneficiado num processo sem alvejantes e sem corantes também. Apenas foi realizada uma purga atingindo-se temperatura de 120° C (em equipamento pressurizado), uma vez que a fibra de poliéster necessita de temperatura maior para ser beneficiada em função de sua estrutura molecular ser fechada.

A Figura 32, mostra as fases do processo.



**Figura 32.** Beneficiamento do poliéster

Fonte: Tinturaria Cofina, 2009

### 3.2.7 Acabamento dos Tecidos de Malha de Poliamida 6.6 e Poliéster

**Poliamida 6.6:** amostras foram ramadas numa máquina Texina com sete (7) campos em temperatura média de 185° C, velocidade de 15m/min e alimentação de 25%, com largura nominal de 1,50 m.

**Poliéster:** amostras foram ramadas numa máquina Texina com sete (7) campos em temperatura média de 190° C, velocidade de 15m/min e alimentação de 25%, com largura nominal de 1,60.

Tanto para a poliamida como para o poliéster, as amostras foram acabadas de forma natural, no sentido da largura e no comprimento também. As amostras de poliéster ficaram mais largas em função de apresentar encolhimento menor no processo de tingimento do que a poliamida.

## 3.3 MÉTODOS

### 3.3.1 Determinação da Permeabilidade ao Vapor

#### 3.3.1.1 Objetivo

Esta norma prescreve o método de determinação da transmissão de vapor de água através das superfícies de um artigo têxtil.

#### 3.3.1.2 Norma

ASTM E-96-00 – *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*

*Water Method*

### 3.3.1.3 Princípio

Um recipiente contendo determinada quantidade de água é recoberto de forma hermética com o artigo a ser avaliado.

O recipiente é movimentado de forma contínua em ambiente de atmosfera padrão, sendo a perda de água por evaporação controlada em intervalos de uma hora.

A transmissão do vapor de água é determinada pela reação linear entre a perda de peso e o tempo.

### 3.3.1.4 Definições

**Permeabilidade ao vapor de de água:** transmissão do vapor de água por unidade de tempo, área e espessura de um material, por unidade de diferença de pressão de vapor entre suas superfícies, sob condições determinadas de umidade e temperatura.

**Taxa de transmissão de vapor de água:** fluxo contínuo de vapor por unidade de tempo e de área que atravessa no sentido normal as superfícies paralelas de um material, sob condições específicas de temperatura e umidade.

A taxa de vapor por unidade de área é dada pela relação entre o coeficiente angular da reta e a área do corpo de prova (padronizada em 0,00538m<sup>2</sup>).

### 3.3.1.5 Aparelhagem e Materiais Auxiliares

- Aparelho SDL – *Shirley Water Vapour Permeability Tester*
- Pipeta 25 ml
- Balança *Mettler AT 200*
- Fita adesiva
- Água destilada



**Figura 33.** *Aparelho Shirley Water Vapour Permeability Tester*

### **3.3.2 Determinação do Transporte de Líquidos por Capilaridade**

#### **3.3.2.1 Objetivo**

Avaliar a capacidade do material têxtil de transportar líquido ao longo da sua estrutura. O transporte do líquido pelo tecido pode ser influenciado pelo tipo de fibra ou construção da malha. As taxas de transporte de líquidos também podem ser influenciadas pela tensão superficial do líquido.

O tempo é registrado quando a água é transportada a uma distância especificada, com uma extremidade da amostra imersa em água. A profundidade de imersão é constante, e as distâncias de subida do líquido são determinadas.

O método é aplicado aos tecidos, malhas e não tecidos.

#### **3.3.2.2 Normas**

AATCC / JIS L1907

### 3.3.2.3 Princípio

A água é transportada pelo tecido imerso e se deslocará verticalmente contra a gravidade.

A velocidade em que a água se desloca é visualmente observada e os tempos limites são cronometrados.

### 3.3.2.4 Definições Importantes para o Ensaio de Capilaridade

- **Transporte do líquido:** é a circulação do líquido por capilaridade, ao longo ou através de um material. O transporte pode ser afetado pelo tipo de fibra, estrutura da malha, acabamentos aplicados e tensão superficial do líquido.
- **Taxa de transporte:** velocidade com que a água é transportada ao longo da malha e ou tecido.
- **Distância de transporte:** medida da distância em que a água é transportada.

### 3.3.2.5 Aparelhos para Medição do Transporte por Capilaridade (Figura 34)

- Cuba retangular
- Dois suportes universais
- Régua
- Um bastão com comprimento maior que a cuba
- Cronômetro.
- Máquina fotográfica

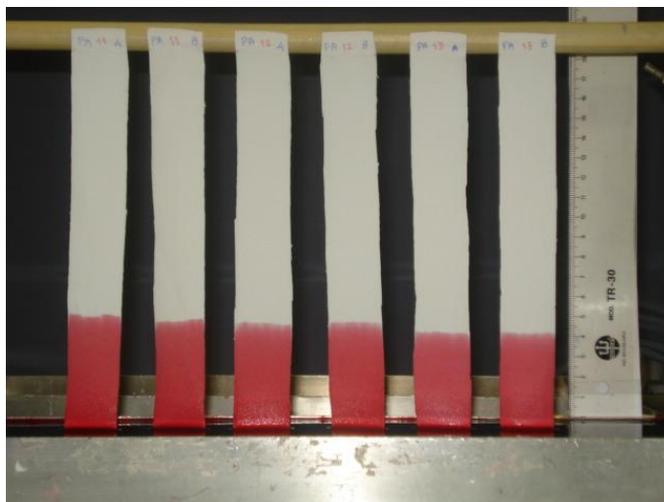


Figura 34. Cuba retangular com régua

### 3.3.3 Determinação do Fator de Proteção Solar em Tecidos

#### 3.3.3.1 Objetivo

Determinar o Fator de Proteção Solar (UPF)<sup>1</sup> para tecidos. A Tabela 4 mostra a classificação do nível de proteção para os valores de UPF.

**Tabela 4.** Classificação do valor de UV em relação aos valores de UPF

Valor de FPU	Proteção	Transmissão Efetiva de UV
15 a 24	Boa proteção	6,7 a 4,2
25 a 39	Muito boa proteção	4,1 a 2,6
40 a 50, >50	Excelente proteção	≤ 2,5

Fonte: *Australian/New Zealand Standard. AS/NZS 4399, 1996.*

UV – Ultravioleta, FPU –Fator de Proteção Ultravioleta

#### 3.3.3.2 Norma

*Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4399, 1996.*

<sup>1</sup> UPF – *Ultra Violet Protection Factor* (Fator de Proteção Ultravioleta)

### 3.3.3.3 Aparelho

Espectofotômetro

### 3.3.3.4 Método

O método consiste em emitir, através de um espectofotômetro, radiação ultravioleta numa faixa de comprimento de onda entre 290nm a 400nm, num determinado substrato têxtil, utilizando-se um fotodetector para medir o resultado.

## 3.3.4 Determinação da Gramatura de Tecidos

### 3.3.4.1 Objetivo

Determinar a massa por unidade de área em tecidos.

### 3.3.4.2 Norma

ABNT – NBR 10591/1988

### 3.3.4.3 Aparelhos

- Escala metálica graduada em milímetros
- Gabarito metálico com dimensões de (10x10) cm ou circular com área de 100cm<sup>2</sup>.
- Balança com precisão de 0,001g.

### 3.3.4.4 Procedimento

- Condicionar as amostras conforme descrito na norma NBR 8428.
- De cada amostra cortar no mínimo três corpos de prova em lugares isentos, com o auxílio da aparelhagem descrita em 4.3.3.3.
- Pesar cada um dos corpos de prova, obtendo-se uma massa em gramas.
- Fazer a média aritmética das três medidas.

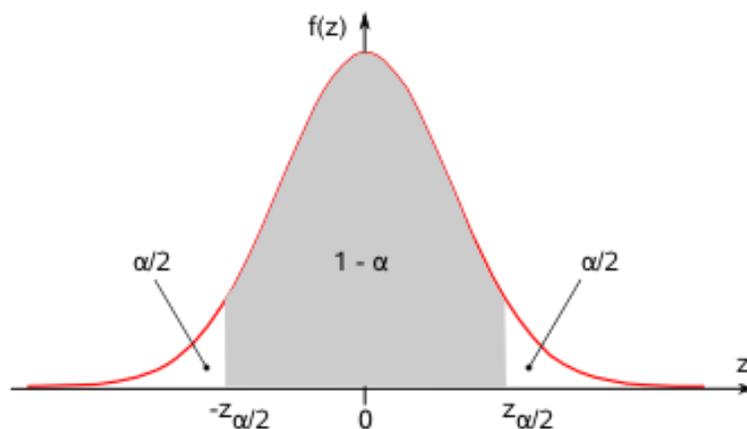
### 3.3.5 Análise Estatística

#### 3.3.5.1 Teste de Normalidade<sup>2</sup>

Objetivo: verificar se determinado conjunto de dados obedece a uma distribuição normal. Adotou-se um Intervalo de Confiança (IC) com 95%, ou seja, admitindo-se erro de 5% ( $\alpha$ ). Para efetuar o teste, sempre que necessário, foi utilizado o software estatístico, com o teste de Anderson-Darling, que calcula a probabilidade “p”.

Quando o valor de “p” for maior que 0,05, aceita-se a hipótese de normalidade para o conjunto de dados.

Na Figura 35, é possível observar uma distribuição normal com o nível de confiança de 95%, para um erro  $\alpha$ .



**Figura 35.** Curva distribuição normal

A área marcada representa a rejeição da normalidade; o teste de Anderson-Darling fornece um valor “p” de probabilidade, e, sendo o valor “p”  $> 0,05$ , aceita-se a hipótese de normalidade.

O Minitab realiza as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : os dados seguem distribuição normal
- $H_1$ : os dados não seguem distribuição normal

<sup>2</sup> Campos, M. S. *Desvendando o Minitab*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003, p. 104-6.

Quando o valor “p” encontrado for menor que  $\alpha$ , rejeita-se a normalidade da distribuição, sendo que  $\alpha$  é o nível de significância, que neste caso é igual a 0,05 (5%), ou seja, a soma das duas áreas achuradas; portanto:

- para “p” > 0,05, aceita-se  $H_0$
- para “p” < 0,05, rejeita-se  $H_0$

O resultado da análise do conjunto de dados é um gráfico em que cada ponto é formado por um valor medido (no eixo horizontal) e a probabilidade acumulada (no eixo vertical). Se a distribuição for normal, a transformação torna a distribuição dos dados muito próxima de uma reta. Quando um teste segue distribuição normal, é chamado de paramétrico.

### 3.3.5.2 Teste “t” de Student – Teste Paramétrico<sup>3</sup>

Este teste é realizado para verificação da igualdade entre os grupos, através dos quais se expressa determinado parâmetro da população estudada e procura-se a evidência para rejeitar, ou não, a hipótese nula (a da não-diferença das duas variáveis). Para tanto, foram utilizadas duas hipóteses:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , ou a diferença  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ; não existe diferença significativa entre os grupos analisados.
- $H_1: \mu_1 > \mu_2$ , ou a diferença  $\mu_1 - \mu_2 > 0$ ; existe diferença significativa entre os grupos analisados.

O Programa Estatístico calcula o valor “p” a um nível de 5% de significância, e, para um valor de “p” < 0,05, rejeita-se a hipótese “ $H_0$ ”.

---

<sup>3</sup> CAMPOS, p.147-59.

### 3.3.5.3 DOE – Design of Experiments<sup>4</sup>

Dentro da indústria, em especial na etapa de desenvolvimento, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente.

Nesse momento o trabalho das pessoas envolvidas com o problema se assemelha ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los.

Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre alternativas de processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores etc..

Além disso, essa tarefa se torna cada vez mais importante à medida que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e a necessidade de emprego de experimentos de clientes durante as etapas do ciclo de vida do produto.

O Planejamento de Experimentos (em inglês Design of Experiments, DOE) é uma metodologia utilizada para planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: maior precisão estatística possível na resposta e menor custo.

É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada.

Sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, em que maior qualidade dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior, seja em termos de características funcionais, seja também de robustez.

No entanto, deve ficar claro que essa ferramenta não substitui o conhecimento técnico do especialista da empresa sobre o assunto nem mesmo se trata de uma “receita de bolo” de como realizar um planejamento.

O domínio do problema é de fundamental importância.

---

<sup>4</sup> Montgomery, D.C. *Design and analysis of experiments*. New York: 1976.

O conhecimento do especialista sobre o problema conjugado com a técnica (em casos especiais somando-se ainda o auxílio de especialistas em planejamentos de experimentos) é que irá permitir bons planejamentos de experimentos, ou seja, planejamentos mais rápidos (menos pontos), de menor custo e que possibilitem aos idealizadores encontrar, baseados em inferência estatística, a resposta aos problemas.

Apesar de novas, as principais técnicas de planejamento de experimentos já existiam e potencialmente poderiam estar sendo sistematicamente aplicadas na indústria há muitos anos. Porém, a maioria das técnicas requer quantidade exaustiva de cálculos tornando fundamental o emprego dos recursos de informática.

Um fator que tem impulsionado a aplicação industrial do planejamento de experimentos são as ferramentas computacionais de análise estatística e soluções corporativas, que cada vez mais facilitam a realização das análises e manutenção e gerenciamento de dados. Nesse sentido, a tendência é que tais técnicas se tornem cada vez mais próximas de aplicações práticas e, portanto, cada vez mais utilizadas.

É preciso ficar claro também que, em estatística, Planejamento de Experimentos designa toda uma área de estudos que desenvolve técnicas de planejamento e análise de experimentos. Há atualmente um arsenal de técnicas, com vários níveis de sofisticação e não menor quantidade de livros sobre o assunto.

A seguir são listados os tipos mais conhecidas e de aplicação:

- **fatores ou tratamentos:** variáveis de controle ou entrada;
- **Níveis:** correspondem às faixas de valores das variáveis de controle;
- **variável resposta:** parâmetro de saída, resultante de alternância nas variáveis de entrada.
- **aleatorização:** prática de realizar a escolha das corridas (ou pontos experimentais) por meio de processo aleatório (tal como dados ou sorteio). Esta prática simples em muitos casos garante as condições de identidade e independência dos dados coletados e evita erros sistemáticos.
- **blocos:** agrupamentos de dados para eliminar fontes de variabilidade que não são de interesse.

#### 3.3.5.4 Etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos

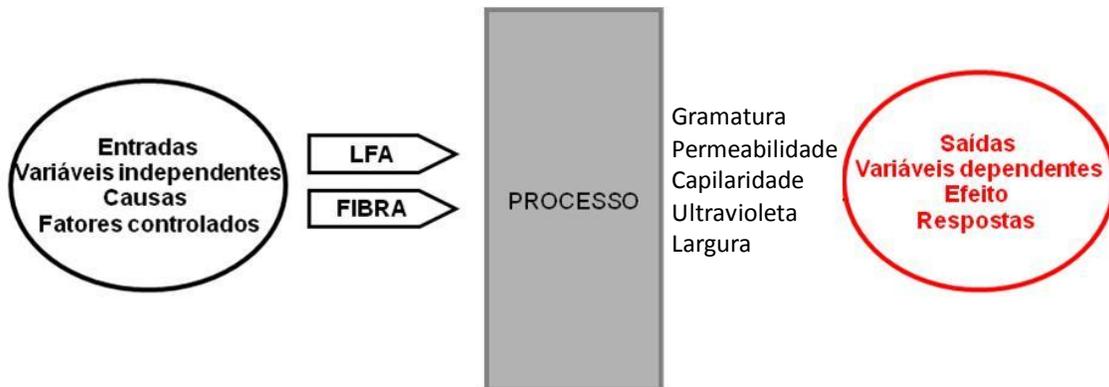
São as seguintes as etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos na indústria:

- caracterização do problema;
- escolha de fatores de influência e níveis;
- seleção de variáveis de resposta;
- determinação de modelo de Planejamento de Experimento;
- condução do experimento;
- análise dos dados;
- conclusões e recomendações.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 VARIÁVEIS DO PROCESSO

A Figura 36 mostra as variáveis dependentes e independentes no processo analisado.

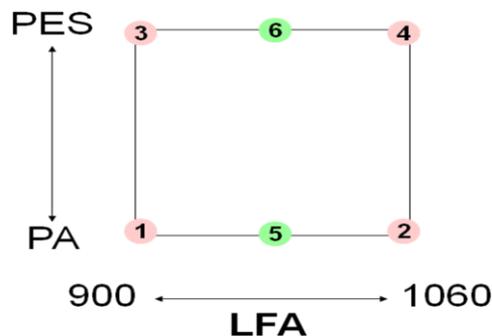


**Figura 36.** Fluxo de variáveis.

**Fonte:** DOMENECH, 2008

### 4.2 PLANEJAMENTO FATORIAL COM PONTOS CENTRAIS

As figuras 37 e 38 ilustram o planejamento fatorial utilizado em todo processo para que se possa estabelecer a relação entre as variáveis independentes e as variáveis dependentes (respostas). É importante que o planejamento fatorial seja válido para uma relação linear entre as variáveis independentes e dependentes.



**Figura 37.** Planejamento fatorial

**Fonte:** Domenech, 2008

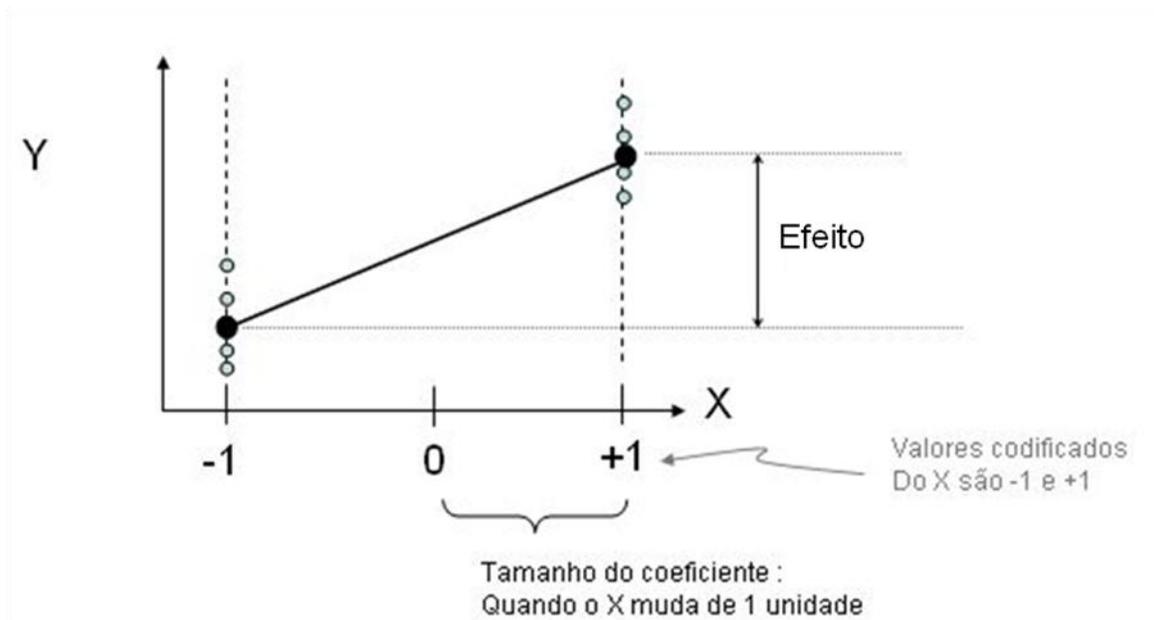
**Tabela 5.** Planejamento fatorial do ensaio

	Ensaio	LFA	Codificação LFA	Fibra	Codificação Fibra
<b>Pontos fatoriais</b>	1	1060	+1	PA	-1
	2	900	-1	PA	-1
	3	1060	+1	PES	+1
	4	900	-1	PES	+1
<b>Pontos centrais</b>	5	980	0	PA	-1
	6	980	0	PES	+1

O programa estatístico codifica as variáveis (variáveis codificadas) num intervalo de -1 (valores mais baixos), 0 (zero) sendo o ponto central, até + 1 (valores mais altos).

A Tabela 5 mostra os valores codificados tanto para o LFA, quanto para a fibra.

Para analisar a relação e o impacto entre as variáveis independentes (Fibra, LFA) e as dependentes é importante definir os seguintes parâmetros (Figura 40).



**Figura 38.** Relação entre variáveis

Em que:

✓ efeito é a distância entre a média dos pontos obtidos quando x varia de -1 até + 1 (variáveis codificadas);

✓ coeficiente mostra quanto o y irá aumentar se o x aumentar de 1 unidade.

Então, tem-se a seguinte relação:

$$\text{Efeito} = 2 \times \text{Coeficiente} \quad (9)$$

SE coeficiente: desvio padrão do coeficiente

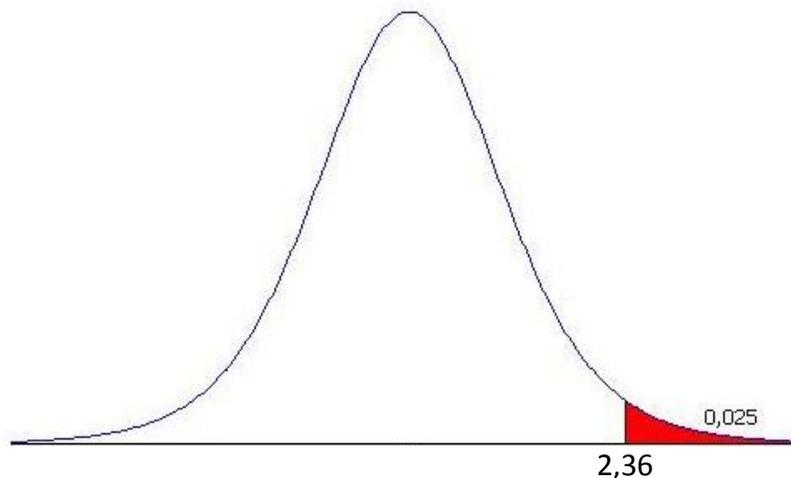
TE: significância do coeficiente calculada para ser comparada à distribuição t-student, para saber se o coeficiente é significativo.

Em que:

$$\text{TE} = \frac{\text{Coeficiente}}{\text{SE Coeficiente}} \quad (10)$$

No gráfico de pareto são colocados os valores da significância do coeficiente (TE) de cada coeficiente e comparados com o valor de uma distribuição t-student.

Então, o valor t para uma distribuição t-student para um erro de alfa/2 (onde alfa é de 0,05) é de 2,31 (Figura 39).



**Figura 39.** Distribuição t-student

No gráfico de pareto são colocados os valores TE de cada coeficiente e comparados com o valor de 2,36 (t-student).

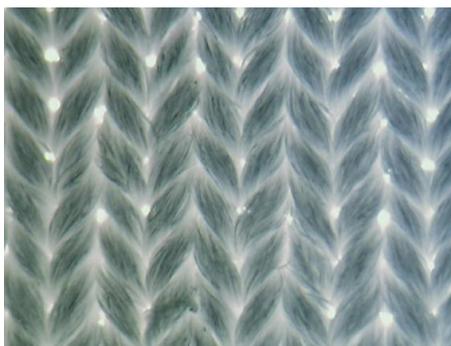
#### 4.3 ESTRUTURA DAS MALHAS (FIGURAS COM AUMENTO DE DUZENTAS VEZES)

A caracterização microscópica do tecido de malha tem grande importância na avaliação das propriedades de conforto do tecido de malha. As fotos a seguir mostram que o aumento do LFA faz com que os espaços vazios entre as malhas no tecido de poliamida diminuam. O poliéster não apresenta variação significativa.

##### 4.3.1 LFA 900 (cm/volta)



**Figura 40.** Microscopia poliamida

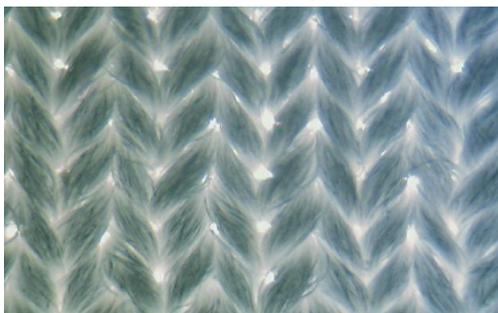


**Figura 41.** Microscopia poliéster

#### 4.3.2 LFA 980 (cm/volta)



**Figura 42.** Microscopia poliamida

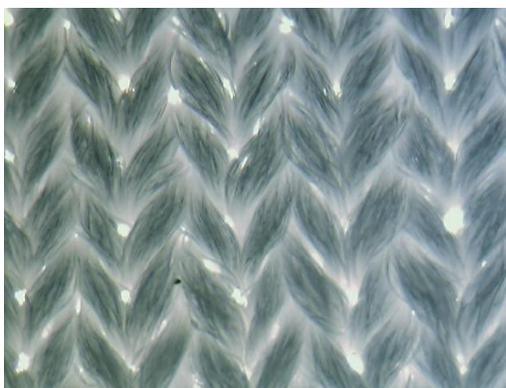


**Figura 43.** Microscopia poliéster

#### 4.3.3 LFA 1060 (cm/volta)



**Figura 44.** Microscopia poliamida



**Figura 45.** Microscopia poliéster

#### 4.4 COMPARATIVO ENTRE FIBRA, LFA E GRAMATURA

A gramatura de um tecido de malha está relacionada à densidade do tecido. A Tabela 6 mostra as médias de gramatura para os tecidos acabados.

Observa-se que em tecidos de poliamida a gramatura é diretamente proporcional ao LFA. Já nos tecidos de poliéster é inversamente proporcional.

Isso ocorre pelo fato de o tecido de poliamida apresentar retração maior que o do poliéster, em função do encolhimento do fio.

Já o fio de poliéster apresenta encolhimento baixo quando comparado com o da poliamida.

**Tabela 6.** Médias de gramatura para os tecidos acabados

FIBRA	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2	
	LFA (cm/volta)	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	LFA (cm/volta)	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )
Poliamida	900	195	900	197
Poliamida	980	200	980	200
Poliamida	1060	204	1060	205
Poliéster	900	212	900	213
Poliéster	980	206	980	207
Poliéster	1060	197	1060	197

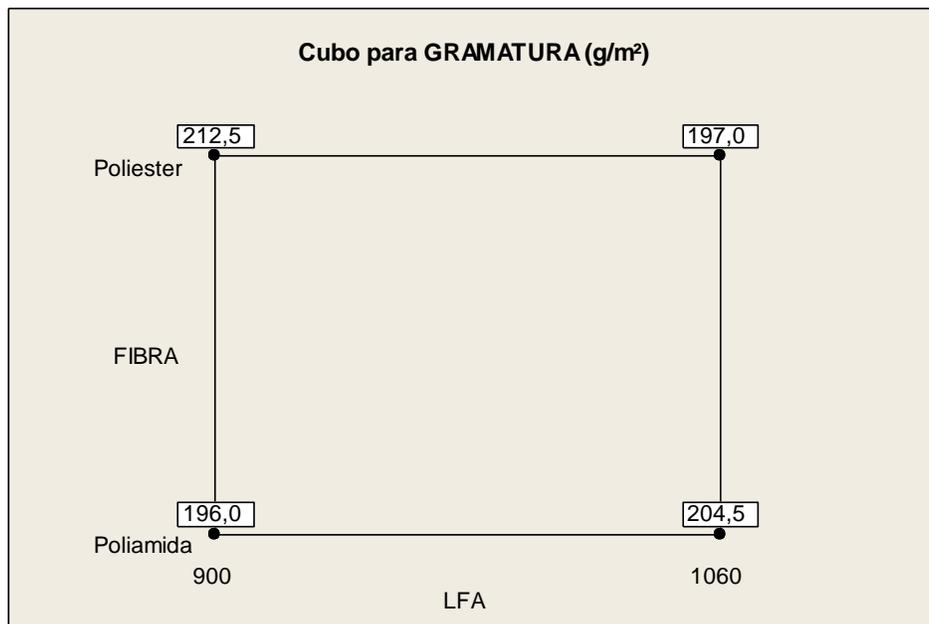
**Tabela 7.** Planejamento experimental para LFA, fibra e gramatura

Ordem Padrão	Ordem de Execução	LFA	Fibra	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )
2	1	1060	Poliamida	205
6	2	1060	Poliamida	204
7	3	900	Poliéster	213
8	4	1060	Poliéster	197
1	5	900	Poliamida	195
5	6	900	Poliamida	197
4	7	1060	Poliéster	197
12	8	980	Poliéster	206
10	9	980	Poliéster	207
11	10	980	Poliamida	200
3	11	900	Poliéster	212
9	12	980	Poliamida	200

#### 4.4.1 Comentário entre Fibra, LFA e Gramatura

- Na malha poliamida 6.6, quando se aumenta o LFA, aumenta-se também a gramatura, em função da ação do encolhimento do elastano em conjunto com o retrato do fio. As fotos do item 4.3 (Estrutura das Malhas) mostram isso.

- Na malha de poliéster, quando se aumenta o LFA, diminui-se a gramatura, em função do baixo encolhimento do fio.



**Figura 46.** Cubo entre fibra, LFA, gramatura

## 4.5 CAPILARIDADE

### 4.5.1 Introdução

O estudo da capilaridade em função do tempo para um tecido de malha obedece à seguinte relação:

$$h = ct^k \quad (11)$$

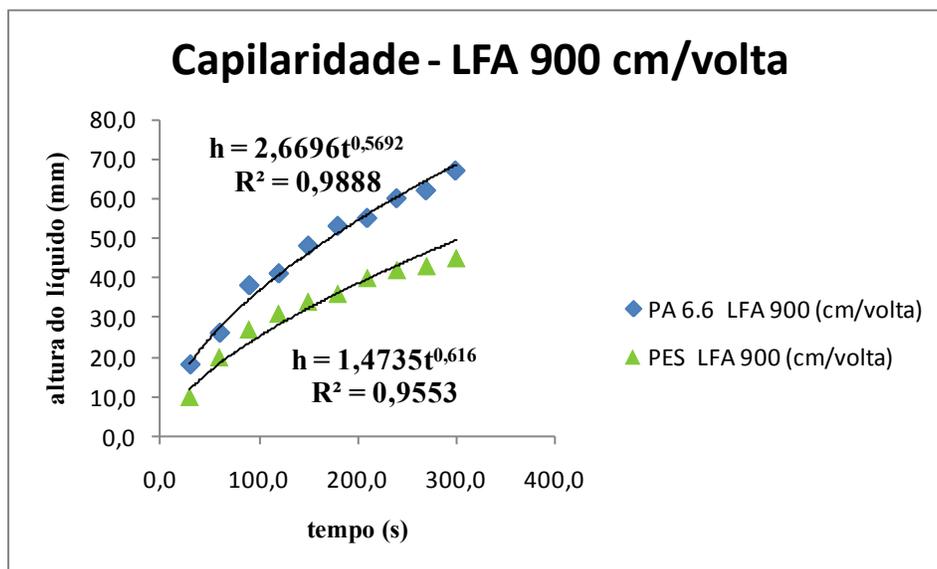
Em que “h” é a altura atingida pelo líquido num tempo “t”, e “c” é uma constante que depende da viscosidade do líquido, ângulo de contato do líquido com o tecido, tensão superficial do líquido, raio do capilar. O objetivo é comparar as amostras de tecido de malha de poliamida com as de poliéster, em três tipos de densidade de malhas diferentes (valores de LFA de 900, 980 e 1.060 cm/volta respectivamente), determinando o modelo de equação, altura máxima do nível do líquido após 300 segundos, verificação de correlação entre as variáveis.

## 4.5.2 Comparativo da Capilaridade no Sentido Longitudinal entre os Tecidos de Poliamida e Poliéster

### 4.5.2.1 Comparativo da Capilaridade com LFA de 900 (cm/volta)

**Tabela 8.** Capilaridade em função do tempo para LFA 900 cm/volta

Tempo (s)	PA 6.6 A1 LFA 900 (cm/volta)	PA 6.6 A2 LFA 900 (cm/volta)	PES A1 LFA 900 (cm/volta)	PES A2 LFA 900 (cm/volta)
30,0	18,0	18,0	10,0	10,0
60,0	26,0	26,0	20,0	20,0
90,0	38,0	38,0	27,0	27,0
120,0	41,0	41,0	31,0	31,0
150,0	48,0	48,0	34,0	34,0
180,0	53,0	53,0	36,0	36,0
210,0	55,0	55,0	40,0	40,0
240,0	60,0	60,0	42,0	42,0
270,0	62,0	62,0	43,0	43,0
300,0	67,0	67,0	45,0	45,0

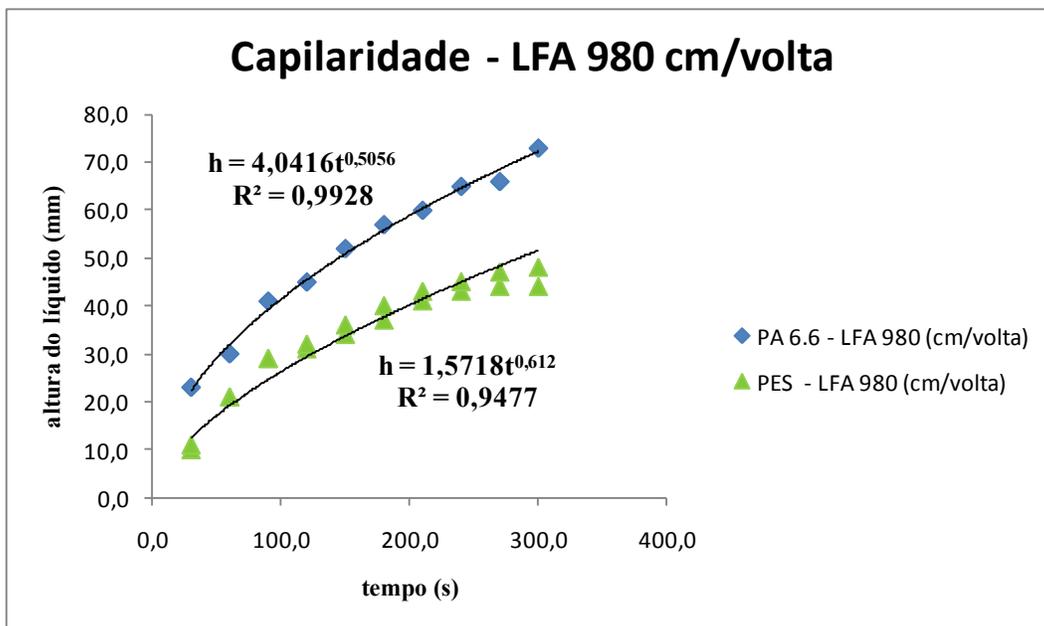


**Figura 47.** Curva da altura do líquido com LFA 900 cm/volta

4.5.2.2 Comparativo da Capilaridade com LFA de 980 (cm/volta)

**Tabela 9.** Capilaridade em função do tempo para LFA 980 cm/volta

Tempo (s)	PA 6.6 A1 LFA 980 (cm/volta)	PA 6.6 A2 LFA 980 (cm/volta)	PES A1 LFA 980 (cm/volta)	PES A2 LFA 980 (cm/volta)
30,0	23,0	23,0	10,0	11,0
60,0	30,0	30,0	21,0	21,0
90,0	41,0	41,0	29,0	29,0
120,0	45,0	45,0	31,0	32,0
150,0	52,0	52,0	34,0	36,0
180,0	57,0	57,0	37,0	40,0
210,0	60,0	60,0	41,0	43,0
240,0	65,0	65,0	43,0	45,0
270,0	66,0	66,0	44,0	47,0
300,0	73,0	73,0	44,0	48,0



**Figura 48.** Curva da altura do líquido com LFA 980 cm/volta

4.5.2.3 Comparativo da Capilaridade com LFA de 1060 (cm/volta)

Tabela 10. Capilaridade em função do tempo para LFA 1060 cm/volta

Tempo (s)	PA 6.6 A1 LFA 1060 (cm/volta)	PA 6.6 A2 LFA 1060 (cm/volta)	PES A1 LFA 1060 (cm/volta)	PES A2 LFA1060 (cm/volta)
30,0	24,0	25,0	10,0	10,0
60,0	33,0	34,0	21,0	21,0
90,0	43,0	45,0	29,0	28,0
120,0	48,0	49,0	33,0	32,0
150,0	54,0	56,0	35,0	34,0
180,0	59,0	61,0	37,0	37,0
210,0	63,0	65,0	41,0	41,0
240,0	69,0	70,0	43,0	43,0
270,0	70,0	71,0	44,0	44,0
300,0	76,0	78,0	44,0	44,0

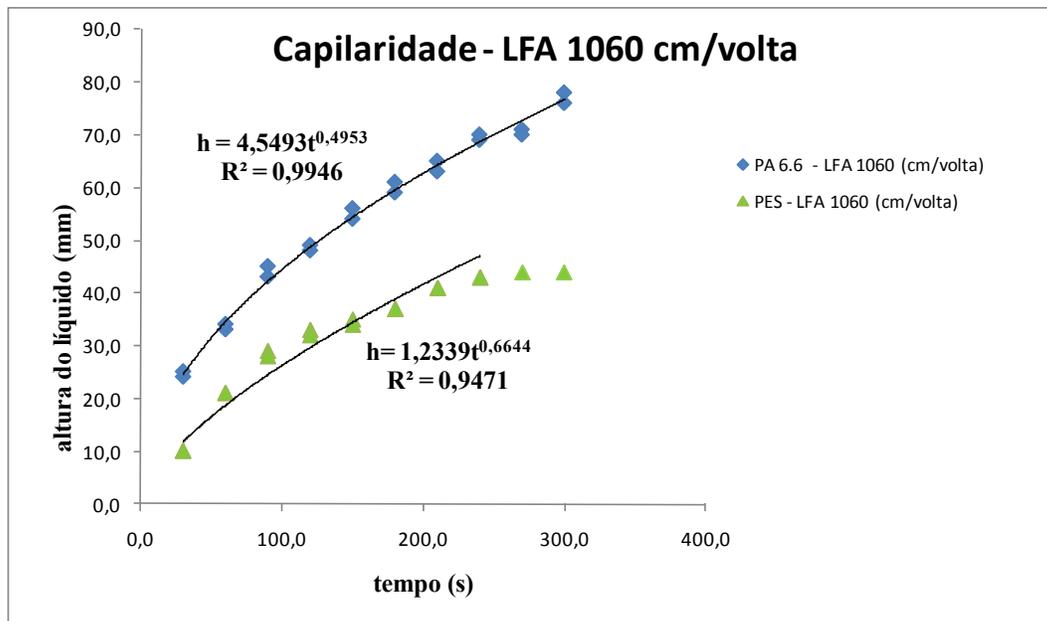


Figura 49. Curva da Altura do Líquido com LFA 1060 cm/volta

### 4.5.3 Comparativo da Capilaridade no Sentido Transversal entre os Tecidos de Poliamida e Poliéster

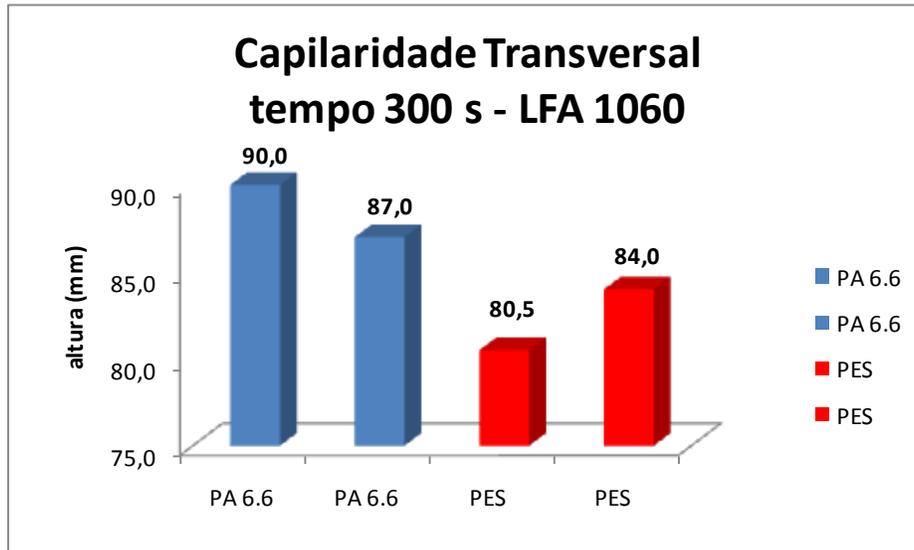


Figura 50. Curva da altura do líquido transversal. Amostra A1 e A2.

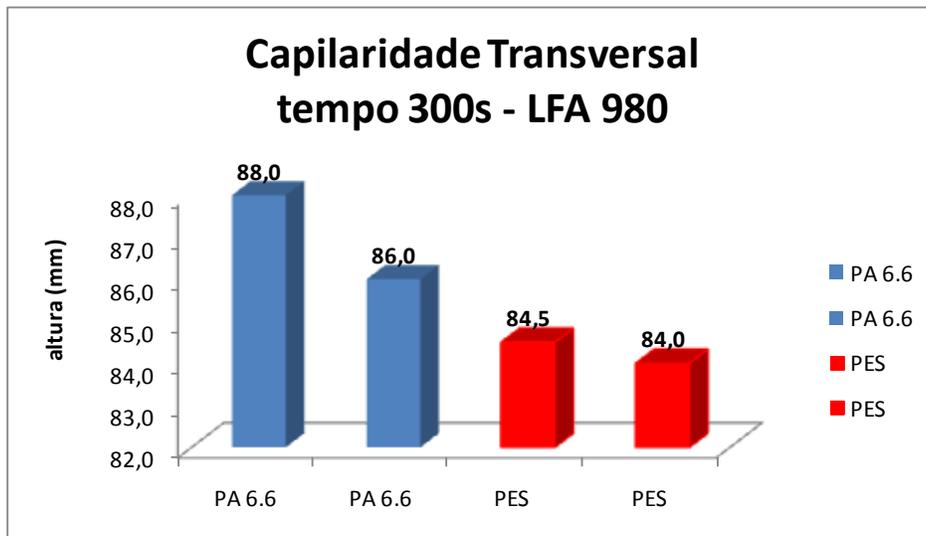


Figura 51. Curva da altura do líquido transversal. Amostra A1 e A2

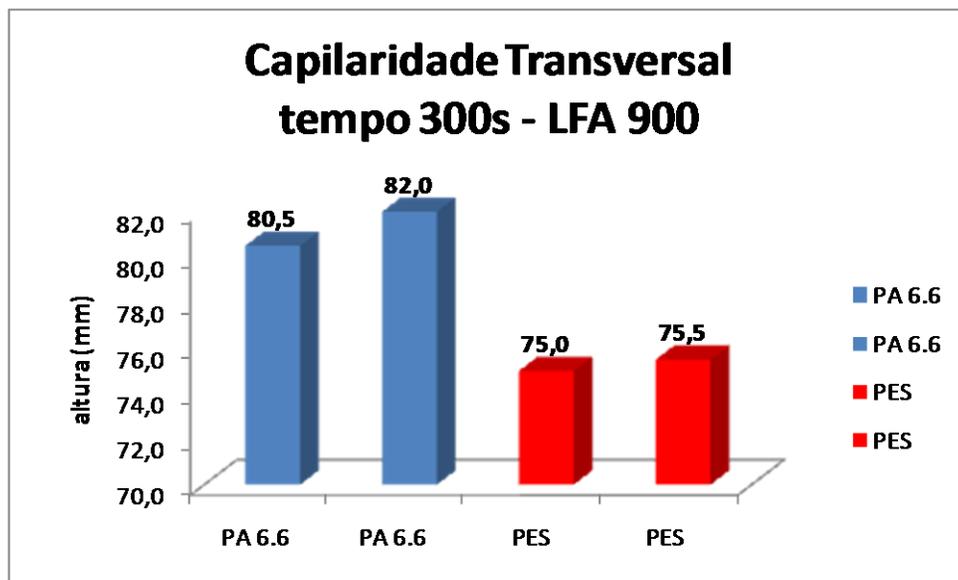


Figura 52. Curva da altura do líquido transversal. Amostras A1 e A2

#### 4.5.4 Comparativo Estatístico entre Capilaridade, Fibra e LFA

A Tabela 11 mostra o Planejamento Experimental para análise entre gramatura, fibra e LFA.

Tabela 11. Planejamento fatorial com LFA, fibra e capilaridade

Ordem Padrão	Ordem de Execução	Ponto Central	LFA	Fibra	Capilaridade (mm/300s)
2	1	1	1060	Poliamida	76
6	2	1	1060	Poliamida	78
7	3	1	900	Poliéster	45
8	4	1	1060	Poliéster	44
1	5	1	900	Poliamida	67
5	6	1	900	Poliamida	67
4	7	1	1060	Poliéster	44
12	8	0	980	Poliéster	45
10	9	0	980	Poliéster	44
11	10	0	980	Poliamida	72
3	11	1	900	Poliamida	45
9	12	0	980	Poliamida	73

#### 4.5.4.1 Comentário entre Capilaridade, Fibra e LFA – Planejamento Fatorial

Como a relação da capilaridade com o tempo não é linear, a precisão do planejamento fatorial fica comprometida. Isso fica comprovado com o cálculo do valor de “p” para o ponto central igual a 0,563, portanto maior que 0,005, mostrando a não linearidade do planejamento fatorial. Como um dos objetivos deste capítulo é comprovar a relação  $h = ct^k$ , optou-se pela não linearização da curva.

#### 4.5.4.2 Correlação entre a Altura do Líquido e a Densidade da Malha

##### 4.5.4.2.1 Fator de densidade da malha

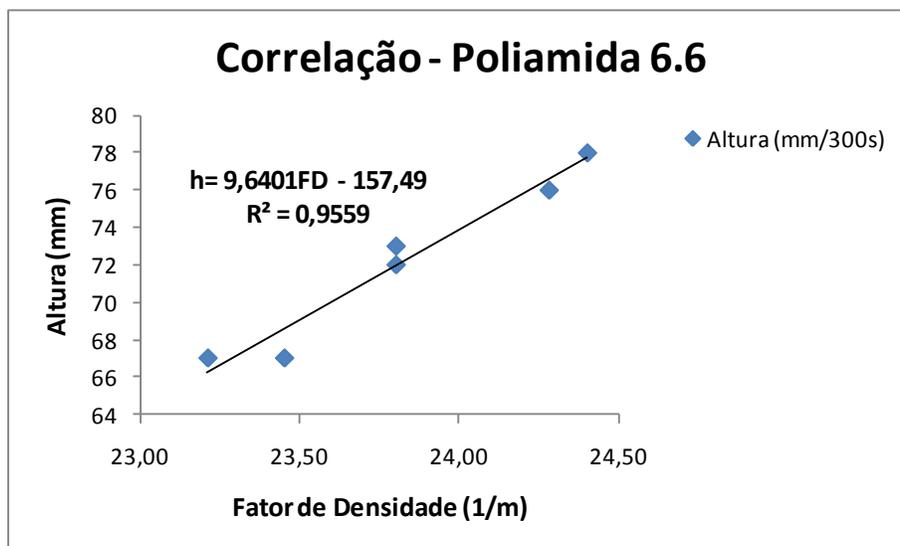
Fator de densidade da malha é a relação entre a gramatura ( $\text{g/m}^2$ ) e o título médio do fio em tex.

$$\text{dens.} = \frac{\text{gramatura } \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2}\right)}{\text{título do fio (tex)}} \text{ (1/m)} \quad (12)$$

##### 4.5.4.2.2 Correlação: altura do líquido por fator de densidade

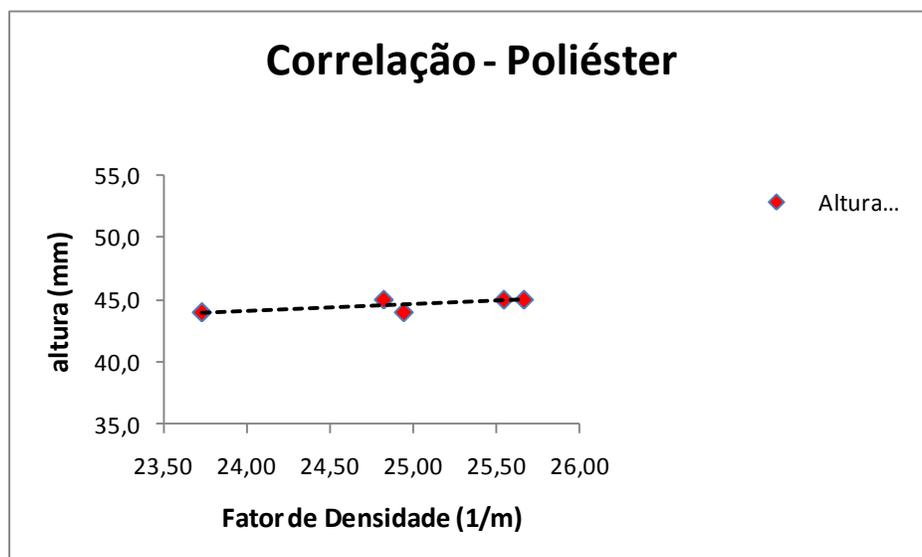
**Tabela 12.** Altura do líquido por fator de densidade

Fibra	Amostra 1		Amostra 2	
	Fator Densidade (1/m)	Altura (mm/300s)	Fator Densidade (1/m)	Altura (mm/300s)
PA 6.6 - LFA 900	23,21	67	23,45	67
PA 6.6 - LFA 980	23,80	72	23,80	73
PA 6.6 - LFA 1060	24,28	76	24,40	78
PES - LFA 900	25,54	45	25,66	45
PES - LFA 980	24,82	45	24,94	44
PES - LFA 1060	23,73	44	23,73	44



**Figura 53.** Correlação entre Altura do Líquido e a Densidade da Malha para o Tecido de Poliamida 6.6

Na poliamida, existe uma correlação significativa entre a altura do líquido e a densidade da malha (figura 53), já que o valor de  $R^2 = 0,9559$ .



**Figura 54.** Correlação entre Altura do Líquido e a Densidade da Malha para o Tecido de Poliéster

No poliéster (Figura 54), não houve correlação (altura permanece constante), em função do baixo encolhimento do fio e da malha durante o processo de beneficiamento, o que ocasiona pouca diferença na distância capilar ( $e_{mac}$ ).

#### 4.5.4.2.3 Comentários da correlação entre a altura do líquido e a densidade da malha

A correlação significativa no tecido de malha de poliamida 6.6 deve-se ao fato de que, quanto maior for o LFA e a densidade de malhas, menor serão os vazios entre uma coluna de malha e outra, em função da retração do fio de poliamida 6.6 em conjunto com o elastano.

Já no poliéster houve pouca alteração dos espaços vazios.

#### 4.5.4.3 Capilaridade – Conclusão

- O efeito de capilaridade é basicamente função da característica da matéria-prima (tipo de fibra) e dos espaços vazios existentes na malha (distância entre fios e distância entre filamentos).
- Ambas as matérias-primas (poliamida e poliéster) apresentam título do fio e número de filamentos muito próximos; PA 1x80/68 dtex e PES 80/72 dtex.
- O tecido de poliamida 6.6 apresentou efeito de capilaridade melhor que o tecido de poliéster para todos os valores de LFA. Ao tomar em consideração o valor de altura máxima atingida pelo líquido com 300 segundos, tem-se resultado para a poliamida muito superior ao do poliéster (comparando-se a altura máxima para um LFA de 1.060 cm/volta, essa diferença atinge 77%).

A diferença foi maior para um valor mais alto de LFA. Isso se deve ao fato de, com valor de LFA maior, haver interação maior entre encolhimento do fio de poliamida 6.6 em conjunto com o elastano, possibilitando uma malha mais compacta e com menos espaços vazios em relação ao tecido de poliéster.

- A poliamida tem maior afinidade superficial com a água, o que contribui positivamente o efeito de capilaridade.

## 4.6 PERMEABILIDADE AO VAPOR

### 4.6.1 Introdução

A permeabilidade ao vapor consiste em perda de água sob forma de vapor, uma das propriedades mais importantes de uma estrutura fibrosa.

Quando a umidade evapora da pele e passa como vapor pela estrutura fibrosa, os poros desta permanecem livres, facilitando o movimento do ar através do material fibroso e reservando-o para que os poros estejam cheios de ar.

O objetivo deste tópico é comparar a permeabilidade ao vapor dos tecidos de malha de poliamida 6.6 e poliéster em diferentes densidades.

### 4.6.2 Comparativo Permeabilidade ao Vapor (Valor Médio)

#### 4.6.2.1 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 1060 (cm/volta)

**Tabela 13.** Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 1.060 cm/volta

Tempo (h)	Vapor (g)	Vapor (g)	Vapor (g)	Vapor (g)
	PA 6.6 A1	PA 6.6 A2	PES A1	PES A2
1	0,20	0,20	0,16	0,16
2	0,40	0,39	0,33	0,33
3	0,58	0,57	0,53	0,52
4	0,78	0,76	0,70	0,71
5	0,97	0,95	0,89	0,89
6	1,16	1,14	1,11	1,11
7	1,35	1,33	1,32	1,33
8	1,53	1,51	1,48	1,48

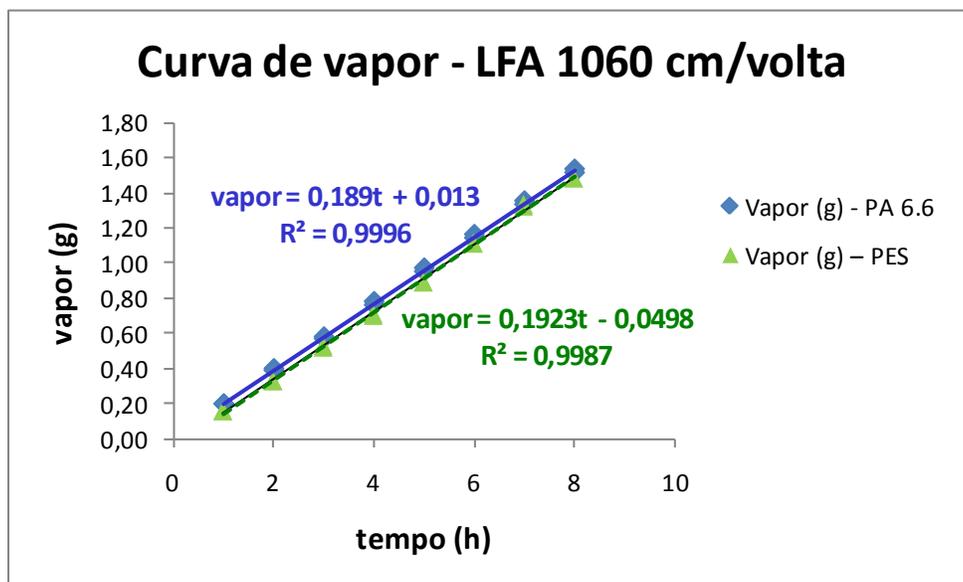


Figura 55. Taxa de Vapor. LFA 1060

Tabela 14. Valores para a taxa de vapor para LFA 1.060 cm/volta

	<b>Poliamida 6.6</b>	<b>Poliéster</b>
Taxa de Vapor (g/h.m <sup>2</sup> )	35,1	35,7

#### 4.6.2.2 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 980 (cm/volta)

Tabela 15. Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 980 cm/volta

Tempo (h)	Vapor (g)		Vapor (g)	
	PA 6.6 A1	PA 6.6 A2	PES A1	PES A2
1	0,20	0,19	0,15	0,15
2	0,39	0,40	0,30	0,30
3	0,57	0,57	0,46	0,47
4	0,75	0,97	0,61	0,61
5	0,93	1,12	0,78	0,79
6	1,12	1,22	0,92	0,93
7	1,31	1,32	1,10	1,10
8	1,51	1,50	1,26	1,26

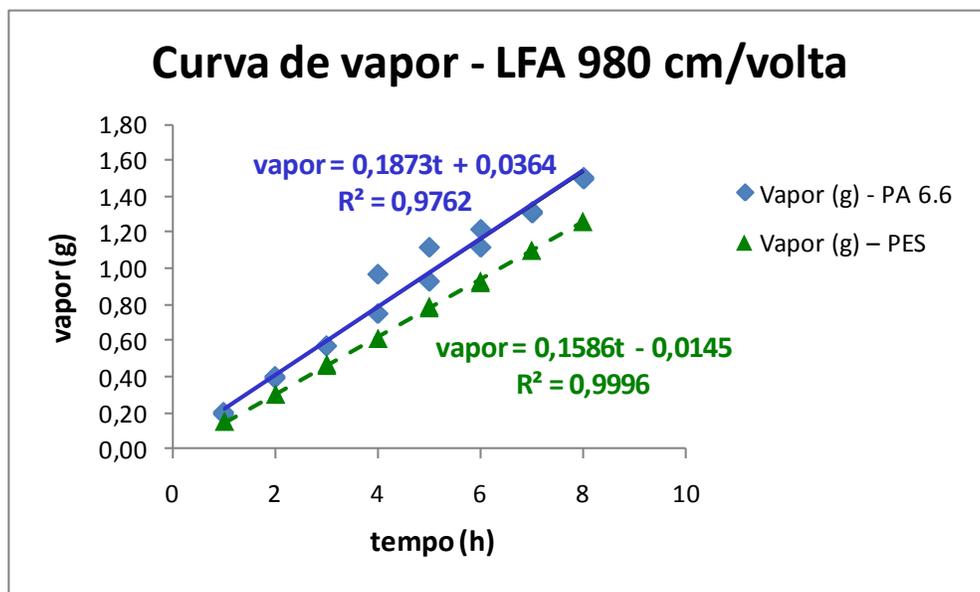


Figura 56. Taxa de vapor para LFA 980

Tabela 16. Valores para a taxa de vapor para LFA 980 cm/volta

	<b>Poliamida 6.6</b>	<b>Poliéster</b>
Taxa de Vapor (g/h.m <sup>2</sup> )	34,8	29,5

#### 4.6.2.3 Comparativo da Permeabilidade ao Vapor com LFA de 900 (cm/volta)

Tabela 17. Absorção de vapor de água em função do tempo para LFA 900 cm/volta

Tempo (h)	Vapor (g)		Vapor (g)	
	PA 6.6 A1	PA 6.6 A2	PES A1	PES A2
1	0,16	0,15	0,15	0,15
2	0,32	0,31	0,30	0,29
3	0,51	0,50	0,47	0,45
4	0,71	0,72	0,61	0,60
5	0,90	0,92	0,79	0,76
6	1,12	1,14	0,93	0,90
7	1,32	1,34	1,10	1,17
8	1,48	1,49	1,27	1,27

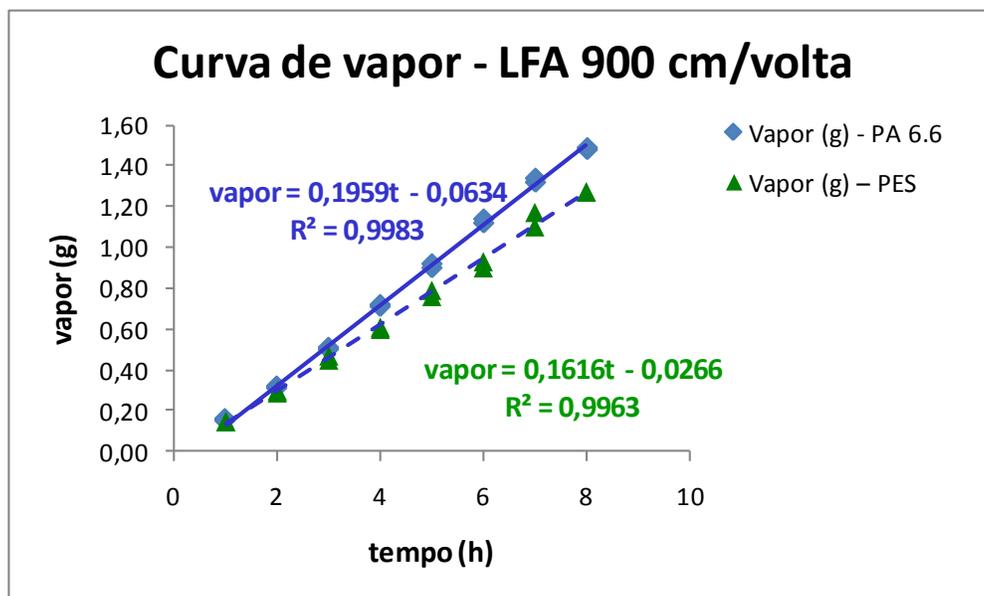


Figura 57. Taxa de Vapor. LFA 900

Tabela 18. Valores para a taxa de vapor para LFA 900 cm/volta

	<b>Poliamida 6.6</b>	<b>Poliéster</b>
Taxa de Vapor (g/h.m <sup>2</sup> )	36,4	30,0

#### 4.6.3 Comparativo Estatístico da Permeabilidade ao Vapor entre os Tecidos de Malha de Poliamida 6.6 e Poliéster

A Tabela a 19 mostra o Planejamento Experimental efetuado para análise entre permeabilidade ao vapor, fibra, LFA.

A relação da permeabilidade ao vapor com o tempo é linear. O vapor da probabilidade “p” do ponto central é de 0,002, portanto menor que 0,005, confirmando a linearidade.

**Tabela 19.** Planejamento fatorial para LFA, fibra e permeabilidade ao vapor

<b>Ordem Padrão</b>	<b>Ordem de Execução</b>	<b>Ponto Central</b>	<b>LFA</b>	<b>Fibra</b>	<b>Permeabilidade de Vapor (g/h.m2)</b>
2	1	1	1060	Poliamida	35,4
6	2	1	1060	Poliamida	34,8
7	3	1	900	Poliéster	29,8
8	4	1	1060	Poliéster	35,4
1	5	1	900	Poliamida	36,0
5	6	1	900	Poliamida	36,7
4	7	1	1060	Poliéster	35,7
12	8	0	980	Poliéster	29,5
10	9	0	980	Poliéster	29,5
11	10	0	980	Poliamida	34,5
3	11	1	900	Poliéster	28,8
9	12	0	980	Poliamida	35,0

A Tabela 20 e as figuras 58, 59, 60 e 61 mostram a influência entre esses três fatores. Valem as observações a seguir.

- Poliamida: a permeabilidade ao vapor varia pouco com a mudança do LFA, em função de a poliamida 6.6 ter regain mais alto do que o poliéster (5,75% contra 1,5%). O impacto do LFA não é alto.
- Poliéster: quanto maior o LFA, maior a taxa de permeabilidade ao vapor. Isso ocorre porque, como o poliéster tem um regain baixo, o LFA passa a ter influência maior.
- Como o valor de “p” para a variável fibra é igual a 0,000, pode-se afirmar que a malha de poliamida 6.6 apresenta taxa de vapor maior que a do poliéster.
- O tipo de fibra é dos fatores o que tem o maior impacto na taxa de vapor. O valor do “efeito” igual a -4,008 (negativo) significa que a permeabilidade ao vapor diminui quando se muda a fibra de poliamida 6.6 (variável codificada igual a -1) para poliéster (variável codificada +1).
- O valor de “p” para o ponto central é de 0,002, portanto menor que 0,05, assim, pode-se afirmar que relação entre as variáveis fibra, LFA e permeabilidade ao vapor é linear, validando-se assim o planejamento fatorial.

**Tabela 20.** Análise estatística para permeabilidade ao vapor

Termo	Efeito	Coef.	SE Coef	TE	p
Constante		34,119	0,2478	137,68	0,00
LFA	2,288	1,144	0,2478	4,62	0,00
FIBRA	-4,008	-2,004	0,2023	-9,91	0,00
LFA*FIBRA	3,963	1,981	0,2478	8,00	0,00

Legenda:

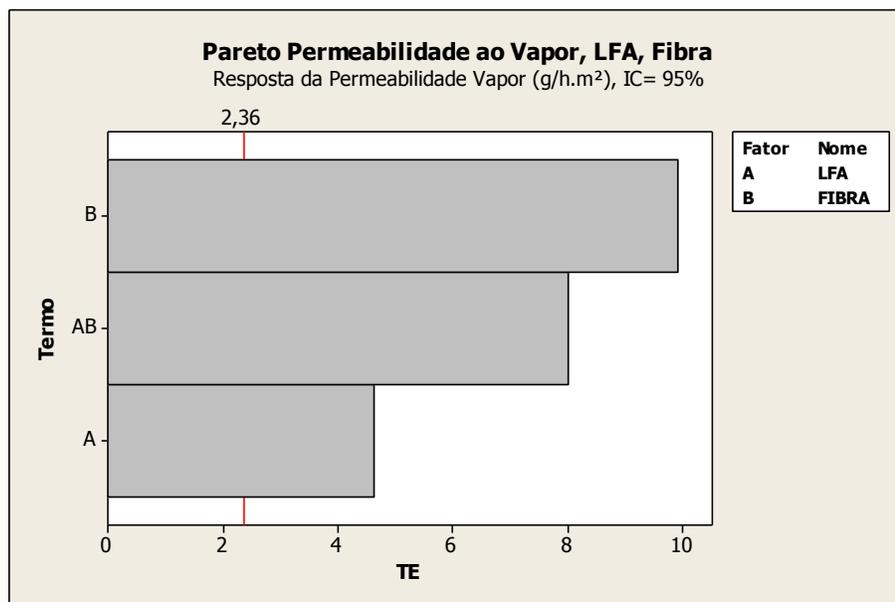
Coef. = Coeficiente

SE Coef. = Desvio do coeficiente

TE = Significância do coeficiente

p = Probabilidade

A Tabela 23 mostra os valores do “efeito” para cada variável, sendo que, quanto maior o valor em módulo, maior será o impacto na permeabilidade ao vapor.



**Figura 58.** Pareto entre fibra, LFA e permeabilidade ao vapor

O gráfico de pareto compara os valores em módulo da significância do coeficiente (TE relativo à Tabela 19) com a distribuição *t-student* (2,36). Os valores em módulo maiores que 2,36 são significativos para um erro de 5% (0,05).

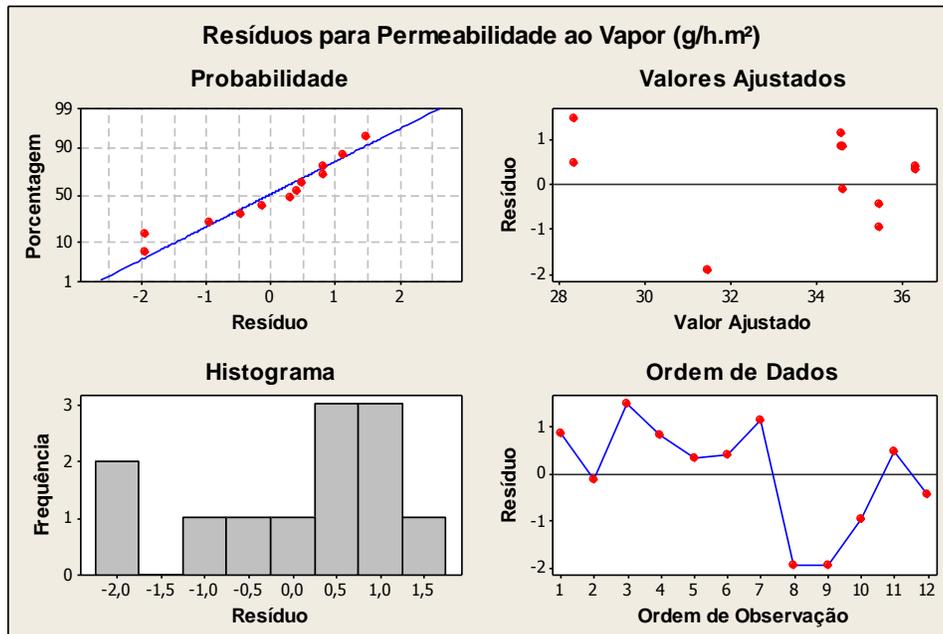


Figura 59. Resíduos para permeabilidade ao vapor

As figuras mostram que na poliamida 6.6 a taxa de vapor varia pouco com alteração do LFA (900 até 1060), já no poliéster tal diferença é significativa.

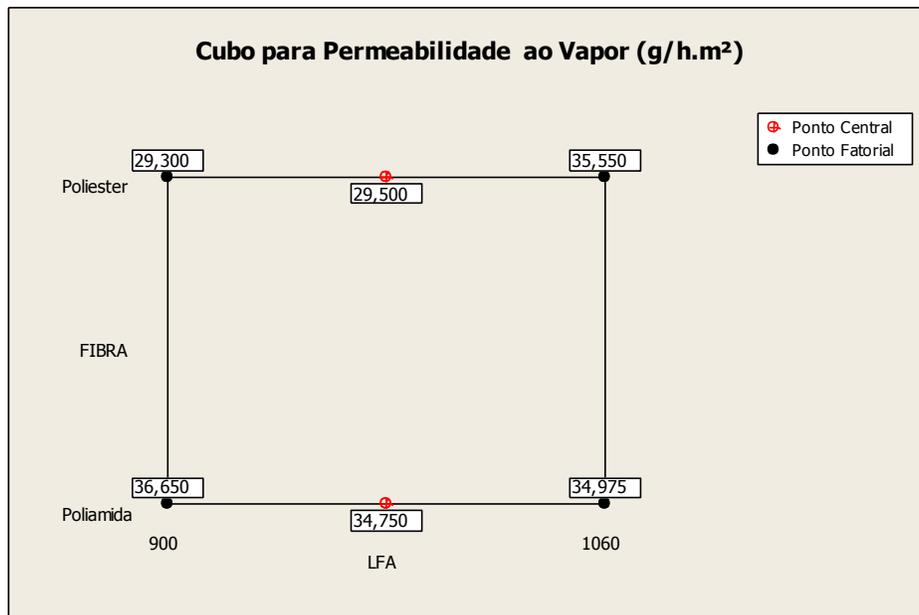


Figura 60. Cubo entre Fibra, LFA e permeabilidade ao vapor

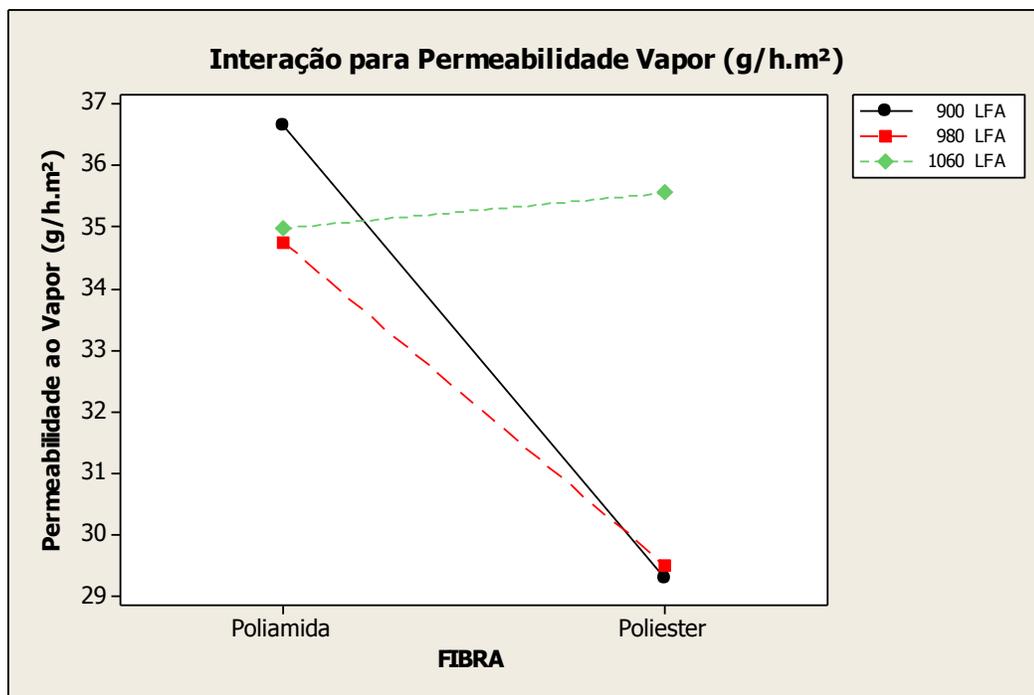
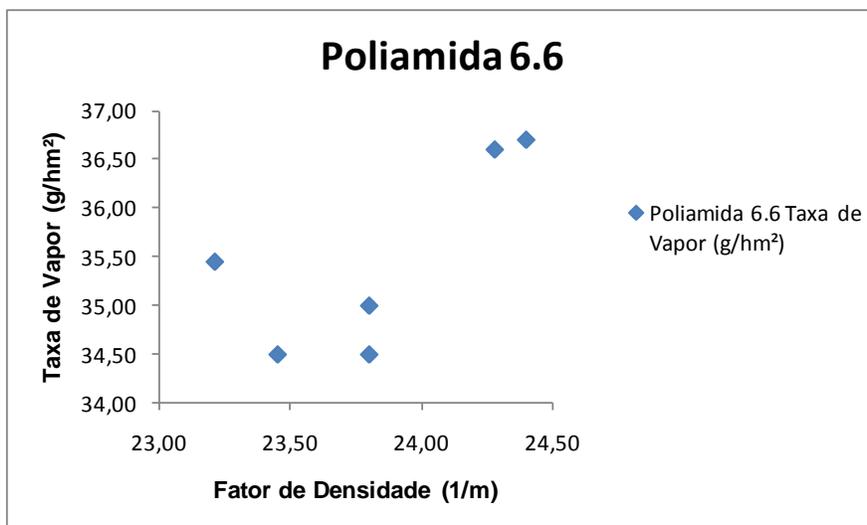


Figura 61. Relação entre permeabilidade ao vapor, LFA, fibra

#### 4.6.4 Correlação Taxa de Vapor e Fator de Densidade

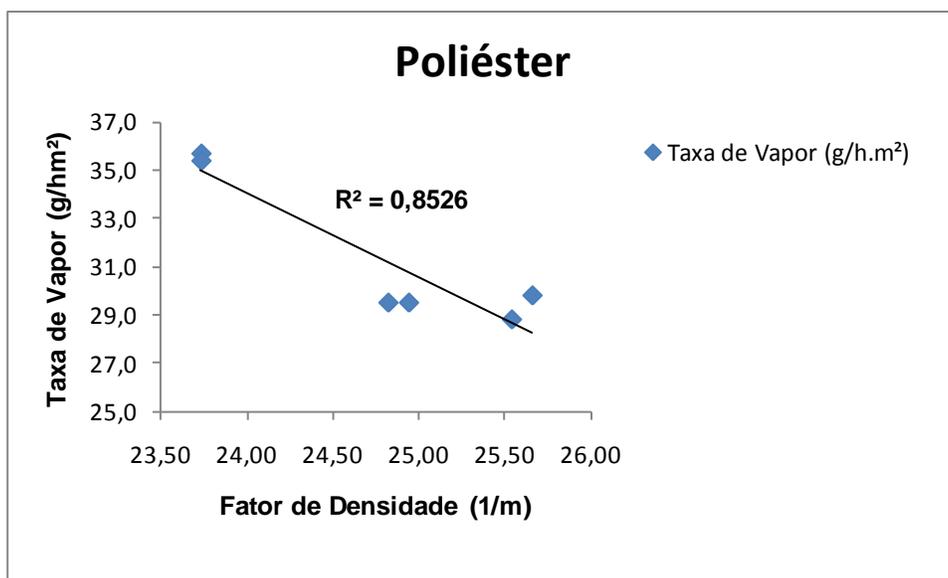
Tabela 21. Taxa de vapor e fator de densidade

Fibra	Amostra 1		Amostra 2	
	Fator Densidade (1/m)	Taxa de Vapor (g/hm²)	Fator Densidade (1/m)	Taxa de Vapor (g/hm²)
PA 6.6 - LFA 900	23,21	36,6	23,45	36,7
PA 6.6 - LFA 980	23,80	34,5	23,80	35,0
PA 6.6 - LFA 1060	24,28	35,4	24,40	34,8
PES - LFA 900	25,54	29,6	25,66	28,8
PES - LFA 980	24,82	29,5	24,94	29,5
PES - LFA 1060	23,73	35,4	23,73	35,7



**Figura 62.** Correlação entre taxa de vapor e densidade da malha para o tecido de poliamida 6.6.

Não há correlação entre a taxa de vapor e a densidade da malha (fator de densidade). Nas malhas de poliamida 6.6, a influência maior na taxa de vapor está no regain da fibra (5,75% no caso da poliamida 6.6) e não no fator de densidade da malha.



**Figura 63.** Correlação entre a taxa de vapor e s densidade da malha para o tecido de poliéster

Existe correlação significativa, valor de  $R^2$  igual a 0,8526.

#### 4.6.5 Permeabilidade ao Vapor – Conclusão

- O regain da fibra tem importância significativa na propriedade de permeabilidade ao vapor. A poliamida 6.6, por possuir regain superior ao do poliéster (5,75% contra 1,5%), apresentou em média taxa de permeabilidade ao vapor superior a do poliéster.
- A influência do LFA na taxa de permeabilidade ao vapor é muito maior nos tecidos de malha de poliéster do que nos de poliamida 6.6. Isso ocorre porque, como o poliéster tem regain baixo, a densidade da malha passa a ter impacto maior.

### 4.7 FATOR DE PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA

#### 4.7.1 Introdução

A **radiação ultravioleta (UV)** é a radiação eletromagnética ou os raios ultravioleta com comprimento de onda menor que a da luz visível e maior que a dos raios X.

O nome significa mais alta que (além do) violeta (do latim ultra), pelo fato de que o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e de maior frequência.

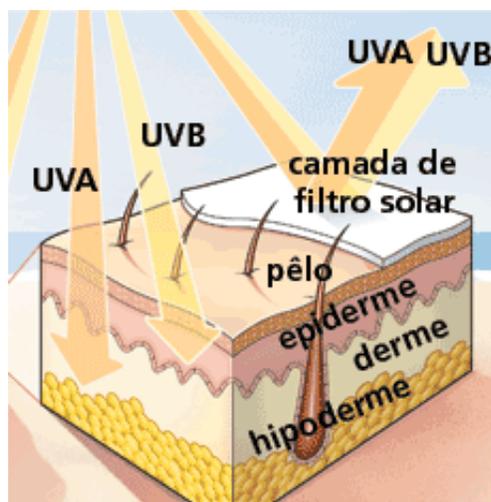
A radiação UV pode ser subdividida em UV próxima (comprimento de onda de 380 nm até 200 nm – mais próximo da luz visível); UV distante (de 200 nm até 10 nm) e UV extrema (de 1 nm a 31 nm).

No que se refere aos efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, classifica-se como UVA (400-320 nm, também chamada de “luz negra” ou onda longa), UVB (320-280 nm, também chamada de onda média) e UVC (280-100 nm, também chamada de UV curta ou “germicida”).

A maior parte da radiação UV emitida pelo sol é absorvida pela atmosfera terrestre. A quase totalidade (99%) dos raios ultravioleta que efetivamente chegam à superfície da Terra são do tipo UV-A.

A radiação UV-B é parcialmente absorvida pelo ozônio da atmosfera, e a parcela que chega à Terra é responsável por danos à pele. Já a radiação UV-C é totalmente absorvida pelo oxigênio e pelo ozônio da atmosfera.

A Figura 64 mostra a ação dos raios UVA e UVB na pele.



**Figura 64.** Ação de raios UVA e UVB sobre a pele

#### 4.7.2 Transmitância e Absorbância

Transmitância – exprime a fração da energia luminosa que consegue atravessar determinada espessura de material sem ser absorvida pelo mesmo; é medida em porcentagem, relativamente à quantidade de energia e comprimento de onda da radiação luminosa incidente.

Absorbância – exprime a fração da energia luminosa que é absorvida por determinada espessura de material; é medida em porcentagem, relativamente à quantidade de energia e comprimento de onda da radiação luminosa incidente.

### 4.7.3 Determinação do Fator de Proteção Solar em Tecidos (AS/NZS 4399, 1996)

O método consiste em medir por meio de um espectrofotômetro a radiação ultravioleta que passa pelo substrato têxtil numa faixa de comprimento de onda entre 280 nm e 400 nm (UVB + UVA).

A partir dos dados obtidos, calcula-se o Fator de Proteção Solar (UPF), utilizando-se a expressão a seguir:

$$UPF = \frac{\sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (13)$$

Em que:

$E_{\lambda}$  = Espectro eritemal segundo CIE (Comissão Internacional de Iluminação)

$S_{\lambda}$  = Distribuição espectral da radiação

$T_{\lambda}$  = Transmissão espectral do têxtil

$\Delta\lambda$  = Amplitude da faixa em nm

$\lambda$  = Comprimento de onda em nm

### 4.7.4 Fatores de Influência

São vários os fatores que determinam o grau de proteção da radiação ultravioleta nos têxteis, nomeadamente:

- Composição do tecido – a qualidade das matérias-primas influencia a capacidade de absorção de radiação UV.
- Densidade/contextura – a densidade de fios e a própria contextura da estrutura têxtil são fatores que por si só permitem maior ou menor fator de cobertura.

- Assim, a máxima proteção aos raios UV é obtida com a menor porosidade óptica possível, ou seja, com o maior fator de cobertura.
- Cor – para a mesma qualidade de matéria-prima, com tecidos de densidades e gramatura semelhantes, estudos demonstram que as cores mais intensas absorvem maiores quantidades de radiação UV, conferindo por isso maior proteção.
- Elasticidade – a maior ou menor capacidade elástica das estruturas têxteis permite também maior ou menor capacidade de absorção. Máxima proteção consegue-se com menor elasticidade.
- Umidade – quando comparada com tecidos úmidos de idênticas características, a transmitância de radiações UV em tecidos secos é menor. O fator de proteção é nestes casos superior.
- Design da peça – o design associado à função é também fator determinante da máxima cobertura e, por conseguinte, da máxima proteção.
- Conservação – a diminuição da porosidade, a alteração da textura e o desbote devidos ao uso são fatores que influenciam negativamente as condições de absorção de radiações UV.

#### **4.7.5 Princípio do Método – Norma *Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4399, 1996***

Empregaram-se leituras por meio de espectrofotometria ultravioleta com esfera de transmitância difusa (280 – 400 nm), sendo realizadas quatro leituras para cada espécie, distribuídos em amostragem retirada de várias partes do material.

Os resultados expressos referem-se ao cálculo de estimativa de Fator de Proteção Ultravioleta em têxtil seco, empregando valores de dose eritematosa mínima (DEM) e valores do espectro de irradiação solar obtidos em 17 de Janeiro de 1990 em Melbourne.

#### 4.7.6 Medição do UPF Aplicando-se Tensão de 30% em Toda Circunferência do Tecido

Além da medida tradicional do UPF (amostra sem tensão), os tecidos de malha foram submetidos à tensão de 30% em toda a circunferência (diâmetro de 25 mm).

Quando se aplica essa tensão, a estrutura do tecido de malha fica mais aberta (maior passagem de luz), tornando mais importante a influência da matéria-prima em relação à estrutura da malha.

#### 4.7.7 Quadro-Resumo UPF

A Tabela 35 a seguir mostra a classificação dos fatores de proteção segundo a Norma AS/NZS 4399: 1966.

**Tabela 22.** Classificação do fator de proteção

<b>Faixa FPU</b>	<b>Categoria de Proteção</b>	<b>Efetividade de Transmissão</b>	<b>Classificação de Fator de Proteção Ultravioleta</b>
15 a 24	Boa	6,7 - 4,2	15, 20
25 a 39	Muito Boa	4,1 - 2,6	25,30,35
40 a 50	Excelente	< =	40,45,50
Acima de 50 (50+)	Máxima	< =	50+

**Fonte:** *Australian/New Zealand Standard. AS/NZS 4399, 1996.*

#### 4.7.8 Resultados do Fator de Proteção Solar (UPF) nas Amostras

O ensaio foi realizado para as amostras de tecido de malha de poliéster e poliamida 6.6 na condição natural (sem tensão) e com tensão de 30% aplicada igualmente em todo o diâmetro da amostra.

Aplica-se essa tensão de 30% com o objetivo de verificar o nível de proteção ultravioleta de ambas as amostras (poliamida 6.6 e poliéster), uma vez que, estando a malha tensionada, a influência da matéria prima torna-se mais importante do que a densidade da malha.

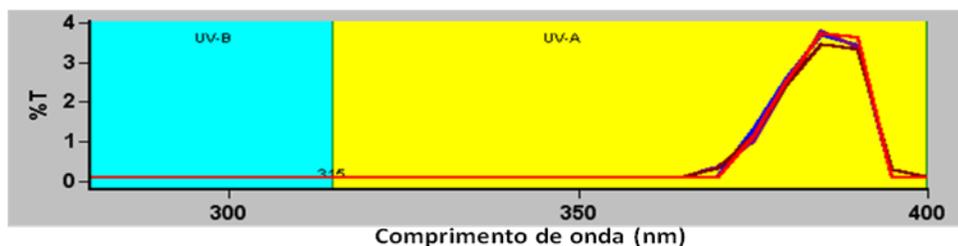
**Tabela 23.** Valores de UPF para os tecidos sem tensão

<b>Fibra</b>	<b>Amostra</b>	<b>LFA</b>	<b>UPF Médio</b>	<b>Categoria de Proteção</b>
Poliamida 6.6	A1	900	756	Máxima
Poliamida 6.6	A2	900	758	Máxima
Poliéster	A1	900	308	Máxima
Poliéster	A2	900	313	Máxima
Poliamida 6.6	A1	980	777	Máxima
Poliamida 6.6	A2	980	782	Máxima
Poliéster	A1	980	279	Máxima
Poliéster	A2	980	275	Máxima
Poliamida 6.6	A1	1060	804	Máxima
Poliamida 6.6	A2	1060	800	Máxima
Poliéster	A1	1060	309	Máxima
Poliéster	A2	1060	303	Máxima

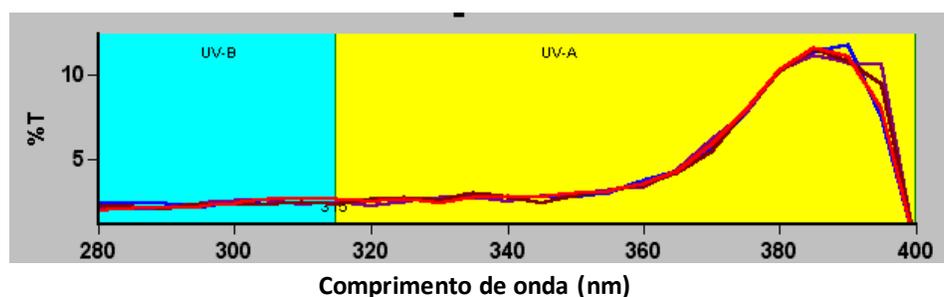
**Tabela 24.** Valores de UPF para os tecidos com tensão de 30%

Fibra	Amostra	LFA	UPF Médio	Categoria de Proteção
Poliamida 6.6	A1	900	3	Muito Boa
Poliamida 6.6	A2	900	38	Muito Boa
Poliéster	A1	900	10	Sem Proteção
Poliéster	A2	900	10	Sem Proteção
Poliamida 6.6	A1	980	384	Máxima
Poliamida 6.6	A2	980	423	Máxima
Poliéster	A1	980	14	Sem Proteção
Poliéster	A2	980	14	Sem Proteção
Poliamida 6.6	A1	1060	245	Máxima
Poliamida 6.6	A2	1060	217	Máxima
Poliéster	A1	1060	24	Boa
Poliéster	A2	1060	24	Boa

#### 4.7.9 Curvas de Transmitância (%T) em Função do Comprimento de Onda sem Tensão e com Tensão de 30% em sua Circunferência para a Poliamida 6.6



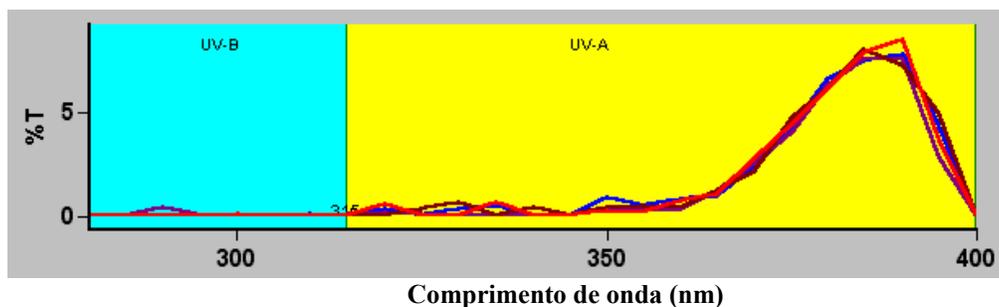
**Figura 65.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA de 900 cm/volta, sem tensão



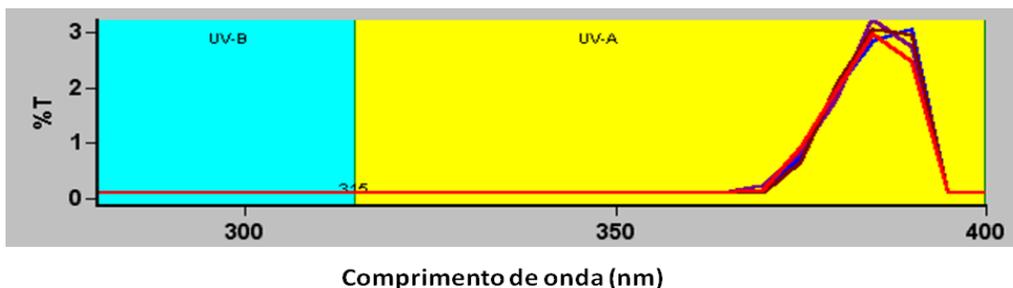
**Figura 66.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA de 900 cm/volta com tensão de 30%



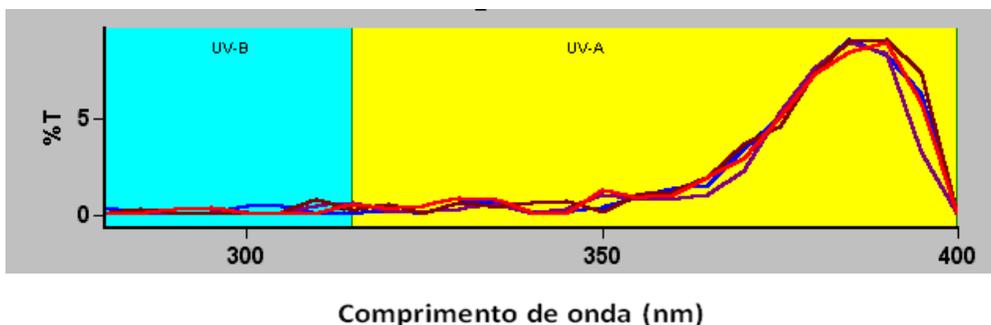
**Figura 67.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliâmida 6.6, LFA de 980 cm/volta, sem tensão



**Figura 68.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliâmida, LFA de 980 cm/volta com tensão de 30%

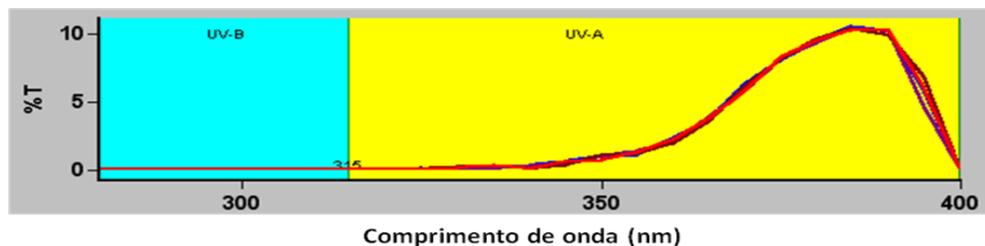


**Figura 69.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliâmida 6.6, LFA de 1060 cm/volta, sem tensão

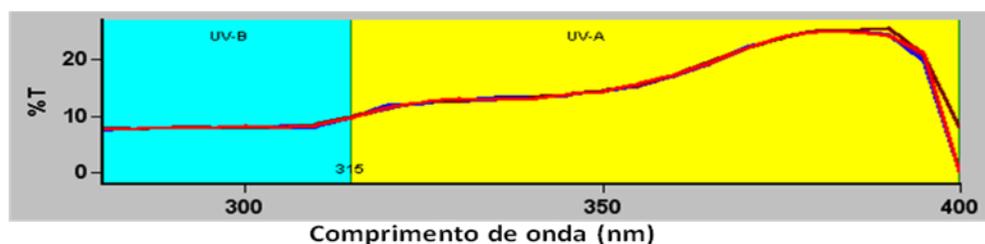


**Figura 70.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliâmida 6.6, LFA de 1060 cm/volta com tensão de 30%

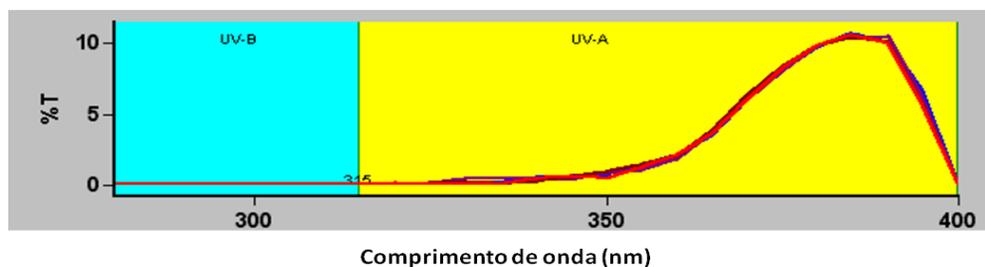
#### 4.7.10 Curvas de Transmitância em Função do Comprimento de Onda sem Tensão e com Tensão de 30% em sua Circunferência para o Poliéster



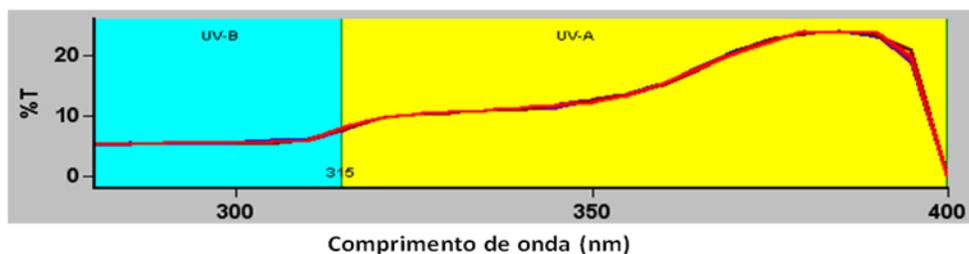
**Figura 71.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 900 cm/volta, sem tensão



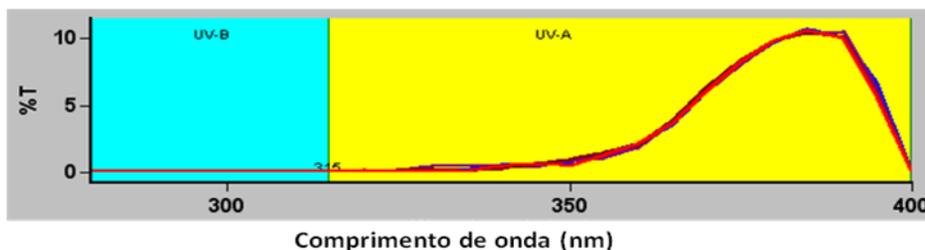
**Figura 72.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 900 cm/volta com tensão de 30%



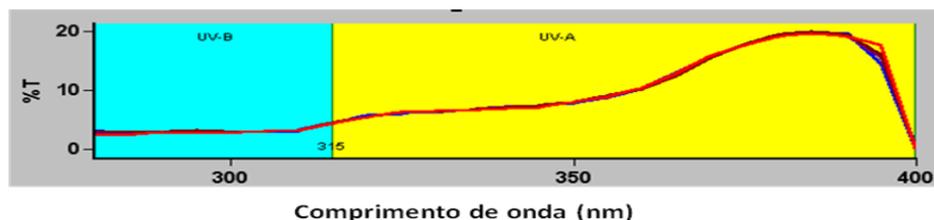
**Figura 73.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 980 cm/volta, sem tensão



**Figura 74.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 980 cm/volta com tensão de 30%



**Figura 75.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 1060 cm/volta, sem tensão



**Figura 76.** Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 1060 cm/volta com tensão de 30%

#### 4.7.11 Comentários e Conclusão – Fator de Proteção Ultravioleta

- O Fator de Proteção Ultravioleta (UPF) quando as amostras estão relaxadas (sem tensão) proporciona proteção máxima, tanto para os tecidos de malha em poliamida 6.6 quanto para o poliéster. Isso ocorre devido à densidade de malhas estar alta, em função da presença do elastano na estrutura. Ou seja, apesar dos níveis de UPF da poliamida 6.6 ser maiores que os do poliéster, existe influência maior da estrutura da malha com elastano sobre a matéria-prima.
- Quando se aplica tensão de 30% sobre uma dimensão na direção da largura do tecido de malha, verifica-se que os tecidos de poliamida 6.6 mantêm a máxima proteção ultravioleta, enquanto os tecidos de poliéster em dois valores de LFA (900 e 980) ficam sem proteção; e para o outro valor de LFA (1060), os tecidos apresentam proteção de bom nível. Isso ocorre porque, ao tensionar a malha, diminui-se sua densidade, tornando assim a influência da matéria-prima decisiva em termos de proteção.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO

As características das malhas de filamentos sintéticos com elastano analisadas neste trabalho apresentam comportamentos que dependem da estrutura da malha e do tipo de fibra.

Dentro da faixa e do tipo de malha estudado, podem-se resumir os resultados da seguinte forma:

- transporte de líquido por capilaridade: malha de poliamida apresentou resultado superior ao da malha de poliéster devido à característica intrínseca da fibra e ao efeito provocado por esta na estrutura da malha;
- permeabilidade ao vapor d'água: malha de poliamida apresentou resultado superior ao da malha de poliéster devido principalmente ao maior regain;
- proteção aos raios ultravioleta: ambas as malhas de poliamida e poliéster apresentaram proteção máxima (UPF 50+) em função da estrutura fechada das malhas com elastano. Quando se aplicou tensão de 30% em toda a circunferência (25mm), a malha de poliamida apresenta grau de proteção superior ao do poliéster em função de maior opacidade.

## **CAPÍTULO 6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Fica como sugestão para trabalhos futuros estudar o comparativo das propriedades da capilaridade, permeabilidade ao vapor e proteção ultravioleta em outras construções de tecidos de malha.

Analisar o comportamento dos tecidos de malha, após serem tratados com plasma, modificando assim suas propriedades de superfície. Avaliar e comparar as propriedades de conforto e a sua durabilidade após o tratamento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, Antonio. Tecnologia da malharia. Apostila não publicada. São Bernardo do Campo: Unifei, 1997, 62p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3765 - Knitted Fabrics. Philadelphia:, 1990, 3 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *Handbook of fundamentals*. Atlanta: 1997, 1 v. cap. 8, Physiological principles for comfort and health, p. 8.1-8.32.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. NFG 07.101; *Longuer de fil absorbee*. Paris: 1985, 7p.

BENLTOUFA, Sofien, FAYALA, Faten e BENNASRALLAH. *Capillary rise in macro and micro pores pf jersey knitting structure*. Tunísia: p. 47-8.

BOGATY, Herman; HOLLIES, Norman R. S.; e HARRIS, Milton. Some thermal properties of Fabrics. **Textile Research Journal** (DOI: 101177/004051755702700605), jun. 1957, p. 445-449.

BRANDRUP, J.; IMMERGUT, H. E. *Polymer handbook*. USA New York: John Wiley & Sons, 1965, cap. VI, p. 79-85.

BTAZEJCZYK, Krzysztof. Changes of skin temperature and body heat content in fluctuating outdoor climate. Art. publ. in Sixth International Conference on Environmental Ergonomics. Canada: J. Frim, M. B. Ducharme & P. Tikuisis, 1994, p. 226-7.

\_\_\_\_\_. Clothing as a factor regulating solar heat load in man. Art. publ. in Sixth International Conference on Environmental Ergonomics. Canada: J. Frim, M. B. Ducharme & P. Tikuisis, 1994, p. 166-167.

CAMPOS, Marco Siqueira. *Desvendando o minitab*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003, p. 147-78 e 183-91.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977, p. 84-120, 145-6 e 181-8.

CROW, Rita M. Moisture properties of textiles. Art. publ. in Sixth International Conference on Environmental Ergonomics. Canada: J. Frim, M. B. Ducharme & P. Tikuisis, 1994, p. 104-5.

DOMENECH HUGO, Carlos. *Análise de Experimentos*, 2008.

DUPONT DO BRASIL. Norma interna – Recuperação elástica dos tecidos. Paulínia: 1995, 4p.

FOURT, Lyman; HOLLIES, Norman. *Clothing comfort and function*. Nova Iorque: Marcel Dekker Inc., 1970, p. 31-45, 115-50 e 172.

GHISOLFI, R. D. R. *Aula – introdução à meteorologia*. Espírito Santo: Ufes, s/d.

GYSTAD, Trude; BAKKEVIG, Martha K. Correlation between different formulas for mean skin temperature and thermal comfort. Art. publ. in Sixth International Conference on Environmental Ergonomics. Canada: J. Frim, M. B. Ducharme & P. Tikuisis, 1994, p. 162-163.

HAVENITH, George. *Heat balance when wearing protective clothing*. Inglaterra Loughborough: Elsevier Science Ltd, 1999, p. 289-96.

\_\_\_\_\_. *Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response*. TNO Human Factors, Soesterberg 3769ZG, The Netherlands; and Human Thermal Environments Laboratory, Loughborough University, Loughborough LE11 3TU, United Kingdom, 2000, p. 1.943, 1.946-52.

HIGGINS, Leah; ANAND, Subhash. *Textile materials and products for activewear and sportswear*. Publ. by Textiles Intelligence Limited (ISBN 1-902625-38-2). Reino Unido: julho de 2003, p. 1-15, 17, 18-19, 21-23.

KATSUURA, Tetsuo; ONODA, Hiroshi; OKADA, Akira; CHI, Yasuyuki. *Effect of head cooling on man during light exercise in a hot environment*. Tokio (Japan): Department of Ergonomics, Faculty of Engineering, Chiba University, p. 104-5.

KOHAN, Melvin. *Nylon plastics*. Nova Iorque: Melvin I. Kohan, 1995, p. 62, 68, 362, 537.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730, *Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Genebra: 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Manual de dados técnicos para a indústria têxtil*. Publ. IPT n° 1.257. São Paulo: IPT, 1983, p. 40-5.

LYER, Chandrasekhar; MAMMRL, Bernd; WOLFGANG, Schäch. *Máquinas circulares: teoría y práctica de la tecnología del punto*. Albstadt (Alemanha): Meisenbach GmbH, Maschen-Industrie, 1997, p. 8; 10; 12;13 ;190-193.

MARINHO, Jean Richard Dasnoy. *Macromoléculas e polímeros*. Barueri: Manole, 2005, p. 28-30, 56-7, 230-1.

MARCK, Herman F. *High technology fibers*. Nova Iorque: Menachem Lewin, 1985, p. 176-83.

MEINANDER, Harriet. Determination of clothing comfort properties with the sweating thermal manikin. Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Ergonomics. Netherlands: W. A. Lotens and G. Havenith, 1992, p. 40-41.

MUNGCHAROEN, T.; WISSLER; E. H. A two-dimensional model of the human thermal system. Proceedings of 3rd International Conference on Environmental Ergonomics. Finland: R. Ilmarinen and A. Pasche, 1988.

NC STATE UNIVERSITY. 100% cotton moisture management. Art. publ. in **Journal of Textile and Apparel, Technology and Management**, v. 2, ed. 3, 2002.

ODIAN, George. *Principles of polymerization*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2003, p. 39-41, 97-8.

RHODIA POLIAMIDA. *Sal Nylon*. Material didático interno. Santo André: Rhodia, 2000, slds. 1-41.

SOFIEN, Benltoufa; FATEN, Fayala; SASSI, Nasrallah. Capillary Rise in Macro and Micro Pore of Jersey Knitting Structure. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, 2008.

SWEREV, Maximilian. Innovative bandages for the treatment of wounds. 41<sup>st</sup> International Chemical Fibre Conference. Dornbirn: Hohenstein Institute International Textile Research Centre, 2002.

TEXTILE INSTITUTE. *Textiles in sport*. Cambridge (Inglaterra): R. Shishoo, 2005, p. 93, 177-8, 289-92.

\_\_\_\_\_. *Biomechanical engineering of textile and clothing*. Cambridge (Inglaterra): Y. Li e X-Q. Dai, p. 22-4, 146-7, 149.

TIKUISIS, Peter. *Modelling of heat transfer*. Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Ergonomics. Netherlands: W. A. Lotens and G. Havenith, 1992, p. 126-7.

VALLDEPERAS, José, CEGARRA, José, PUENTE, Pablo. *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*, Barcelona, 1981.

WANG, Li Chu; LIU, Tze Cheng; CHEN, Jin Jong; JIH, Shih Ching; SOONG, Sze Su. The comfort of sportswear materials for badminton players in a hot environment. Art. publ. in Sixth International Conference on Environmental Ergonomics. Canadá: J. Frim, M. B. Ducharme & P. Tikuisis, 1994, p 102-103.

WIENER, Jakub; DEJLOVÁ, Petra. Wicking and wetting in textiles. Art. Publ. in **Autex Research Journal**, v. 3, n° 2, June 2003, p. 65-71. Disponível em: <http://www.autexrj.org/No2-2003/0054.pdf>>.

## APÊNDICE (TABELAS REFERENCIAIS)

**Tabela A1.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A2

**Tabela A2.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A2

**Tabela A3.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A1

**Tabela A4.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A1

**Tabela A5.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-1 A1

**Tabela A6.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-2 A1

**Tabela A7.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-1 A2

**Tabela A8.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-2 A2

**Tabela A9.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-1 A1

**Tabela A10.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-2 A1

**Tabela A11.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-1 A2

**Tabela A12.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-2 A2

**Tabela A13.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-1 A1

**Tabela A14.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-2 A1

**Tabela A15.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-1 A2

**Tabela A16.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-2 A2

**Tabela A17.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-1 A1

**Tabela A18.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-2 A1

**Tabela A19.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-1 A2

**Tabela A20.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-2 A2

**Tabela A21.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-1 A1

**Tabela A22.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-2 A1

**Tabela A23.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-1 A2

**Tabela A24.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-2 A2

**Tabela A1.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A2

Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	115,9540				
2	10	0	115,7558	1,000	0,198	1,000	0,198
3	11	0	115,5590	1,000	0,197	2,000	0,395
4	12	0	115,3840	1,000	0,175	3,000	0,570
5	13	0	115,1910	1,000	0,193	4,000	0,763
6	14	0	115,0046	1,000	0,186	5,000	0,949
7	15	0	114,8156	1,000	0,189	6,000	1,138
8	16	0	114,6256	1,000	0,190	7,000	1,328
9	17	0	114,4451	1,000	0,181	8,000	1,509

**Tabela A2.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A2

Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	118,8751				
2	10	0	118,6773	1,000	0,198	1,000	0,198
3	11	0	118,4817	1,000	0,196	2,000	0,393
4	12	0	118,3079	1,000	0,174	3,000	0,567
5	13	0	118,1153	1,000	0,193	4,000	0,760
6	14	0	117,9302	1,000	0,185	5,000	0,945
7	15	0	117,7421	1,000	0,188	6,000	1,133
8	16	0	117,5534	1,000	0,189	7,000	1,322
9	17	0	117,3738	1,000	0,180	8,000	1,501

**Tabela A3.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A1

Poliamida 6.6 LFA 1060-1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	116,0418				
2	10	0	115,8406	1,000	0,201	1,000	0,201
3	11	0	115,6463	1,000	0,194	2,000	0,395
4	12	0	115,4663	1,000	0,180	3,000	0,575
5	13	0	115,2716	1,000	0,195	4,000	0,770
6	14	0	115,0814	1,000	0,190	5,000	0,960
7	15	0	114,8904	1,000	0,191	6,000	1,151
8	16	0	114,7000	1,000	0,190	7,000	1,342
9	17	0	114,5182	1,000	0,182	8,000	1,524

**Tabela A4.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A1

Poliamida 6.6 LFA 1060-2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	115,7200				
2	10	0	115,5165	1,000	0,204	1,000	0,204
3	11	0	115,3187	1,000	0,198	2,000	0,401
4	12	0	115,1375	1,000	0,181	3,000	0,582
5	13	0	114,9387	1,000	0,199	4,000	0,781
6	14	0	114,7464	1,000	0,192	5,000	0,974
7	15	0	114,5524	1,000	0,194	6,000	1,168
8	16	0	114,3590	1,000	0,193	7,000	1,361
9	17	0	114,1751	1,000	0,184	8,000	1,545

**Tabela A5.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-1 A1

Poliamida 6.6 LFA 980 -1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	116,3856				
2	10	0	116,1862	1,000	0,199	1,000	0,199
3	11	0	115,9877	1,000	0,198	2,000	0,398
4	12	0	115,8095	1,000	0,178	3,000	0,576
5	13	0	115,6201	1,000	0,189	4,000	0,766
6	14	0	115,4398	1,000	0,180	5,000	0,946
7	15	0	115,2438	1,000	0,196	6,000	1,142
8	16	0	115,0537	1,000	0,190	7,000	1,332
9	17	0	114,8335	1,000	0,220	8,000	1,552

**Tabela A6.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-2 A1

Poliamida 6.6 LFA 980 -2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	114,9997				
2	10	0	114,8083	1,000	0,191	1,000	0,191
3	11	0	114,6160	1,000	0,192	2,000	0,384
4	12	0	114,4396	1,000	0,176	3,000	0,560
5	13	0	114,2610	1,000	0,179	4,000	0,739
6	14	0	114,0810	1,000	0,180	5,000	0,919
7	15	0	113,8980	1,000	0,183	6,000	1,102
8	16	0	113,7150	1,000	0,183	7,000	1,285
9	17	0	113,5404	1,000	0,175	8,000	1,459

**Tabela A7.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-1 A2

Poliamida 6.6 LFA 980 -1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	115,3768				
2	10	0	115,1831	1,000	0,194	1,000	0,194
3	11	0	114,9846	1,000	0,198	2,000	0,392
4	12	0	114,8072	1,000	0,177	3,000	0,570
5	13	0	114,2080	1,000	0,599	4,000	1,169
6	14	0	114,0879	1,000	0,120	5,000	1,289
7	15	0	114,0670	1,000	0,021	6,000	1,310
8	16	0	114,0631	1,000	0,004	7,000	1,314
9	17	0	113,8863	1,000	0,177	8,000	1,491

**Tabela A8.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 980-2 A2

Poliamida 6.6 LFA 980 -2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF. PESO (g)	HOR. ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	9	0	116,8557				
2	10	0	116,6595	1,000	0,196	1,000	0,196
3	11	0	116,4576	1,000	0,202	2,000	0,398
4	12	0	116,2833	1,000	0,174	3,000	0,572
5	13	0	116,0945	1,000	0,189	4,000	0,761
6	14	0	115,9102	1,000	0,184	5,000	0,945
7	15	0	115,7209	1,000	0,189	6,000	1,135
8	16	0	115,5334	1,000	0,188	7,000	1,322
9	17	0	115,3560	1,000	0,177	8,000	1,500

**Tabela A9.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-1 A1

Poliamida 6.6 LFA 900-1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	115,4044				
2	9	0	115,2457	1,000	0,159	1,000	0,159
3	10	0	115,0830	1,000	0,163	2,000	0,321
4	11	0	114,8820	1,000	0,201	3,000	0,522
5	12	0	114,7024	1,000	0,180	4,000	0,702
6	13	0	114,5243	1,000	0,178	5,000	0,880
7	14	0	114,3039	1,000	0,220	6,000	1,101
8	15	0	114,0964	1,000	0,207	7,000	1,308
9	16	0	113,9420	1,000	0,154	8,000	1,462

**Tabela A10.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-2 A1

Poliamida 6.6 LFA 900-2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	116,9830				
2	9	0	116,8275	1,000	0,156	1,000	0,156
3	10	0	116,6666	1,000	0,161	2,000	0,316
4	11	0	116,4860	1,000	0,181	3,000	0,497
5	12	0	116,2581	1,000	0,228	4,000	0,725
6	13	0	116,0657	1,000	0,192	5,000	0,917
7	14	0	115,8468	1,000	0,219	6,000	1,136
8	15	0	115,6480	1,000	0,199	7,000	1,335
9	16	0	115,4950	1,000	0,153	8,000	1,488

**Tabela A11.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-1 A2

Poliamida 6.6 LFA 900-1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	116,2006				
2	9	0	116,0451	1,000	0,155	1,000	0,155
3	10	0	115,8839	1,000	0,161	2,000	0,317
4	11	0	115,6760	1,000	0,208	3,000	0,525
5	12	0	115,4222	1,000	0,254	4,000	0,778
6	13	0	115,1786	1,000	0,244	5,000	1,022
7	14	0	114,9568	1,000	0,222	6,000	1,244
8	15	0	114,7592	1,000	0,198	7,000	1,441
9	16	0	114,6073	1,000	0,152	8,000	1,593

**Tabela A12.** Dados da Permeabilidade para Poliamida 6.6 LFA 900-2 A2

Poliamida 6.6 LFA 900-2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	116,2775				
2	9	0	116,1260	1,000	0,151	1,000	0,151
3	10	0	115,9713	1,000	0,155	2,000	0,306
4	11	0	115,7956	1,000	0,176	3,000	0,482
5	12	0	115,6234	1,000	0,172	4,000	0,654
6	13	0	115,4536	1,000	0,170	5,000	0,824
7	14	0	115,2380	1,000	0,216	6,000	1,040
8	15	0	115,0440	1,000	0,194	7,000	1,234
9	16	0	114,8965	1,000	0,147	8,000	1,381

**Tabela A13.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-1 A1

Poliéster LFA 1060-1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	119,4073				
2	9	0	119,2429	1,000	0,164	1,000	0,164
3	10	0	119,0745	1,000	0,168	2,000	0,333
4	11	0	118,8820	1,000	0,192	3,000	0,525
5	12	0	118,7051	1,000	0,177	4,000	0,702
6	13	0	118,5194	1,000	0,186	5,000	0,888
7	14	0	118,2954	1,000	0,224	6,000	1,112
8	15	0	118,0835	1,000	0,212	7,000	1,324
9	16	0	117,9265	1,000	0,157	8,000	1,481

**Tabela A14.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-2 A1

Poliéster LFA 1060-2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	116,5913				
2	9	0	116,4290	1,000	0,162	1,000	0,162
3	10	0	116,2613	1,000	0,168	2,000	0,330
4	11	0	116,0636	1,000	0,198	3,000	0,528
5	12	0	115,8933	1,000	0,170	4,000	0,698
6	13	0	115,7086	1,000	0,185	5,000	0,883
7	14	0	115,4852	1,000	0,223	6,000	1,106
8	15	0	115,2761	1,000	0,209	7,000	1,315
9	16	0	115,1200	1,000	0,156	8,000	1,471

**Tabela A15.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-1 A2

Poliéster LFA 1060-1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	116,3436				
2	9	0	116,1826	1,000	0,161	1,000	0,161
3	10	0	116,0152	1,000	0,167	2,000	0,328
4	11	0	115,8258	1,000	0,189	3,000	0,518
5	12	0	115,6474	1,000	0,178	4,000	0,696
6	13	0	115,4650	1,000	0,182	5,000	0,879
7	14	0	115,2451	1,000	0,220	6,000	1,099
8	15	0	115,0370	1,000	0,208	7,000	1,307
9	16	0	114,8850	1,000	0,152	8,000	1,459

**Tabela A16.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 1060-2 A2

Poliéster LFA 1060-2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	115,7704				
2	9	0	115,6050	1,000	0,165	1,000	0,165
3	10	0	115,4344	1,000	0,171	2,000	0,336
4	11	0	115,2457	1,000	0,189	3,000	0,525
5	12	0	115,0545	1,000	0,191	4,000	0,716
6	13	0	114,8680	1,000	0,187	5,000	0,902
7	14	0	114,6413	1,000	0,227	6,000	1,129
8	15	0	114,4266	1,000	0,215	7,000	1,344
9	16	0	114,2702	1,000	0,156	8,000	1,500

**Tabela A17.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-1 A1

Poliéster LFA 980-1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,4684				
2	9	0	111,3188	1,000	0,150	1,000	0,150
3	10	0	111,1710	1,000	0,148	2,000	0,297
4	11	0	111,0022	1,000	0,169	3,000	0,466
5	12	0	110,8514	1,000	0,151	4,000	0,617
6	13	0	110,6796	1,000	0,172	5,000	0,789
7	14	0	110,5388	1,000	0,141	6,000	0,930
8	15	0	110,3594	1,000	0,179	7,000	1,109
9	16	0	110,2005	1,000	0,159	8,000	1,268

**Tabela A18.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-2 A1

Poliéster LFA 980-2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,0233				
2	9	0	110,8759	1,000	0,147	1,000	0,147
3	10	0	110,7303	1,000	0,146	2,000	0,293
4	11	0	110,5655	1,000	0,165	3,000	0,458
5	12	0	110,4183	1,000	0,147	4,000	0,605
6	13	0	110,2483	1,000	0,170	5,000	0,775
7	14	0	110,1097	1,000	0,139	6,000	0,914
8	15	0	109,9334	1,000	0,176	7,000	1,090
9	16	0	109,7760	1,000	0,157	8,000	1,247

**Tabela A19.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-1 A2

Poliéster LFA 980-1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,1009				
2	9	0	110,9530	1,000	0,148	1,000	0,148
3	10	0	110,8058	1,000	0,147	2,000	0,295
4	11	0	110,6334	1,000	0,172	3,000	0,468
5	12	0	110,4932	1,000	0,140	4,000	0,608
6	13	0	110,3240	1,000	0,169	5,000	0,777
7	14	0	110,1847	1,000	0,139	6,000	0,916
8	15	0	110,0089	1,000	0,176	7,000	1,092
9	16	0	109,8519	1,000	0,157	8,000	1,249

**Tabela A20.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 980-2 A2

Poliéster LFA 980-2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,5844				
2	9	0	111,4332	1,000	0,151	1,000	0,151
3	10	0	111,2826	1,000	0,151	2,000	0,302
4	11	0	111,1078	1,000	0,175	3,000	0,477
5	12	0	110,9630	1,000	0,145	4,000	0,621
6	13	0	110,7905	1,000	0,172	5,000	0,794
7	14	0	110,6470	1,000	0,143	6,000	0,937
8	15	0	110,4666	1,000	0,180	7,000	1,118
9	16	0	110,3057	1,000	0,161	8,000	1,279

**Tabela A21.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-1 A1

Poliéster LFA 900-1 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	114,5968				
2	9	0	114,4470	1,000	0,150	1,000	0,150
3	10	0	114,3017	1,000	0,145	2,000	0,295
4	11	0	114,1379	1,000	0,164	3,000	0,459
5	12	0	113,9911	1,000	0,147	4,000	0,606
6	13	0	113,8213	1,000	0,170	5,000	0,776
7	14	0	113,6819	1,000	0,139	6,000	0,915
8	15	0	113,5053	1,000	0,177	7,000	1,092
9	16	0	113,3483	1,000	0,157	8,000	1,249

**Tabela A22.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-2 A1

Poliéster LFA 900-2 A1							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,1060				
2	9	0	110,9525	1,000	0,153	1,000	0,153
3	10	0	110,8020	1,000	0,150	2,000	0,304
4	11	0	110,6345	1,000	0,168	3,000	0,471
5	12	0	110,4839	1,000	0,151	4,000	0,622
6	13	0	110,3088	1,000	0,175	5,000	0,797
7	14	0	110,1655	1,000	0,143	6,000	0,941
8	15	0	109,9838	1,000	0,182	7,000	1,122
9	16	0	109,8227	1,000	0,161	8,000	1,283

**Tabela A23.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-1 A2

Poliéster LFA 900-1 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	111,8086				
2	9	0	111,6665	1,000	0,142	1,000	0,142
3	10	0	111,5265	1,000	0,140	2,000	0,282
4	11	0	111,3751	1,000	0,151	3,000	0,433
5	12	0	111,2277	1,000	0,147	4,000	0,581
6	13	0	111,0647	1,000	0,163	5,000	0,744
7	14	0	110,9326	1,000	0,132	6,000	0,876
8	15	0	110,7631	1,000	0,169	7,000	1,046
9	16	0	110,6040	1,000	0,159	8,000	1,205

**Tabela A24.** Dados da Permeabilidade para Poliéster LFA 900-2 A2

Poliéster LFA 900-2 A2							
MEDIDAS	HORA (h)	MINUTOS (min.)	PESO (g)	INTERVALO (h)	DIF.PESO (g)	HORA ACUM. (h)	DIF. PESO AC. (g)
1	8	0	112,1653				
2	9	0	112,0142	1,000	0,151	1,000	0,151
3	10	0	111,8660	1,000	0,148	2,000	0,299
4	11	0	111,7073	1,000	0,159	3,000	0,458
5	12	0	111,5520	1,000	0,155	4,000	0,613
6	13	0	111,3807	1,000	0,171	5,000	0,785
7	14	0	111,2412	1,000	0,139	6,000	0,924
8	15	0	111,0637	1,000	0,178	7,000	1,102
9	16	0	110,9060	1,000	0,158	8,000	1,259