

Estudo das propriedades de conforto em tecidos de malha das fibras sintéticas de poliéster e poliamida 6.6: permeabilidade ao vapor, transporte de umidade e proteção ultravioleta

Comparative study of comfort properties of nylon 6.6 and polyester knit fabrics: permeability to water, capillarity and ultraviolet protection

Fernando Gasi

Doutor, Coordenador e Professor do Curso de Engenharia Têxtil da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)

Edison Bittencourt

PhD, Professor da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas)

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 destaca o conforto proporcionado ao usuário. A fim de avaliar o comportamento desses artigos com diferentes fibras (poliamida e poliéster), compararam-se as malhas, tendo em foco 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.

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

Abstract

Several studies have been conducted, especially in the last decade, evaluating textile fabrics of different fibers according to their performance with respect to comfort. However, studies treating fabrics composed by microfibers in blends with elastane are rare, 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, especially with respect to the comfort provided to the user. In this work the behavior nylon 6,6 and polyester knits were evaluated with focus on aspects related to comfort, such as water vapor permeability, capillarity and ultraviolet protection. It was demonstrated that the comfort properties depend both on the type of fiber and on the knit structure.

Keywords: Polyamide. Polyester. Capillary. Permeability. Ultraviolet protection.

1 Introdução

O conforto é um dos mais importantes atributos da vida. O ser humano está permanentemente, consciente ou inconscientemente, procurando manter ou melhorar seu estado de conforto, físico ou psicológico.

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

Em relação ao uso de um vestuário, o conforto é definido em três aspectos (HIGGINS; ANAND, 2003):

1) Físico: relacionado às sensações provocadas pelo contato do tecido com a pele e pelo ajuste da confecção ao corpo e aos seus movimentos.

2) Fisiológico: ligado à interferência do vestuário nos mecanismos de metabolismo do corpo, em especial o termorregulador.

3) Psicológico: função de fatores relacionados à estética, aparência, moda, meio social e cultural.

Estudar as propriedades das fibras é fundamental para se 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, de bem-estar e de conforto.

Este artigo aborda as propriedades das fibras, relacionando-as com as funcionalidades importantes dos tecidos, tais como a permeabilidade ao vapor, o transporte e absorção de umidade e a proteção aos raios ultravioleta (UV).

2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é analisar comparativamente as propriedades de permeabilidade ao vapor, capilaridade e proteção aos raios ultravioleta de duas principais fibras sintéticas para o vestuário: a poliamida 6.6 e o poliéster.

3 Revisão da Literatura

3.1 Transporte de líquido por capilaridade

Quando se coloca um tubo de vidro, que recebe o nome de capilar, dentro de um recipiente com um determinado líquido, tem-se a subida do mesmo por esse tubo atingindo um equilíbrio a uma certa altura. Esse fenômeno é resultado da ação das moléculas do líquido com o vidro (considerando que o tubo é de vidro). Essa interação depende de alguns parâmetros como: o diâmetro do tubo (quanto mais fino, maior a aderência), o tipo de líquido, e sua viscosidade que, por sua vez, depende da temperatura (mais quente, menos viscoso).

O estudo da capilaridade em função do tempo para uma estrutura têxtil obedece à seguinte relação (ZHUANG; HARLOCK; BROOK, 2002).

$$h = ct^k \quad (1)$$

Onde “ 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, e “ k ” é o fator de potência do tempo “ t ”.

O efeito de capilaridade numa malha é função, entre outras, da característica superficial da matéria-prima (tipo de fibra) e dos espaços vazios intrafios (distância entre os filamentos no fio) e interfios (distância entre os fios na malha).

3.1.2 Porosidade (BENLTOUFA et al., p. 47)

Porosidade ξ (%) 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).

$$\xi = \frac{V_a}{V_t} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

3.1.3 Microporo e Macroporo (BENLTOUFA et al., p. 48-49)

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

$$\xi_{\text{macro}} = 1 - \frac{\pi d^2 \cdot (LFA) \cdot C \cdot W}{2 \cdot L} \quad (\%) \quad (3)$$

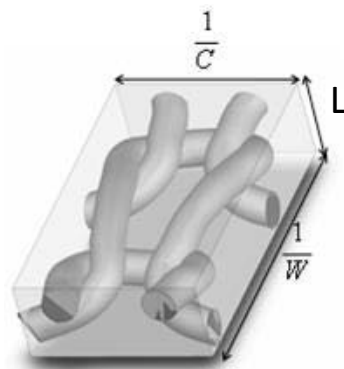
Onde d = diâmetro do fio (cm), LFA = comprimento do ponto (cm), C = carreiras por centímetro (carr/cm), W = colunas por centímetro, L = espessura do tecido (cm).

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

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

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

A Figura 1 mostra uma malha com suas respectivas medidas.

**Figura 1 - Malha Tridimensional**

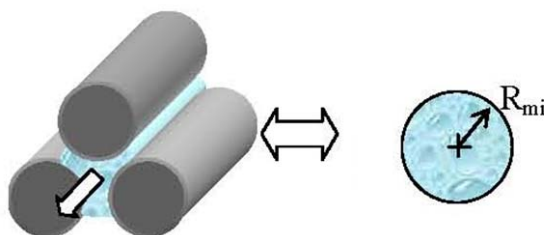
Fonte: Benltoufa, 2008

3.1.4 Capilaridade no Microporo (BENLTOUFA et al., p. 49-50)

A altura capilar nos microporos de um tecido de malha é dada pela seguinte equação:

$$h_{mic} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{R_{mi} \cdot \rho \cdot g} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Onde h_{mic} é a capilaridade do microporo (mm), γ é tensão superficial (dina/cm), ρ é a densidade do líquido (g/mm³), g a aceleração da gravidade (mm/s²), R_{mi} é o raio do microcapilares (mm) e θ o ângulo de contato (graus). A Figura 2 mostra os microtubos que, no caso do fio têxtil, são os microfilamentos.

**Figura 2 - Capilaridade entre Filamentos**

Fonte: Benltoufa, 2008

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

$$R_{mi} = \sqrt{\frac{L^2}{32 \cdot n} - \frac{dfib^2}{8}} \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

Onde $dfib$ = diâmetro da fibra (mm), n = número de filamentos do fio, L = espessura do tecido (mm).

3.1.5 Capilaridade no Macroporo

A capilaridade entre fios (Figura 3) pode ser descrita tendo como base a distância capilar entre duas placas paralelas de distância capilar “ $emac$ ”.

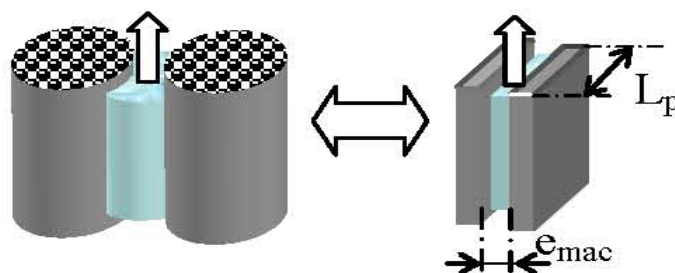


Figura 3 - Capilaridade entre fios

Fonte: Benltoufa, 2008

A equação para a capilaridade entre fios é:

$$h_{mac} = \frac{2\gamma \cos\theta}{e_{mac} \cdot \rho \cdot g} \quad (\text{mm}) \quad (7)$$

Onde h_{mac} é a capilaridade do macroporo, γ é tensão superficial, ρ é a densidade do líquido, g a aceleração da gravidade, e_{mac} é a distância capilar e θ é o ângulo de contato (graus).

3.2 Permeabilidade ao vapor d'água (DHINAKARAN; SUNDARESAN; DASARADAN, 2008)

Consiste na passagem de água sob a forma de vapor pelo substrato têxtil e é uma das propriedades mais importantes de um tecido no que tange ao conforto fisiológico.

É muito importante, para o balanço térmico, permitir que a umidade gerada pelo suor da pele evapore e passe como vapor pela estrutura fibrosa, facilitando o processo de termorregulação e impedindo que o vapor da transpiração fique retido entre a pele e o artigo têxtil.

O comportamento das fibras relativamente à umidade é, geralmente, função da sua estrutura química, tanto em nível micro quanto em macromolecular, podendo a modificação deste comportamento ser atribuída a numerosos fatores.

3.3 Proteção aos raios ultravioleta

A radiação ultravioleta natural (UV) é a radiação eletromagnética com um comprimento de onda menor que 400 nm. Os fatores que determinam o grau de proteção da radiação ultravioleta nos têxteis, são:

- Composição do tecido – a característica das matérias-primas influencia a capacidade de absorção de radiação UV.
- Densidade/contextura – a densidade de fios e a própria textura 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 ótica possível, ou seja, com o maior fator de cobertura.

- Cor – para a mesma qualidade de matéria-prima, tecidos de densidades e gramaturas semelhantes às 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. A máxima proteção consegue-se com a menor elasticidade.
- Umidade – quando comparados com tecidos úmidos de idênticas características, a transmitância de radiações UV em tecidos secos é menor. Nestes casos, o fator de proteção é superior.
- Design da peça – o design associado à função é também um fator determinante da máxima cobertura e, por conseguinte, da máxima proteção.

4 Metodologia de Pesquisa

Foram produzidas malhas de poliamida/elastano e poliéster/elastano em condições equivalentes de fator de cobertura conforme especificações a seguir.

4.1 Fios Utilizados

Foram selecionados os seguintes fios 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.

4.2 Produção das malhas

As amostras de malha foram produzidas num tear circular com 38 agulhas/polegada, diâmetro 34 polegadas. Essa característica de máquina fornece o que há de mais atual em construção de tecidos de malha com elastano.

A seguir, para efeito de acabamento, as malhas foram fixadas em rama com sete campos num intervalo de temperatura de 185 a 190 °C com uma velocidade de 16 m/min a uma largura natural (sem tensão).

4.2.1 Tecidos de Malha para os Ensaios – Dados em Cru

A tabela 1 apresenta os dados dos tecidos de malha, importante a definição de LFA (*Longuer de Fil Absorbée*) que expressa o comprimento de fio absorvido (*ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION, 1985*) ou por uma agulha (LFA em cm por agulha) ou por uma volta da máquina (LFA em cm por volta).

Tabela 1: Dados do Tecido de Malha em Cru

Matéria-Prima	Título do Fio (dtex)	Título do Elastano (den)	Tensão Elastano (cN)	Amostra	LFA (cm / agulha)	LFA (cm / volta)
Poliamida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A1	0,2406	980
Poliamida 6.6 op.	1x80/68	20	2,5	PA A2	0,2406	980
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A1	0,2396	980
Poliéster s.o.	80/72	20	2,5	PES A2	0,2396	980

Fonte: Autores, 2009.

Nota: Onde PA = poliamida, PES = poliéster, LFA = *Longuer de Fil Absorbée*, op.= opaco, s.o.= semiopaco.

4.2.2. Tecidos de Malha para os Ensaios – Dados do Tecido Acabado

Tabela 2: Dados do Tecido de Malha Acabado

Amostra	Malhas / cm	Col / cm	Malhas / cm²	Larg. (m)	Gramatura (g / m²)
PA A1	36,5	26,4	963,6	1,54	200
PA A2	36,5	26,4	963,6	1,54	200
PES A1	38,0	25,2	957,6	1,61	206
PES A2	38,0	25,2	957,6	1,61	207

Fonte: Autores, 2009.

Nota: Onde PA = poliamida, PES = poliéster

4.3 Determinação da Capacidade de Transporte de Líquidos por Capilaridade (JIS L1907)

O objetivo desse ensaio é avaliar a capacidade do material têxtil de transportar líquido ao longo da sua estrutura, observar como o transporte do líquido na superfície do tecido pode ser influenciado pelo tipo de fibra e a construção do tecido de malha. 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.

Este método é aplicado aos tecidos, malhas e não-tecidos.

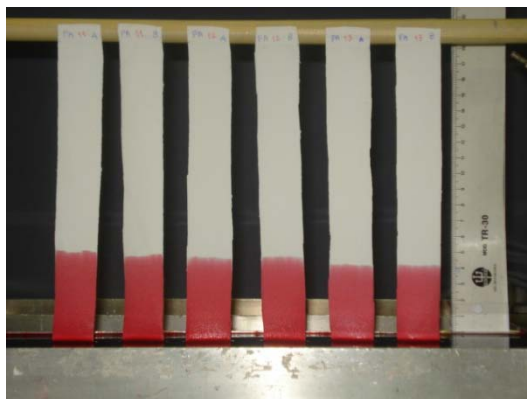


Figura 4 - Cuba retangular com régua

Fonte: Autores, 2009.

4.4 Determinação da Permeabilidade ao Vapor (ASTM E-96-00)

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

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

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

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

$$UPF = \frac{\sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta\lambda}$$

Onde:

E_{λ} = Espectro eritemal segundo CIE (Comissão Internacional de Iluminação)

S_{λ} = Distribuição espectral da radiação

T_{λ} = Transmissão espectral do têxtil

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

λ = Comprimento de onda em nm

Os valores de UPF determinados para o têxtil são classificados em função do nível de proteção conforme tabela a seguir:

Tabela 3: Fator de Proteção Solar (UPF)

Fator de Proteção Ultravioleta UPF	Proteção	Transmissão Efetiva 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: STANDARDS AUSTRALIA AND STANDARDS NEW ZEALAND. AS/NZS 4399, 1996

Nota: Onde UV = Ultravioleta, UPF = *Ultra Violet Protection Factor*

5 Análise de Dados e Resultados

5.1 Capilaridade

5.1.1 Resultados de Capilaridade no Sentido Longitudinal

O gráfico apresentado na figura a seguir (Figura 5) apresenta as curvas de transporte de líquido em função do tempo. Na tabela seguinte (Tabela 4), demonstram-se os resultados de altura máxima atingida pelo líquido após 300 segundos (H max) para as duas amostras (A1 e A2) de poliamida e poliéster. As curvas da altura capilar do tecido de malha em poliamida para as duas amostras, A1 e A2, sobrepõem-se, e no poliéster as duas curvas estão muito próximas (amostras A1 e A2), mostrando assim uma convergência nos valores do ensaio para cada tipo de matéria prima.

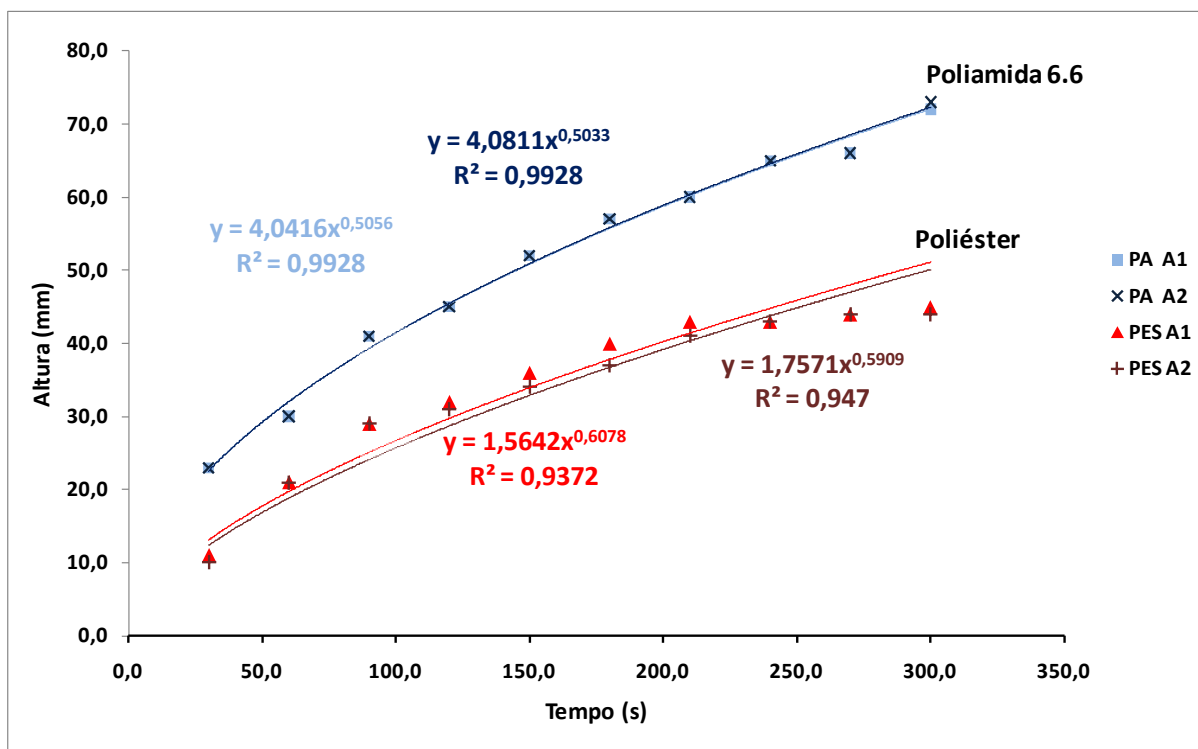


Figura 5 - Curva da Altura do Líquido

Fonte: Autores, 2009.

Tabela 4: Altura capilar máxima

	H max. (mm)	
	Poliamida 6.6	Poliéster
Amostra A1	72,0	45,0
Amostra A2	73,0	44,0
Média	72,5	44,5

Fonte: Autores, 2009.

5.1.2 Discussões sobre a capilaridade

Nas duas amostras (A1 e A2), as malhas de poliamida apresentam um efeito de capilaridade superior ao das malhas de poliéster.

Tomando-se em consideração o valor de altura máxima atingida pelo líquido com 300 segundos, temos um resultado para a poliamida 63% superior ao do poliéster (média de 72,5 mm na poliamida contra 44,5 mm no poliéster).

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

Além disso, como se pode observar nas figuras seguintes, as malhas de poliamida apresentam menores espaços interfios em sua estrutura (Figuras 6 e 7) em comparação com as malhas de poliéster, o que se soma ao motivo anterior (característica da fibra) na explicação da diferença de comportamento entre as malhas.



Figura 6 - Microscopia Poliamida

Fonte: Autores, 2009.

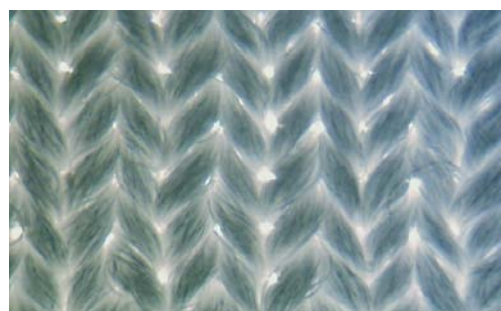


Figura 7 - Microscopia Poliéster

Fonte: Autores, 2009.

5.2 Permeabilidade ao Vapor

5.2.1 Resultados de Permeabilidade ao Vapor

Tabela 5: Taxa de vapor por unidade de área

	Taxa de Vapor (g / h.m ²)	
	Poliamida 6.6	Poliéster
Amostra A1	34,5	29,5
Amostra A2	35,0	29,5
Média	34,8	29,5

Fonte: Autores, 2009.

5.2.2 Discussões sobre a permeabilidade ao vapor

As malhas de poliamida apresentam resultados superiores às de poliéster, em torno de 18% (média de 34,75 g/h.m² na poliamida contra 29,5 g/h.m² no poliéster). Embora as malhas de poliamida se mostrem com menos espaços vazios interfios, os melhores resultados observados podem ser explicados pela diferença de *Regain*, que exprime a porcentagem de umidade de um material têxtil em relação ao seu peso seco (INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA, 1983), sendo 5,75% para a poliamida 6.6 e 1,5% para o poliéster. A taxa de *Regain* reflete a facilidade de penetração de vapor na

estrutura da fibra e tem importância significativa na propriedade de permeabilidade ao vapor.

5.3 Fator de Proteção Ultravioleta (UPF)

5.3.1 Resultados de Fator de Proteção UV (UPF)

A tabela 6 mostra os valores de UPF tanto para a poliamida 6.6 como para o poliéster, sendo que, para cada fibra, têm-se duas amostras. As figuras 8 e 9 apontam a curva de transmitância em função do comprimento de onda para cada fibra, com dois valores medidos para cada amostra. Quanto maior o valor da transmitância, menor será o nível de proteção ultravioleta.

Tabela 6: Fator de Proteção Solar nos tecidos de malha

Matéria-Prima	Amostra	LFA	UPF Médio	Categoria de Proteção
Poliamida 6.6	A1	980	777,016	Máxima
Poliamida 6.6	A2	980	782,500	Máxima
Poliéster	A1	980	278,834	Máxima
Poliéster	A2	980	274,979	Máxima

Fonte: Autores, 2009



Figura 8 - Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliamida 6.6, LFA de 980 cm / volta

Fonte: Autores, 2009.

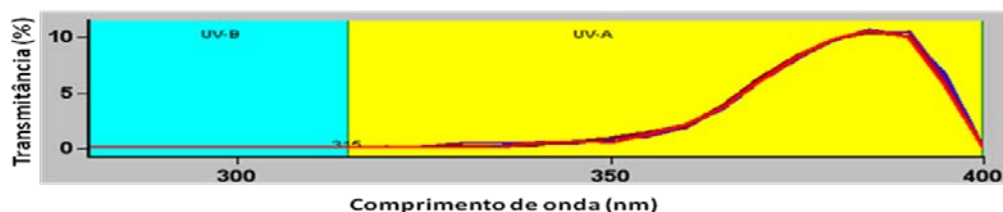


Figura 9 - Curva da transmitância em função do comprimento de onda para o tecido de malha de poliéster, LFA de 900 cm / volta e tensão de 30 %

Fonte: Autores, 2009.

5.3.2 Discussões sobre Fator de Proteção Ultravioleta

Todas as malhas, tanto de poliamida 6.6 como de poliéster, apresentaram Fator de Proteção Ultravioleta (UPF) com nível de proteção máxima, porque, com a presença de elastano na estrutura, a densidade de malhas é alta, ou seja, são bastante fechadas, evidenciando que a influência da estrutura da malha sobre o fator de proteção solar é bem mais significativa do que a própria matéria-prima.

6 Conclusão

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

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

- Transporte de líquido por capilaridade: a 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: a malha de poliamida apresentou resultado superior ao da malha de poliéster devido, principalmente, ao seu 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.

7 Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E96-00. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. *NFG 07.101. Longuer de Fil Absorbée*. Paris: 1985. 7p.
- BENLTOUFA, S. et al. *Capillary Rise in Macro and Micro Pores of Jersey Knitting Structure*. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Tunisia, 2008. p. 47-50.
- DHINAKARAN, M.; SUNDARESAN S.; DASARADAN, B.. *Comfort Properties of Apparels*. The Indian Textile Journal, 2008.
- HIGGINS, Leah; ANAND, Subhash. *Textile Materials and Products for Activewear and Sportswear*. Reino Unido: Textiles Intelligence Limited, 2003. p. 1-15, 17, 18-19, 21-23.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Manual de dados técnicos para a indústria têxtil. São Paulo: 1983. p. 40-45. (Publ. IPT, 1.257).
- JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS. *JIS L 1907. Testing Methods for Water Absorbency of Textiles*, 2004.
- STANDARDS AUSTRALIA AND STANDARDS NEW ZEALAND. *AS/NZS 4399*, 1996. p. 1-7.
- ZHUANG, Q.; HARLOCK, S.C.; BROOK, D.B. *Wicking Mechanism of Knitted Fabrics Used in Undergarments for Outdoor Activities*. University of Leeds, England, 2002.

Currículo Resumido dos Autores

Fernando Gasi tem doutorado em Engenharia Química pela UNICAMP (2010) e é graduado em Engenharia Têxtil pelo Centro Universitário da FEI (1984). Tem 25 anos de experiência profissional no segmento têxtil. Atualmente atua como Coordenador e Docente do Curso de Engenharia Têxtil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Email: fnasp-09@uol.com.br

Endereço na Plataforma Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/8247613218944551>

Edison Bittencourt é *PhD* em Engenharia Química (1975) - *North Carolina State University* e tem graduação em *Textile Chemistry* (1971). Professor titular no Depto. de Tecnologia de Polímeros - Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Polímeros, Aplicações, atuando principalmente em: aplicações de polímeros, cura com UV, síntese, compósitos e fotopolimerização, química têxtil, modificação de propriedades de superfície, aplicações de tecnologia de alto vácuo em materiais e materiais compósitos.

Email: e_bittencourt@uol.com.br

Endereço na Plataforma Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/1705874775444469>